Plan national d'actions Sonneur à ventre jaune

(Bombina variegata)

SYNTHESE DE LA METHODE DE SUIVI DE POPULATION PAR C.M.R.

APPLIQUEE AU

SONNEUR A VENTRE JAUNE



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
LORRAINE

Ressources, territoires et habitats
Énergie et climat
Développement durable
Infrastructures, transports et mer
Prévention des risques

Présent pour l'avenir

SOMMAIRE

Table des matières

INTRODUCTION 3
I - LES GRANDS PRINCIPES DE LA CMR 4
II - PRE-REQUIS POUR UNE CMR EFFICACE 5
III - LES ETAPES PREALABLES A LA MISE EN PLACE D'UN SUIVI PAR CMR 8
IV - QUELQUES POINTS THEORIQUES 11
V – LES SESSIONS DE CAPTURE-RECAPTURE 15
VI - GESTION DES PHOTOS, ARCHIVAGE, RENOMMAGE DES INDIVIDUS, CONSTRUCTION DES HISTOIRES DE CAPTURES 19

Remerciements

Merci aux différents partenaires, scientifiques notamment, pour leur relecture attentive de cette synthèse.

Rédaction : Office National des Forêts E. Bonnaire et C. Baudran

Relecture : A. Besnard (CNRS-CEFE) et H. Cayuela (CNRS- Univ. Lyon)

Référence à utiliser

[ONF-MEDDE, 2016. Synthèse de la méthode de suivi de population par C.M.R. appliquée au Sonneur à ventre jaune-23p]



INTRODUCTION

Bien souvent, pour orienter la gestion d'un site et définir des mesures en faveur d'espèces particulières, on ne dispose que de résultats d'inventaires qui nous permettent d'affirmer que ces espèces sont présentes, plus rarement d'en préciser la répartition et encore plus difficilement d'en certifier l'absence. C'est notamment le cas pour le Sonneur à ventre jaune dont la détection peut fortement varier dans le temps, d'une année sur l'autre mais aussi au sein d'une même année, en fonction de nombreux facteurs environnementaux ou intrinsèques à l'espèce.

Pour une gestion efficace basée sur des éléments tangibles, dans un objectif de conservation, il est nécessaire d'aller au-delà de l'information de la simple présence et de déterminer le statut de l'espèce sur le site d'étude. On va donc chercher à mieux connaître :

- la répartition des individus et leur utilisation de l'espace,
- leurs capacités de dispersion,
- l'effectif de la population et son évolution dans le temps (stable ou en déclin)
- quels sont les facteurs qui influent sur cette dynamique,
- identifier des menaces potentielles, définir des mesures de gestion favorables à l'espèce et évaluer leur efficacité.

On peut aussi vouloir établir un lien avec des évolutions plus globales (changement climatique par exemple) ou les activités pratiquées sur le site prospecté par la population étudiée.

Mais comment estimer les paramètres démographiques lorsque l'accès à l'ensemble de la population est impossible? En effet, tous les individus ne sont pas détectables, même lorsqu'on se place dans les conditions que l'on pense optimales.

De simples comptages, même répétés dans le temps, aussi poussés et exhaustifs qu'on puisse les croire, ne donnent que très peu d'informations sur le fonctionnement de la population, car on ne connaît pas la part de la population qui n'est pas détectée. Les fluctuations d'effectifs ainsi observées ne sont de manière générale pas le reflet des variations du niveau réel de la population. **Il est donc nécessaire d'estimer la probabilité de détection des individus en conditions naturelles.**

⇨ ***Pour ce faire, des outils statistiques et des méthodes d'échantillonnage spécifiques ont été mis au point, notamment la méthode dite de « Capture-marquage-recapture » ou CMR.***

I - LES GRANDS PRINCIPES DE LA CMR

La méthode de capture-marquage-recapture consiste à réaliser des sessions de captures d'individus, répétées (au moins 2) dans le temps, au sein d'une population, avec marquage (ou autre système d'identification), puis relâcher des individus.

Le marquage peut être un marquage de groupe (un point de couleur par exemple pour chaque individu capturé lors d'une session donnée), mais on utilise de préférence le marquage individuel, car il permet d'obtenir beaucoup plus d'informations. Chez le Sonneur, il est facile à mettre en œuvre grâce à son patron ventral unique. Ce patron de coloration est en effet propre à chaque individu et stable dans le temps (hormis pour les stades les plus jeunes). La « trame » du patron définitif est cependant assez rapidement identifiable dès le stade juvénile, voire chez les émergents de l'année les plus précoces, même si la reconnaissance à vue n'est pas toujours très aisée.



Fig. 1 : 3 patrons ventraux du même individu à des stades différents. De gauche à droite : juvénile, subadulte, adulte

Le marquage consiste donc ici à photographier ce patron (*cf.* photo ci-dessus et page 17) lors de la capture. Les 3 hypothèses de base en C.M.R. sont respectées :

- ✓ Marquage unique
- ✓ Pas de perte du marquage en cours d'étude
- ✓ Pas d'influence sur la survie

⚠ Les erreurs d'identification sont tout de même possibles notamment avec une comparaison à vue et ce, d'autant plus si le nombre de photos à traiter devient important

⇨ Comparer à l'aide d'un logiciel en prenant soin au traitement des photographies des patrons ventraux.



En outre, si on peut raisonnablement penser que la photographie du patron ventral n'affecte pas la survie des individus, le stress lié à la capture et aux manipulations nécessaires à la prise de vue peut tout de même engendrer des modifications physiologiques affectant le comportement et donc le taux de recapture des individus de façon plus ou moins transitoire, en fonction du pas de temps séparant deux sessions (phénomène de « réponse à la capture » ou « trap dependance »). Cet impact peut toutefois être évalué, dans une certaine mesure, par l'élaboration de modèles appropriés lors du traitement des données.

DEUX APPLICATIONS POSSIBLES DES SUIVIS UTILISANT LES METHODES DE CMR :

- ***Estimer la taille d'une population***, en réalisant plusieurs sessions de capture rapprochées dans le temps au cours de la même année pendant la période d'activité du Sonneur.

- ***Estimer des variables démographiques*** permettant de caractériser la population : survie, fécondité, recrutement, dispersion (émigration et immigration)… Ces paramètres sont en général estimés, pour une espèce longévive comme le Sonneur, sur un pas de temps interannuel. Mais on peut aussi avec cette méthode évaluer l'impact d'autres facteurs (gestion, climat…) sur ces paramètres, en fonction de la taille du jeu de données dont on disposera en fin d'étude : nombre d'individus, nombre de sessions de capture, et surtout le nombre d'années de suivi.

Le traitement des données fait appel à des méthodes statistiques et à la construction de modèles ayant chacun des hypothèses sous-jacentes spécifiques qui conditionnent en partie le protocole. Il est donc important en amont de l'étude de bien définir les questions auxquelles on souhaite répondre et d'avoir une idée de la façon dont les données collectées seront analysées, notamment du type de modèle qui sera employé.

