

Les traversées manuelles de crapauds communs par des bénévoles peuvent-elles sauver les populations de la mortalité routière ?

par

David BEAUNE

*Laboratoire Biogéosciences, UMR 6282 CNRS, Université Bourgogne Franche-Comté,
6 Boulevard Gabriel, F-21000 Dijon ;*

*Groupe naturaliste universitaire de Bourgogne, 6 Boulevard Gabriel, F-21000 Dijon
david.beaune@gmail.com*

Résumé – Les amphibiens représentent deux tiers des animaux écrasés sur la route. Le comportement migratoire des crapauds lors de la reproduction les rend particulièrement vulnérables à cette mortalité routière. Avec 1 500 véhicules/jour, la probabilité d'écrasement d'un crapaud traversant une route départementale est de 40 % et cette mortalité pourrait faire décliner les effectifs de la population et affaiblir sa diversité génétique jusqu'à une probable extinction locale. De nombreux bénévoles participent à des opérations de sauvetage avec crapaudrome et traversées manuelles des amphibiens pour faire baisser cette mortalité. Malgré ces efforts, plus de dix pour cent des crapauds sont écrasés. L'analyse de viabilité des populations montre que ce taux n'est pas viable pour une petite population de 500 individus. Seule l'installation d'un crapauduc avec crapaudrome semble pouvoir pérenniser la conservation des populations affectées par les routes.

Mots-clés : *Bufo*, crapaudrome, crapauduc, ingénierie écologique, mortalité routière

Summary – **Could toad manual road-crossing by volunteers save amphibian populations from road mortality?** Two thirds of the animals killed on roads are amphibians. The migratory behaviour of the common toad prior to reproduction induces a high road-induced mortality rate. With 1,500 vehicles/day, the odds of a toad getting killed while crossing such a road reaches 40 %; Such a rate could negatively affect population densities and genetic diversity and lead to local extinction. To mitigate such local mortality, amphibians are often stopped by barriers and manually carried to the other side of the road by volunteers. Despite these efforts, more than 10 % of the toads are still killed on roads. A Population Viability Analysis (PVA) shows that this rate is not sustainable for a population of 500 individuals or less. Only tunnels (ecopassage) with barriers can guaranty the safeguard of populations threatened by road-induced mortality.

Key-words: *Bufo*, ecopassage, ecological engineering, road ecology, road mortality

I. INTRODUCTION

Cet article synthétise les apports de la littérature pour mesurer les effets de opérations de sauvegarde tel que les traversées manuelles avec installation de crapaudrome, puis testera la viabilité d'une population virtuelle soumise à différents taux de mortalité routière avec ces opérations.

1.1 Enjeux de conservation du crapaud commun

Le crapaud commun, *Bufo bufo* (Linnaeus, 1758), est parmi les amphibiens les mieux représentés en France et plus largement en Europe. Cette espèce "commune" du fait de sa large répartition bénéficie de peu de mesures de protection. Il n'est pas listé par l'IUCN sur la liste rouge des espèces menacées, n'est pas listé sur la convention de Bern, ni la directive habitats de l'Europe. Le crapaud est protégé en France par l'arrêté du 19 novembre 2007 comme tous les amphibiens. Le crapaud commun est un représentant typique de la "biodiversité commune". Mais comme la plupart des espèces "communes" les populations semblent être aussi en déclin (Carrier & Beebee 2003, Petrovan & Schmidt 2016).

Globalement les amphibiens sont en déclin (crise globale appelée crise d'extinction des amphibiens), c'est le groupe où les risques et l'extinction sont les plus sévères (Stuart *et al.* 2004, Beebee & Griffiths 2005, Wake & Vredenburg 2008, Zippel & Mendelson 2008). Dans la famille des Bufonidés, une centaine d'espèces sont en "déclin rapide" dont 80 % avec des causes non déterminées et classées comme "déclin énigmatique" (Stuart *et al.* 2004). Ce n'est pas encore le cas de *Bufo bufo*, quoique certains chercheurs s'inquiètent là où les données sont disponibles et ont été analysés. En Grande-Bretagne, l'espèce en déclin fut ajoutée comme espèce prioritaire de l'UK Biodiversity Action Plan' en 2007 puis à la '2020 biodiversity strategies' (Beebee 2012, Froglife 2018). Certaines études révèlent un déclin dans plusieurs pays ces dernières décennies, et arguent que l'espèce pourrait apparaître sur la liste rouge de l'IUCN comme vulnérable (VU) selon ses critères, avec 30 % de déclin en 10 ans pour des populations étudiées en Suisse et Grande-Bretagne (Petrovan & Schmidt 2016). Mais globalement il n'y a pas assez de données d'autres pays pour réévaluer le statut ; la dernière évaluation du statut IUCN date de 2004.