II - PRE-REQUIS POUR UNE CMR EFFICACE

1) UN PARAMETRE FONDAMENTAL : LE TAUX DE RECAPTURE

Le taux de recapture est lié aux caractéristiques intrinsèques de la population (densité, étendue…) mais aussi à l'espèce (détectabilité…) et au protocole (nombre de sessions de capture…)

Si les taux de recapture sont trop faibles, les estimations des paramètres seront trop imprécises, voire impossibles.
Il est donc fondamental de chercher à optimiser ce taux de recapture des individus, par exemple :

- en augmentant le nombre de sessions de capture,
- en augmentant la durée des sessions,
- en améliorant la détection des individus
- en adaptant la surface d'étude
- en ajustant la phase de terrain à la phénologie de l'espèce
- …

2) Principaux facteurs pouvant influer sur la detectabilite

Pour la plupart des amphibiens, la probabilité de détection et donc le taux de capture dépendent d'un ensemble de variables biologiques et environnementales :

- Les effectifs sur le site d'étude :

Plus la densité est faible, plus la population sera difficile à détecter. Par contre, la probabilité de capture de chaque individu est la même qu'on se place dans une grande population ou dans une petite.

- La zone d'étude :

Si la zone ne couvre qu'une partie de la population à étudier, les émigrations et immigrations peuvent fortement biaiser les estimations de taille de population ou les paramètres démographiques.

- Le rythme d'activité annuel :

Il peut générer des variations de détection. Pour le Sonneur, si le nombre de sessions de captures est limité (manque de moyen par ex.), il faudra que celles-ci soient menées pendant la période de pleine activité. C'est-à-dire pendant la **période de reproduction**, donc ni trop tôt, ni trop tard en saison.

A l'inverse, si on souhaite modéliser la phénologie, ou leurs relations avec des facteurs externes, on privilégiera des sessions régulièrement espacées et étalées sur toute la période d'activité de l'espèce.

- Les facteurs environnementaux :

Ils déterminent en partie le rythme d'activité, affectant par exemple les décisions de reproduction chez le sonneur. La **température**, les **précipitations** et la **force du vent** affectent ainsi séparément ou conjointement les probabilités de détection. Une étude menée en Alsace (Cayuela et al. 2015) a par exemple montré que les probabilités de détection du Sonneur à ventre jaune étaient maximales (> 75%) lorsque la température se situait entre 23 et 26° C. ***On réalisera donc les captures de préférence par temps chaud*** de façon à optimiser le taux de capture ou au moins dans des conditions aussi homogènes que possible afin d'éviter de générer de l'hétérogénéité du taux de capture (*cf.* chapitre suivant).

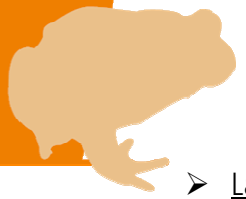
- Les caractéristiques des sites de reproduction :

La difficulté de capture augmente par exemple avec la **taille** des pièces d'eau, leur encombrement par la **végétation aquatique**, et dépend du **type de végétation** environnante, de son **recouvrement** et de la diversité des micro-habitats…

- La détectabilité des sites de reproduction :

Elle affecte directement celle des individus. En milieu forestier par exemple, certains sites peuvent se situer à l'intérieur des parcelles et ne pas être détectés en raison d'un accès difficile (strate arbustive dense etc.).

Les surfaces à parcourir peuvent être importantes, rendant une prospection exhaustive impossible. Il est donc difficile de répertorier toutes les petites pièces d'eau favorables et par conséquent les individus qui les fréquentent. La phase de prospection préalable visant à répertorier avant les sessions de capture les milieux favorables à l'espèce doit donc être menée avec un soin particulier.



- La présence d'autres espèces :

Qu'il s'agisse d'espèces compétitrices, prédatrices ou simplement plus actives, leur présence peut affecter la probabilité de détection ou les capacités de détection des observateurs. Ainsi, Cayuela et al. (2013) ont mis en évidence que la probabilité de détection du Sonneur à ventre jaune chute en présence de la Grenouille rieuse.

3) Facteurs intra-saison pouvant biaiser les estimations de taille de population

- Réponse à la capture (« trap dependance »)

La perturbation qu'induit la capture, aussi réduite soit-elle, peut engendrer un comportement d'évitement des captures suivantes. Si les sessions de capture sont très rapprochées par exemple, il en résulte une baisse du taux de recapture des individus d'une session à l'autre (pour d'autres espèces, en fonction de la méthode de capture, la réponse à la capture peut être positive et provoquer au contraire une augmentation de taux de recapture).

- « Transience »

Au sens strict, les individus « transients » sont ceux qui qui entrent dans la zone d'étude à un moment donné puis en sortent définitivement. Ils n'apparaissent donc qu'une seule fois dans l'histoire de capture.

En pratique, les histoires de capture de type « 0 0… 0 0 1 0 0… 0 0 » peuvent être générées par un mauvais protocole : taux de détection trop faible, nombre de sites non détectés trop important, mauvaise définition de la zone d'étude, variation de la zone d'étude dans le temps…Il existe des moyens statistiques pour réduire cet effet mais avec un coût très important en termes de précision. Il faut donc dans la mesure du possible éviter ces biais.

- Hétérogénéité du taux de capture

Il peut être provoqué par plusieurs facteurs :

1ère session de capture trop tôt dans la saison : les premiers sonneurs arrivés seront plus souvent capturés que les suivants.

Modification météorologique au cours d'une session de capture : si une session de capture dure plusieurs jours, les individus fréquentant les sites prospectés par beau temps auront une probabilité de capture plus élevée que ceux qui seront sur les sites prospectés par temps de pluie (*il est préférable dans ce cas d'interrompre la session et de la reprendre quand les conditions météo redeviennent plus favorables*).

Modification des zones en eau au cours d'une session de capture : si une session de capture dure plusieurs jours par très beau temps, les sites en eau au début de session peuvent progressivement s'assécher et être désertés par les sonneurs. A nouveau, cela pourra entraîner une hétérogénéité du taux de captures entre sites.

Ces trois sources de biais peuvent dans une certaine mesure être prises en compte dans les modèles à conditions d'avoir été identifiées, et peuvent pour certaines être intéressantes à étudier et à quantifier (hétérogénéité du taux de capture due à la phénologie de l'espèce par exemple). Mais lorsque les trois s'ajoutent, les estimations de taille de population et des paramètres démographiques deviennent très difficiles, voire impossible.



III - LES ETAPES PREALABLES A LA MISE EN PLACE D'UN SUIVI PAR CMR

L'élaboration du protocole est une étape cruciale dans la mise en place d'un suivi et ne doit pas être mené dans la précipitation. Il est donc important avant de se lancer dans un suivi par CMR, de :

- ***bien cerner les facteurs qui peuvent affecter*** le taux de capture,
- ***de bien définir les questions auxquelles on souhaite répondre***, pour définir un protocole en adéquation avec ces questions et avec les moyens dont on disposera.

Dans bien des cas, l'élaboration du protocole nécessitera une étude préalable ou une première année « à blanc », afin de déterminer l'effort de capture, le nombre de sessions à réaliser, l'intervalle entre les sessions etc.

1) DEFINITION DE LA PROBLEMATIQUE

La définition des enjeux et des questions est primordiale dans le sens où c'est elle qui va, avec l'enveloppe budgétaire disponible (ou à définir), déterminer s'il est réaliste de mettre en œuvre un suivi par CMR, et dans l'affirmative, quelles en seront les modalités en termes de durée, et de fréquence des sessions de capture. Il est pour cela aussi nécessaire d'avoir une idée de la façon dont les données seront traitées et il est recommandé à ce stade du projet de se rapprocher d'un biostatisticien afin de définir au mieux le protocole et optimiser le budget disponible. Un protocole relativement léger mais bien conçu peut bien souvent apporter plus d'informations qu'un protocole « lourd » ne respectant pas les hypothèses statistiques nécessaires à l'analyse et dont les résultats ne seront finalement pas interprétables.

Les objectifs les plus courants sont :

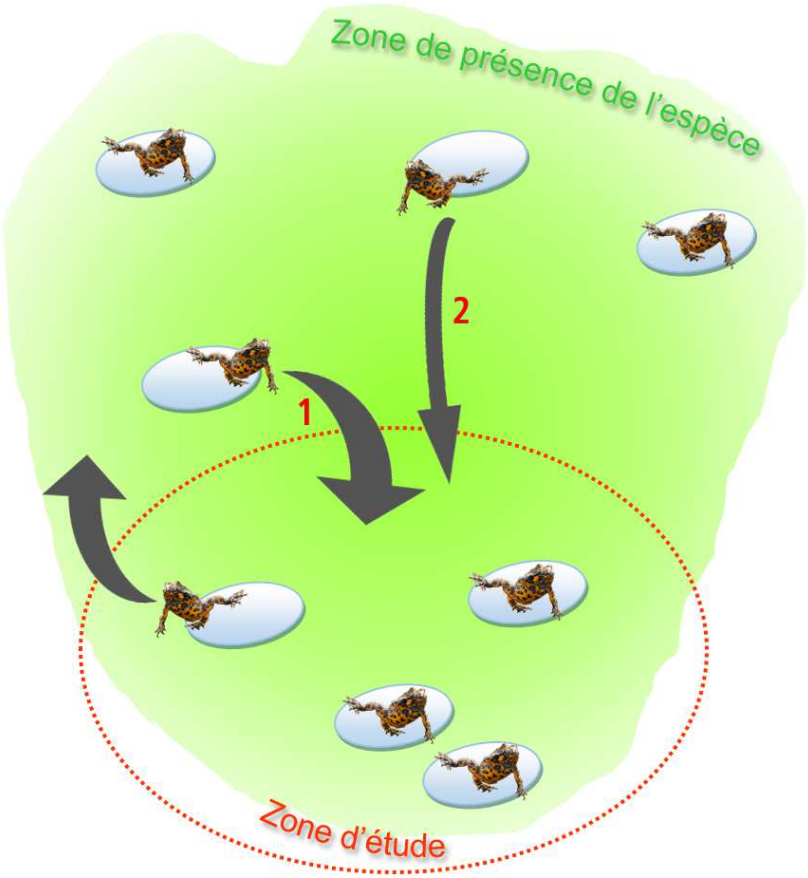
1. Estimer la taille de la population (précisément ou non)
2. Comprendre le fonctionnement de la population (en estimant les paramètres démographiques)
3. Estimer l'impact de certains facteurs externes naturels (températures, précipitations, évolutions climatiques, crues…), ou artificiel (travaux, mesures de gestion dont on veut tester l'efficacité, fréquentation touristique…) sur les paramètres démographiques.

Pour répondre à chacune de ces questions, la quantité de données nécessaires, la durée du suivi et les variables à relever sur le terrain ne sont pas forcément les mêmes et doivent être si possible prévues en amont de la mise en place du suivi.

Par exemple si l'on sait qu'il ne sera pas possible d'assurer un effort de capture constant, la collecte de certaines variables (*e.g.* nombre d'heures passées sur le terrain chaque année) peut permettre de tenir compte *a posteriori* de fluctuations de la détection, en les intégrant lors de la construction des modèles.

2) Definition de la zone d'etude

Il faut au préalable bien cerner la population à étudier, déterminer ses « contours » (sa répartition) de façon aussi précise que possible, ce qui définira le site d'étude. Cette opération peut nécessiter plusieurs années si aucune donnée n'est disponible, car le sonneur est une espèce relativement cryptique dont la répartition peut en apparence varier en fonction des conditions climatiques particulières une année donnée.

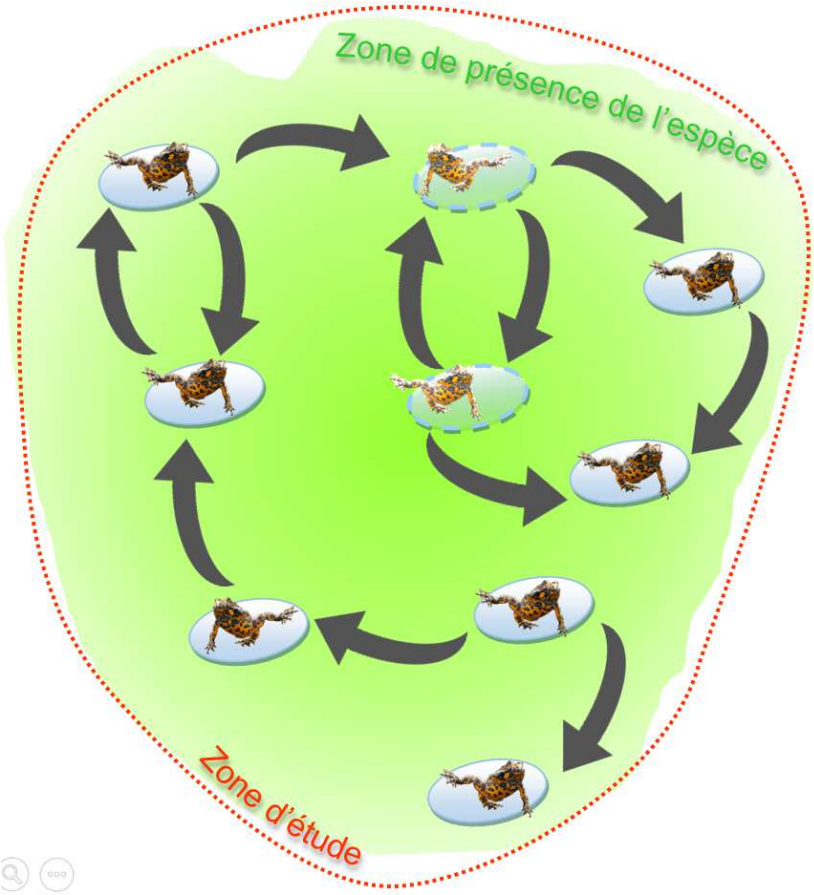


Dans cette situation, la population couvre une surface beaucoup plus importante que la zone d'étude (*contour rouge*) et des échanges ont lieu avec l'extérieur.
Les résultats (*taille de population etc.*) seront biaisés dans la mesure où les échanges ne se font pas de manière aléatoire (*on estime alors la taille de la population sur l'ensemble de la grande zone*): le déplacement **2** a par exemple une probabilité plus faible de se réaliser que le déplacement **1**.