Aujourd'hui les menaces affectant les crapauds communs sont multiples (voir Tableau I). Ces menaces sont communes à la majorité des amphibiens (ex : *Batrachochytrium dendrobatidis* agent de la Chytridiomycose ; anthropisation / destruction/dégradation/pollution des habitats (Duffus & Cunningham 2010, Hayes *et al.* 2010, Van Rooij *et al.* 2015) mais le caractère migratoire et philopatrick des crapauds lors de la reproduction font qu'ils sont aussi potentiellement impactés par la mortalité routière (Figure 1).

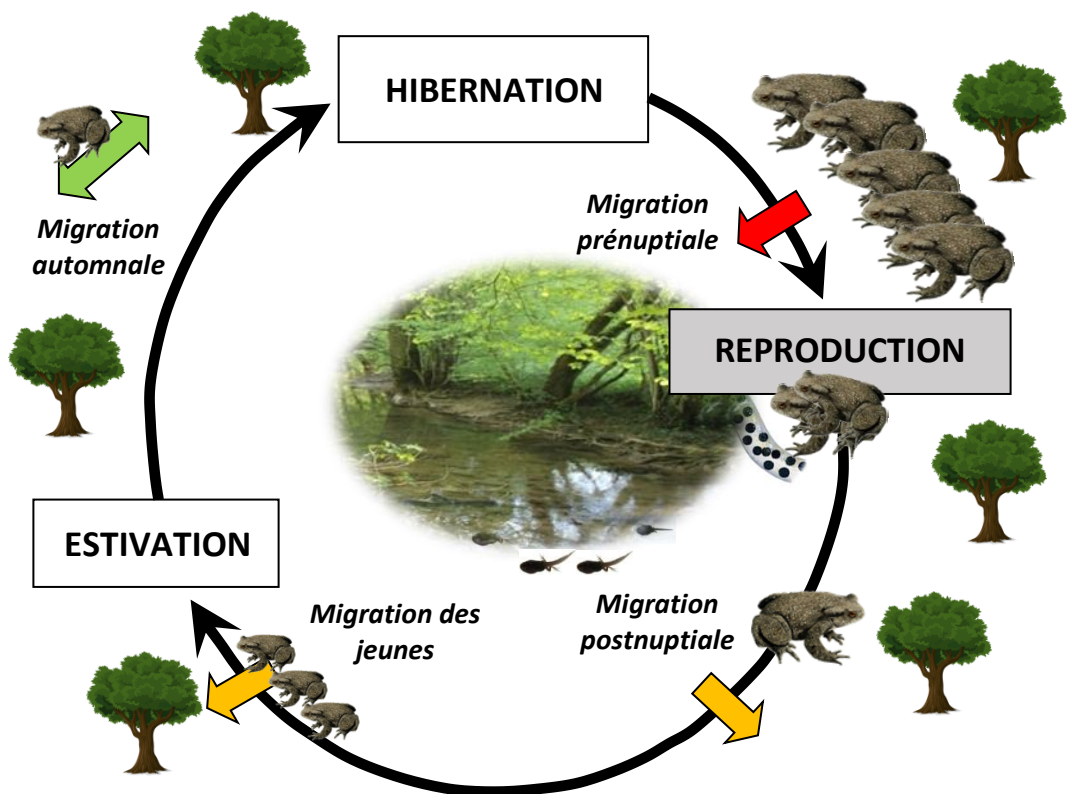


Figure 1 : Cycle biologique du crapaud commun. Sens de migration entre le milieu aquatique et terrestre : les couleurs des flèches indiquent le risque de mortalité routière (ex. rouge = risque maximal) lors des déplacements de masse où les véhicules peinent à éviter les individus.

Figure 1: Biological cycle of the common toad. Direction of migration between the aquatic and terrestrial habitats: the colours of the arrows indicate the risk of road mortality (i.e., red = maximum risk) during mass displacements where vehicles can barely avoid individuals.

Tableau I : Les cinq catégories de perte de biodiversité et la sensibilité des crapauds communs à ces menaces.

Table I: The five categories of biodiversity loss and susceptibility of common toads to these threats.

Menaces affectant les amphibiens	<i>Bufo bufo</i>	Explication (exemples)
Changement climatique	X	Effet sur la physiologie et modification des interactions
Dégradation de l'habitat	X	Destruction des zones humides, fragmentation (routes)
Invasion biologique	X	Chytridiomycose, <i>Ranavirus</i>
Pollution	X	Modification de l'habitat et de la physiologie
Surexploitation		