Fig. 2 : Mauvaise définition de la zone d'étude.

Ne pas modifier, agrandir ou faire varier la zone d'étude au fil des années !
Il sera éventuellement possible d'étendre la zone de suivi en cours de suivi mais dans ce cas les résultats collectés les premières années risquent fort de ne pas être interprétables, d'où l'intérêt de définir le plus précisément possible la zone d'étude avant de mettre en œuvre le suivi proprement dit.

La zone d'étude doit comprendre l'ensemble de la zone potentiellement occupée par le sonneur ; Il ne s'agit en aucun cas d'un seul site de reproduction (mare...). La localisation des sites de reproduction, qui peut varier dans le temps (ex. des ornières en forêt), doit être inclue dans la zone d'étude.



Les animaux se déplacent au gré de la dynamique de création et disparition de leurs habitats de reproduction. Dans le cadre d'un suivi de population, certaines pièces d'eau ne sont pas détectées (en pointillés).

⇨ On considère en première approche que les échanges entre les sites détectés et non détectés se font de manière aléatoire.

On étudie donc bien dans ce cas les caractéristiques de l'ensemble de la population.

Fig. 3 : patron « classique » de distribution du sonneur dans un environnement « en mouvement », comme une forêt exploitée.

3) Realisation d'une etude prealable

Après avoir correctement défini la zone d'étude, on gagnera souvent à réaliser une première année de suivi « à blanc », une « pré-étude » avec un minimum de 3 ou 4 sessions de capture. Après une première analyse et avec l'aide éventuelle de simulations (là encore, se rapprocher d'un biostatisticien !), on pourra fournir une première estimation du taux de capture et de la taille de la population et ainsi calibrer le protocole au plus près des réalités de terrain et des questions posées : nombre de sessions de captures à réaliser par an, durée du suivi, périodes optimales… en fonction d'un degré de précision attendu sur les résultats.

Cette pré-étude permet en outre d'acquérir une certaine expérience, d'où une meilleure détection les années suivantes, une prise de données plus homogène, une identification des problèmes à résoudre avant de lancer l'étude proprement dite et éventuellement une ultime correction des contours de la zone d'étude…

4) Realisation d'une etude morphometrique pendant les premieres annees de suivi

Distinguer l'estimation de la survie des adultes de celle des stades les plus jeunes est particulièrement utile pour cerner la dynamique d'une population. Il est donc important de ***bien définir la limite entre les stades immatures et adultes, et surtout entre les stades juvéniles (1 hiver) et subadultes (2 hivers)***. Pourtant, la période de reproduction étant étalée sur plusieurs mois, et les taux de croissance pouvant varier fortement en fonction de la richesse du milieu, il est souvent assez difficile d'assigner les individus à une classe d'âge donnée pour les stades les plus jeunes.

⇨ Une étude des tailles des individus pendant les premières années permet de mieux cerner ce point.

5) Demande de derogation

Le Sonneur à ventre jaune étant une espèce protégée, il est nécessaire, préalablement à toute étude nécessitant la capture ou la manipulation d'individus, de constituer un dossier de demande de dérogation à l'interdiction de capture découlant de la réglementation (Arrêté ministériel du 19 nov. 2007).

Renseignements utiles sur les sites suivants

http://www.developpement-durable.gouv.fr/Les-differents-textes-en-vigueur.html
http://vosdroits.service-public.fr/particuliers/R2501.xhtml

et le formulaire CERFA de demande de dérogation pour la capture de spécimens d'espèces animales protégées (n°13 616*01) ici :

https://www.formulaires.modernisation.gouv.fr/gf/cerfa_13616.do

L'instruction du dossier peut demander plusieurs mois ; il est donc nécessaire de déposer la demande suffisamment tôt pour pouvoir commencer l'étude en toute légalité.



IV - QUELQUES POINTS THEORIQUES

1) ESTIMER UNE TAILLE DE POPULATION

Pour estimer une taille de population (adulte le plus souvent), on doit poser l'hypothèse que la population est close entre la première et la dernière session de capture sur une saison donnée, c'est-à-dire qu'il n'y a ni mortalité, ni naissance, ni émigration, ni immigration. Cette hypothèse forte nécessite que les sessions de captures (deux au minimum) soient réalisées sur un pas de temps court. Le marquage peut être un marquage individuel ou un marquage de groupe (peu utilisé chez le sonneur).

L'identification individuelle du sonneur est possible et permet, à partir des histoires de captures individuelles, d'estimer la probabilité de capture moyenne des individus capturés lors des différentes sessions, et par des méthodes statistiques, d'en déduire une estimation du nombre d'individus non détectés.

⇨ Ce qui permet d'estimer la taille de la population

ID	Sexe/stade	Stade 1ère capture	S1 2008	S2 2008	S3 2008	S1 2009	S2 2009	S3 2009	S4 2009	S1 2010	S2 2010	S3 2010	S4 2010	S1 2011	S2 2011	S3 2011	S1 2012	S2 2012	S3 2012	S1 2013	S2 2013	S3 2013	S1 2014	S2 2014	S3 2014
IMG_0189_180608_231_F	F	A	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
IMG_0192_190508_231_S	S	S	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IMG_0252_180608_101_J	F	J	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
P1040630_170708_133_F	F	A	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
DSCN2492_180508_133_S	M	S	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
DSCN2496_180508_45_J	F	J	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Fig. 4 : Extrait d'un tableau d'histoires de captures dans le cas d'un suivi mené sur plusieurs années.
« 1 » indique une capture, « 0 » une absence de capture (individu mort ou non détecté)

On préconise en général un minimum de 3 passages sur une même année, de préférence centrés sur le pic d'activité de l'espèce dans la zone d'étude, de façon à optimiser le taux de capture. Mais l'estimation de taille de population obtenue devra être interprétée avec la plus grande prudence :

- Tous les individus ne se rendent pas aux sites de reproduction chaque année.
- Les conditions climatiques une année donnée affectent la présence des individus sur les sites de reproduction

Par ailleurs, et c'est une chose encore assez méconnue et oubliée dans bien des suivis, il existe des « sites de repos » que peuvent fréquenter les individus entre deux séjours dans des pièces d'eau plus « conforme » à l'image que l'on se fait de l'habitat typique du Sonneur. Ce sont des pièces d'eau souvent situées plus à l'ombre, où la température est plus fraîche et la nourriture plus abondante, et où le métabolisme des individus est moins élevé, ce qui leur permet d'économiser leur énergie.

Pour une année donnée, on ne pourra donc estimer l'effectif que d'une partie de la population, c'est-à-dire celle qui est constituée des individus actifs ayant une probabilité non-nulle d'être détectée sur ces sites. Et ceci à condition que tous les sites aient bien été identifiés ! Dans le cas contraire, pour que les estimations restent valables, il faut poser comme hypothèse que les échanges d'individus entre les sites connus et les sites non identifiés se font de façon aléatoire au cours de la période d'activité. Cette hypothèse semble assez réaliste pour une espèce comme le Sonneur, du moins en milieu « instable » où la dynamique de création et de disparition des petites pièces d'eau est importante, ce qui contraint les individus à se déplacer pour rechercher de nouveaux sites favorables. Les forêts exploitées sont un exemple typique de ce cas de figure.

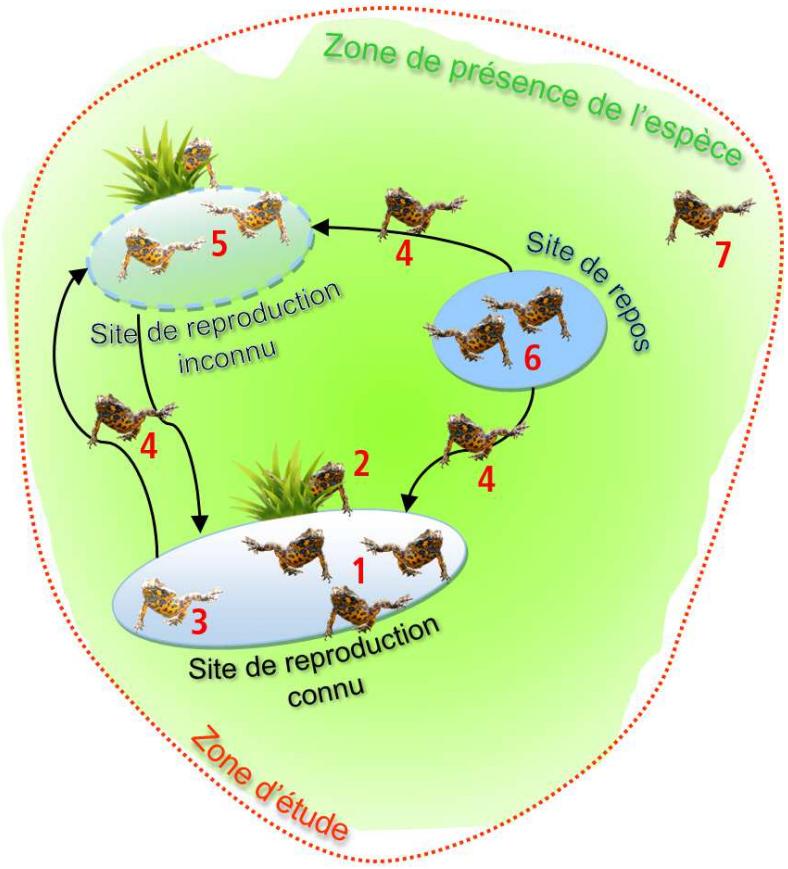


Fig. 5 : Statuts d'un Sonneur au cours d'une session de capture

1 ⇨ Disponible à la capture et capturé
2 ⇨ Présent à proximité du site lors de la session de capture, non détecté,
3 ⇨ Présent sur le site, non détecté ou détecté mais non capturé,
4 ⇨ En déplacement entre deux sites aquatiques (*de reproduction ou de repos*),
5 ⇨ Présent sur un site de reproduction non connu. Ils ont une probabilité non nulle d'être capturés au cours de la saison, mais ne sont effectivement pas tous capturés. Leur probabilité de capture peut être estimée.
6 ⇨ Indisponible à la capture si sa probabilité de détection est nulle (*site inconnu, individu fidèle à ce site durant la saison*), disponible à la capture sinon (*site connu ou pas, individu susceptible de se déplacer vers un site de reproduction*).
7 ⇨ Indisponible à la capture : ne participe pas à la reproduction cette

La partie de la population non active l'année considérée, composée d'individus « non-actifs », ayant une probabilité nulle d'être détectés et capturés (indisponibles à la capture), constitue la part d'émigration temporaire qui ne peut être évaluée par une estimation classique de taille de population.
Il sera donc nécessaire, pour espérer observer une tendance, de répéter ces suivis sur plusieurs années afin d'estimer cette part d'émigration temporaire. Les individus temporairement absents une année donnée sont en effet susceptibles d'être à nouveau actifs l'année suivante et donc de redevenir disponibles à la capture.

2) ESTIMER LES PARAMETRES DEMOGRAPHIQUES

Pour cette deuxième utilisation des méthodes de CMR, un marquage individuel est indispensable, ainsi qu'un suivi sur le long terme, en principe au moins égal à une durée de génération.

Comme pour l'estimation des tailles de population, le suivi individuel permet de quantifier l'erreur due à la non-détection d'une partie de la population (estimation des probabilités de capture). Sans cela, l'estimation des paramètres démographiques peut être fortement biaisée, entraînant une mauvaise interprétation du fonctionnement des populations. Les probabilités de captures ainsi obtenues permettront de corriger, et donc d'appréhender de façon plus fiable, un certain nombre de paramètres démographiques : survie, recrutement, croissance, émigration et immigration, à l'aide desquels il sera possible d'étudier des processus démographiques et évolutifs à un niveau assez « fin ».

Il faut pour cela mener un suivi sur plusieurs années consécutives. On admet qu'il y a des naissances et des morts d'une année sur l'autre (on cherche notamment à estimer la survie !) mais pas d'émigration ni d'immigration définitive. On ne pourra en effet pas distinguer une sortie définitive de la zone d'étude de la mortalité. Il est donc important une nouvelle fois de bien définir la zone d'étude. Les paramètres démographiques seront estimés sur un pas de temps interannuel.

Pour ce faire, plusieurs méthodes peuvent être utilisées, faisant appel à des types de modèles différents qui influent sur le protocole à mettre en œuvre.

La plus simple, mais aussi la plus imprécise, consiste à utiliser le modèle de Lincoln-Peterson ; pour 2 sessions de capture, l'estimation de la population se calcule alors comme suit :

$$N = \frac{nb\ capt1 * nb\ capt2}{nb\ recapt}$$ et son écart type : $$ET = \sqrt{\frac{((nb\ recapt^2 * nb\ capt2) - (nb\ capt2 - nb\ recapt))}{m^3}}$$

Dans les modèles plus robustes, le plus connu est le ***modèle de Cormack-Jolly-Seber (CJS)*** qui suppose une session de capture annuelle, répétée sur plusieurs années. En pratique, on réalise plusieurs sessions de captures au cours d'une même saison d'activité (1,2 et 3 dans le schéma ci-dessous), afin d'augmenter le taux de recapture et obtenir des estimations plus précises des paramètres démographiques.

La population est considérée comme close entre les sessions de capture intra-annuelles. Les sessions d'une même année sont alors regroupées en une unique session (I, II et III dans le schéma ci-dessous) où un individu apparaîtra comme capturé (« 1 » dans l'histoire de capture) qu'il ait été capturé une ou plusieurs fois.

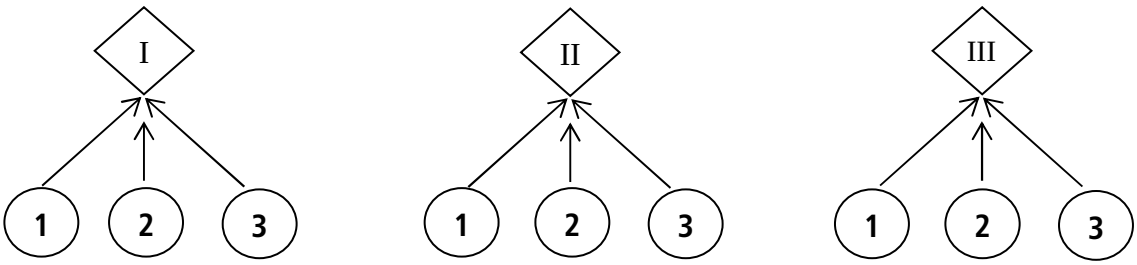


Fig 6 : modèle utilisant des sessions de capture intra-annuelles (1, 2 et 3) et interannuelles (I, II et III)



Inconvénients

⇨ biaise la survie estimée (impossible de distinguer la survie réelle de l'émigration temporaire) ; Dans le cas du sonneur, où les absences temporaires sont vraisemblablement aléatoires, on estime seulement la survie « apparente » ou survie « locale », ce qui ne permet pas de comparer les résultats d'une année à l'autre ni de les interpréter.

Il est donc recommandé, pour le Sonneur à ventre jaune et les Amphibiens en général, de réaliser les estimations de paramètres démographiques à l'aide de ***modèles du type « Robust design »*** qui permettent à la fois d'estimer les paramètres démographiques et la taille de la population sans biais malgré les absences temporaires.

Le protocole de suivi reste le même que précédemment : des sessions de capture primaires (correspondant aux années) entre lesquelles la population est ouverte, avec de la mortalité et des naissances, mais sans émigration ou immigration définitives (ou de façon très marginale), composées de sessions secondaires intra-annuelles (un minimum de 3) entre lesquelles la population est considérée comme fermée. Il est préférable de réaliser ces sessions secondaires de manière aussi homogène que possible d'une année sur l'autre (nombre de sessions, espacement entre les sessions, pression d'observation etc.). Mais les estimations de probabilités de recaptures étant dans ce cas faites session par session, l'hétérogénéité peut dans une certaine mesure être modélisée, ce qui permet une certaine souplesse. A la régularité des sessions, mieux vaut par exemple privilégier une optimisation du taux de capture en réalisant les sessions dans de bonnes conditions météorologiques. De même, il vaut mieux les interrompre en cas de pluie en attendant de conditions de températures plus favorables. De plus, l'estimation des probabilités de capture à la session permet d'estimer l'émigration temporaire et donc d'accéder à une estimation de la survie réelle. Pour ce faire, un minimum de 4 années de suivi est indispensable.

En résumé

Il est fortement recommandé de prévoir un minimum de 4 ans. 5 années sont préférables, mais ne permettent cependant pas d'aller beaucoup au-delà d'une estimation de la survie. Un suivi sur la durée de vie de l'espèce est idéal, mais la durée dépend des questions posées et du nombre de variables que l'on souhaite intégrer dans les modèles.

V – LES SESSIONS DE CAPTURE-RECAPTURE

Toutes les étapes préalables ont été réalisées, le protocole a été validé, les financements sont assurés, les moyens humains, le matériel est prêt (*cf.* page suivante) et la météo s'annonce favorable. Les sites potentiels ont été soigneusement répertoriés et on aura si possible fait à nouveau le tour des sites peu de temps auparavant afin d'avoir une meilleure idée de leur état et de leur occupation par le Sonneur. La première session de capture peut maintenant commencer.

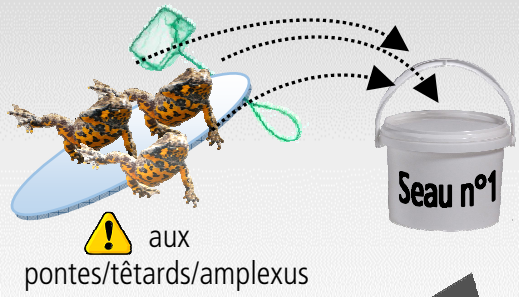
Afin d'optimiser le taux de capture, il est préférable de ne pas commencer trop tôt si les matinées sont un peu fraîches et d'attendre que les températures soient plus favorables. Des sites abritant de forts effectifs peuvent paraître déserts si on prospecte trop tôt. Inversement, par temps chaud et ensoleillé, il peut être bénéfique de prolonger assez tard en soirée. Dans certains cas, notamment si les sites ne sont pas trop envahis par la végétation, les captures peuvent se faire de nuit.

Session de capture 1/3 | Session de capture 2/3 | Session de capture 3/3

1. **Arrivée sur site** (au piétinement)
2. **Relevé GPS** (optionnel)
3. **Photographie du site**
4. **Description du site** (fiche habitat)
5. **Début de la capture**

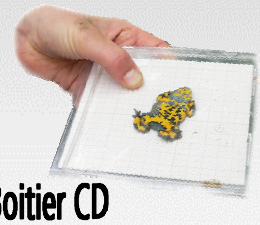
Matériel

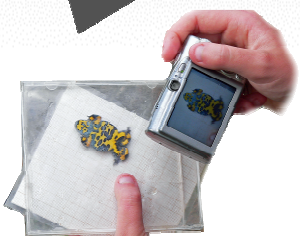
- ☐ Gants en latex ou vinyle (*non poudrés !*)
- ☐ 2 seaux (*avec un peu d'eau au fond*)
- ☐ Boitiers CD préparé (*papier millimétré coloré selon sexe*) non « slim » !
- ☐ Torchon
- ☐ Appareil photo
- ☐ Epuisette d'aquariophilie
- ☐ Loupe et tube à essai (*id. des têtards*)
- ☐ Virkon® et pulvérisateur (*désinfection*)
- ☐ Ruban biodégradable



aux pontes/têtards/amplexus



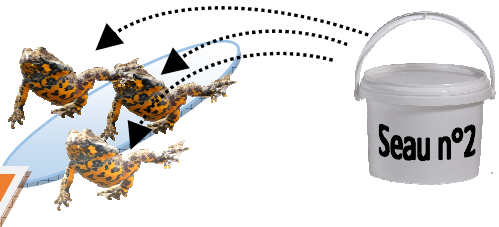












6. **Fin de la capture**

Il est recommandé d'avoir un protocole bien rédigé avec des consignes précises pour que les données soient toujours prélevées de la même manière d'une session à l'autre et d'une année sur l'autre.

PRECAUTIONS A PRENDRE / CONSEILS

Captures et manipulation

- Veiller à ne pas laisser les individus trop longtemps dans le seau, afin de limiter le stress ;
- Eviter de placer un trop grand nombre d'individus dans le même seau (auto-intoxication par le venin qu'ils sécrètent) ;
- Eviter de placer d'autres espèces (amphibiens notamment) dans le même seau que les sonneurs ;
- Ne pas laisser séjourner les seaux au soleil (surtout lorsqu'ils sont de couleur sombre) ;
- Surveiller de près les seaux pendant les prises de vue ; faire une ouverture assez large dans le couvercle des seaux de manière à conserver un « rebord » en haut.

Photographie des patrons ventraux

- La reconnaissance des sonneurs à vue sur le terrain d'après un catalogue de photos est à bannir ;
- Utiliser du papier millimétré de couleur différente selon le sexe (mâle/femelle) ou le stade (immature/adulte), même si la mesure reste approximative ;
- Pour une étude des courbes de croissance ou morphométrique, utiliser un pied à coulisse plus précis ;
- Ne pas tenter de fermer le boîtier. Attention notamment aux femelles prêtes à pondre, qui risquent d'éjecter une partie d leurs œufs dans le boîtier CD sous l'effet de la pression !
- Rincer correctement le boitier CD avec de l'eau prélevée dans le milieu ;
- Prendre la photographie parallèlement au boitier pour éviter les erreurs de parallaxe lors de la lecture des mesures ;
- Inclure dans la photo, en plus du patron ventral, le « menton », la « ceinture abdominale » et la « culotte » (cf. photo ci-contre) ;



- Enlever tout débris végétal, boue, algues qui pourrait gêner l'identification. De même les reflets, sur ou sous-exposition, goutte d'eau sur le boitier sont à éviter ;
- Pour chaque photo de patron ventral, noter le numéro d'enregistrement du cliché donné par l'appareil (P1020437, DSCN5864 etc.) et de garder ce numéro par la suite comme identifiant de l'individu ;
- Conserver, au moins dans un premier temps, toutes les photos et noter leur numéro sur la fiche de relevé, et de ne surtout pas effacer les photos en surnombre sur le terrain ;
- Baisser la résolution de l'appareil photo pour ne pas accumuler des photos trop volumineuses ;
- Eviter les photos suivantes :



RENSEIGNEMENT DE LA FICHE DE RELEVE (FICHE « CMR »)

Un modèle de fiche de relevé est proposé en annexe. Il peut bien-sûr être adapté en fonction des besoins.

Cas particulier des immatures (juvéniles et subadultes)

D'après la littérature, un Sonneur à ventre jaune est considéré adulte à partir de 3 cm (du museau au cloaque) alors qu'en réalité, la limite avoisinerait 3,5 cm. La conséquence est que certains individus assignés à la classe « femelle adulte » sont en réalité des individus immatures, éventuellement mâles, mais ne présentant à ce stade pas encore de callosités.

- distinguer les individus juvéniles, issus de pontes de l'année n-1, ayant donc survécu 1 hiver, des subadultes ayant passé 2 hivers (le taux de survie de ces deux classes d'âge est assez différent - et différent de celui des adultes - et les estimer séparément permet de mieux appréhender la dynamique de la population).
- Ne pas considérer comme juvéniles les jeunes imagos de l'année. Ils pourront éventuellement être photographiés si le patron est suffisamment développé, pour une étude de leur dispersion ou de leur croissance par exemple, mais ils ne pourront guère être pris en compte dans les analyses démographiques.
- En première approche, on se basera sur les tailles moyennes de 2,8 cm pour la transition entre juvénile et subaldulte, 3,5 cm entre subadulte et mâle, et 3,6 cm entre subadulte et femelle.
- Les subadultes avec callosités nuptiales (assez peu marquées en général) seront notés comme subadultes dans la fiche de relevé en précisant tout de même cette particularité.

A noter que chaque individu reste assigné au même stade tout au long de la saison. Un travail d'harmonisation des stades de développement reste donc à faire une fois les histoires de captures construites. Pour les individus capturés seulement en fin de saison ou qui n'ont pas été capturés l'année précédente, il est parfois difficile de trancher.

Enfin, on relèvera les malformations et les anomalies rencontrées, dont on prendra des clichés détaillés. Une forte proportion peut être révélatrice de contamination ou autres problèmes plus ou moins graves. Les mortalités, maladies et autres anomalies d'une certaine ampleur seront signalées sur le site suivant :

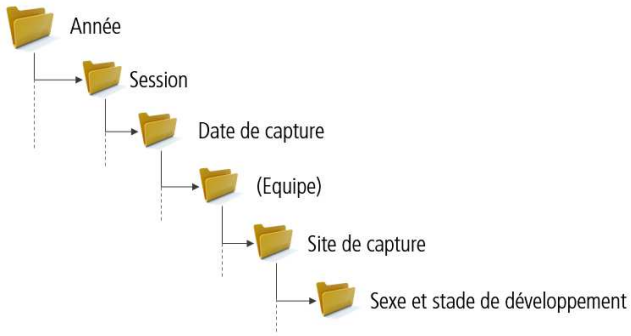
http://www.alerte-amphibien.fr/

DESINFECTION DU MATERIEL APRES LES CAPTURES

Après les captures, ou en cas de changement de site, afin de limiter le risque de dispersion d'agents pathogènes comme les Chytrides, il est indispensable de désinfecter tout le matériel ayant été en contact avec les animaux et l'eau de leurs habitats : bottes, seaux, épuisettes, boîtier CD... Un protocole de désinfection, ainsi que quelques informations et liens utiles sur les maladies des amphibiens, sont disponibles sur le site Internet « alerte amphibien » mentionné au paragraphe précédent.

VI - GESTION DES PHOTOS, ARCHIVAGE, RENOMMAGE DES INDIVIDUS, CONSTRUCTION DES HISTOIRES DE CAPTURES

Après tri des doublons et vérification d'après les fiches de terrain, conserver toutes les photos, classées par :



Il est préférable, même pour des jeux de données relativement petits, de limiter les saisies manuelles au minimum pour éviter les erreurs de frappe et d'identification. Dans ce but, nous préconisons après le tri de renommer les photos de la manière suivante (des procédures informatisées permettent de le faire automatiquement et par lots) :

« *Numéro de la photo_date de capture_site de capture_sexe ou stade* ».

Par exemple : « *IMG_2537_230514_132A_F* » pour la femelle capturée sur le site 132A le 23 mai 2014, le numéro original de la photo étant IMG_2537.

Ensuite, à partir de l'histoire de capture comportant les seuls noms, on peut très facilement, à l'aide d'une procédure automatique de conversion des données, obtenir cette histoire par date, site, sexe/stade sans la moindre saisie manuelle ni manipulation des tableurs, ce qui réduit considérablement les risques d'erreur de saisie et donc d'identification :

IMG_0292_190514_101a_F →

2014 Session 1			
ID	Date	Site	Sexe/stade
IMG_0292_190514_101a_F	19/05/2014	101a	F

Il est conseillé de conserver une base de données (sous forme de tableur ou si possible sous SIG) comportant au minimum les informations suivantes :

- Numéro de la photo/Nom de l'individu
- Date de capture
- Site de capture
- Sexe ou stade de développement attribué à l'individu au moment de la capture (susceptible d'être modifié par la suite dans le tableau des histoires de capture)
- Coordonnées GPS des sites de captures (cartographie, analyse de la dispersion)

Et éventuellement :

- Présence de callosités (important pour les subadultes)
- Présence d'anomalies éventuelles (amputations, blessures, malformations…) pour un suivi dans le temps du devenir des individus affectés

Cette base est utile dans le cas de l'utilisation du logiciel de reconnaissance d'images (« Extract Compare » par exemple). Une fois la reconnaissance des individus réalisée, le logiciel fournit directement, si cette base est construite de manière judicieuse, l'histoire des captures avec les champs attributaire de chaque individu.

IDENTIFICATION DES INDIVIDUS

Comme nous l'avons vu, l'estimation des probabilités de captures doit être fiable pour le calcul des paramètres démographiques. Cela suppose une identification sans erreur des individus recapturés.

⇨ **La comparaison des photos des patrons ventraux entre eux est donc une étape cruciale à mener avec le plus grand soin.**

Les reconnaissances à vue des photographies deux à deux deviennent vite très fastidieuses et les erreurs ne sont pas exclues. Cette méthode est à proscrire ou réservée aux très petits jeux de données.

Chez le Sonneur à ventre jaune, divers systèmes de reconnaissance basés sur les taches du patron ventral et leurs connexions ont été utilisés. Abbühl et Durrer (1993) ont proposé, sur ce principe, une clef dichotomique permettant un premier classement des patrons en 10 grandes catégories. Ce système ne va donc pas jusqu'à la reconnaissance individuelle mais les populations étudiées n'étaient que de quelques dizaines d'individus et le nombre de sessions, limité. Mais les critères choisis (symétrie ou courbure de certaines taches…) semblent assez subjectifs et paraissent de ce fait peu fiables. De plus, le patron ventral peut dans certains cas légèrement évoluer au cours de la vie de l'individu :

Apparition d'une tache
chez un individu adulte



La position des individus lors de la prise de vue peut aussi modifier l'aspect de certaines taches :



D'autres systèmes plus perfectionnés ont été élaborés sur ce principe, notamment par Pichenot dans son travail de thèse. L'identification est toujours basée sur la présence ou l'absence de certaines tâches et de leurs connexions, mais les différents critères, au nombre de 7, sont ici examinés concomitamment, ce qui conduit à 96 combinaisons possibles. Des requêtes permettent de rechercher un individu dans la base de données. Un des avantages de ce système de requêtes réside dans la possibilité de formuler des incertitudes lorsqu'un critère est peu visible (ex. photographie de mauvaise qualité ou replis cutanés empêchant de visualiser un critère). Ce système de reconnaissance semble assez fiable, mais la reconnaissance des individus juvéniles reste probablement assez délicate (*cf.* ci-contre).

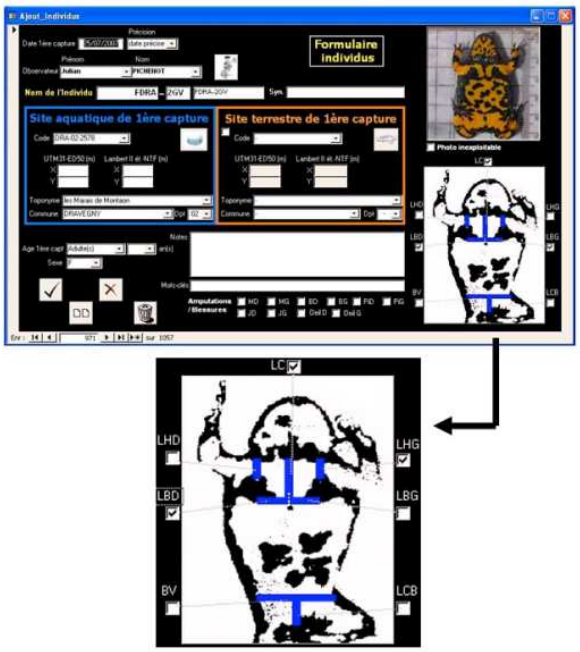


Fig. 7 : Formulaire utilisé pour la reconnaissance individuelle (Pichenot 2008).

Le logiciel **Wild ID**, gratuit en ligne, a été mis au point par la faculté de Dartmouth. Il a été utilisé notamment pour l'identification de girafes à partir du patron que forment les taches de leur pelage :

http://software.dartmouth.edu/Macintosh/Academic/Wild-ID_1.0.0.zip

Ce logiciel compare les photos ente elles, et non les patrons à proprement parlé. Son utilisation est donc conditionnée à une standardisation poussée des prises de vue (cadrage, position des individus etc.), difficile à mettre en œuvre sur le terrain avec le sonneur. Par ailleurs, Wild ID a été testé sur un jeu de plusieurs milliers de photographies de patrons ventraux, et il s'est révélé peu fiable : plus de 10 % de recaptures non identifiées, avec toutefois des photos très disparates.

Dans tous les cas, le principal problème reste l'identification des stades juvéniles, voire subadultes, chez lesquels le patron ventral n'est pas encore bien formé. Toutes les taches n'existent pas encore même si la trame générale est déjà formée, et surtout les connexions entre les taches ne sont pas encore toutes dessinées comme dans le cas ci-dessous :



Il est donc nécessaire d'utiliser des procédures qui comparent non plus les photos entre elles, mais les patrons ventraux, ou bien une partie des patrons commune entre les individus.

Un tel logiciel a été mis au point par l'Université de Cambridge. **ExtractCompare** peut être utilisé pour différents groupes d'animaux (tigres, lynx, poissons, amphibiens…) dès lors qu'ils présentent des motifs de formes diverses (lignes, taches…) permettant une reconnaissance individuelle :

http://conservationresearch.org.uk/Home/ExtractCompare/index.html

La version 1.20 de ce logiciel (payant) a été testée à nouveau sur le jeu de données cité précédemment (plusieurs milliers de photos). Si l'on ne peut pour le moment pas quantifier le taux d'erreur par manque de référence, les résultats sont plutôt rassurants comme en témoignent les différentes photos de comparaison d'individu présentés dans cette synthèse.



ANNEXE – Modèle de fiche de relevé terrain

FICHE CMR SUIVI SONNEUR A VENTRE JAUNE

LIEU : **SESSION N° :** **HEURE DEBUT :** **N° FICHE :**
DATE : **HEURE FIN :**
OBSERVATEUR/EQUIPE : **METEO :**

SITE : LIEU-DIT : AUTRE ELEMENT DE LOCALISATION : Type de site :

N° PHOTOS DU SITE : | Végétation aquatique : 0 ☐ ; 0-25% ☐ ; 25-50 % ☐ ; 50-75% ☐ ; 75-100% ☐

SONNEUR PONTE ☐ TETARDS SANS PATTES ☐ 2 PATTES ☐ 4 PATTES ☐ IMAGOS ☐ AUTRE(S) ESPECE(S) AMPHIBIEN(S) PREDATEUR(S)

Sous-site *(n° photo)*	Mâle	Femelle	Juv.	Sub.	Cal.	Numéro photo ind.	Remarques, signes particuliers Malformations individus, turbidité eau

Juv. : Juvénile (1 hiver, patron encore ±"flou", taille < 2,8 cm)
Sub. : Subadulte (2 hivers, 2,8 < taille < mâles : 3,5, femelles 3,6 cm)
} **En cas de doute sur le stade** (maturité difficile à déterminer) : noter la taille au pied à coulisse dans la colonne "Remarques"
Cal. : Callosités nuptiales Noter "++" si bien marquées, "+" si très pâles, peu marquées, "?" en cas de doute