1.2 Mortalité routière

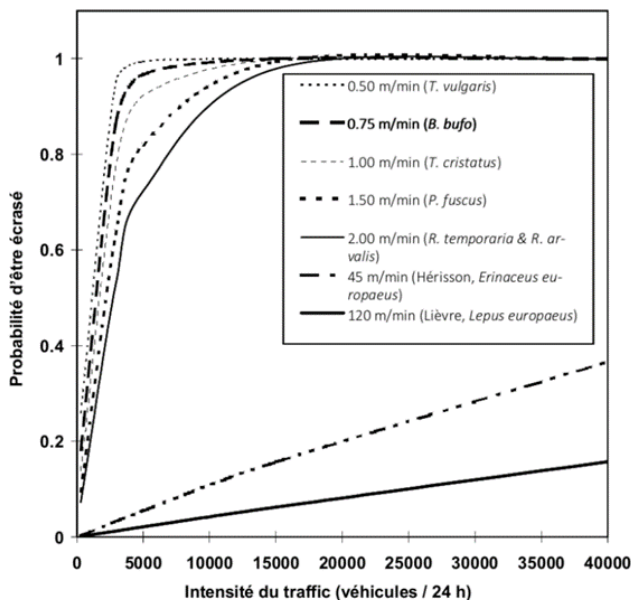
La première description de mortalité routière sur amphibiens date des années 1930 avec *Rana temporaria* près de Londres (Savage 1935). Depuis et surtout ces dernières décennies, nombreuses sont les recherches qui documentent les effets négatifs.

Le premier effet visible est l'impact négatif sur la densité des anoues (Fahrig *et al.* 1995). L'impact sur la densité des populations est détectable dès la présence d'une route à moins de 0,5 km en moyenne d'un site de reproduction (Beebee 2013). Plusieurs taux de mortalité ont été estimés allant de 2 % à > 90 % selon la densité des voitures et la qualité des zones humides (Van Gelder 1973, Lesbarrères *et al.* 2004, Orłowski 2007, Santos *et al.* 2007, Beebee 2013), et ces taux de mortalité sont probablement sous-estimés (disparition rapide des carcasses (Slater 2002) ; jusqu'à 60 % en 24 h (Brzeziński *et al.* 2012). La probabilité d'un crapaud d'être écrasé sur la route traversée perpendiculairement a été modélisée par (Hels & Buchwald 2001) à partir de la vitesse de traversée des animaux (0,75 m/min), de leur comportement journalier, comportement face au danger et en fonction de la fréquentation de la route.

Pour une route de catégorie B (= itinéraire de desserte) avec une fréquentation moyenne de 1 500 véhicules /jour, la probabilité d'écrasement des crapauds qui traversent serait alors de 40 %. De plus, les routes fragmentent l'habitat, les populations et conséquemment appauvrissent la diversité génétique de ces dernières (Hitchings & Beebee 1998, Holderegger & Di Giulio 2010).

Mais, *in fine*, y a-t-il des exemples documentés de populations éteintes localement à cause de la route ?

Peu de cas sont publiés, car soit la société civile a réagi à temps soit l'extinction est passée inaperçue ou encore le manque de donnée n'a pas permis de publication. Par ailleurs, il faut plusieurs décennies d'absence pour avérer une extinction. Cependant en Grande-Bretagne Cooke (2011) décrit un cas où le nombre de crapauds a chuté sur la route et dans des mares suivies depuis 1974, pour atteindre zéro depuis 2010.



←

Figure 2 : Probabilités de mortalité routière d'animaux avec différentes vitesses de traversée en fonction du trafic (d'après Hels & Buchwald 2001).

Figure 2: Probabilities of road mortality for animals with different crossing speeds according to road-traffic (from: Hels & Buchwald 2001).

L'absence d'aménagement, le manque d'implication et le découragement des volontaires ont fait que la mortalité routière a probablement mené à une extinction locale (Cooke 2011). D'autres exemples illustrent une chute des effectifs, sans plus aucune augmentation depuis plusieurs lustres (Beebee 2013).

1.3 Exemples d'aménagements dans la littérature

Il existe deux principaux types d'interventions pour réduire la mortalité routière lors de migration pré-nuptiale de crapauds : 1) patrouilles de bénévoles avec mise en place – ou non – de barrières ou crapaudrome ; 2) crapaudrome + crapauduc.

La signalisation pour les usagers de la route étant inefficace, elle n'est pas incluse (Beebee 2013). À noter l'exemple de construction en Allemagne d'un nouveau site de reproduction artificiel de l'autre côté de la route avec la capture et la translocation des crapauds migrants qui a permis de détourner 99 % des crapauds de leur voie de migration sur la route en cinq ans (Schlupp & Podlousky 1994).

Patrouilles de bénévoles et traversées manuelles

La mortalité de masse des crapauds sur les routes au printemps est spectaculaire et conduit d'abord à la mobilisation de bénévoles qui font traverser les animaux. Très souvent ils installent des filets/barrières faisant office de crapaudrome pour stopper les amphibiens et les dévier vers des collecteurs (ex. seaux) pour enfin les faire traverser manuellement jusqu'au point d'eau. Il faut noter que ce type d'aménagement (même suffisamment long) n'évite pas la mortalité (mort dans les seaux ou crapauds qui arrivent à passer la barrière et se font écraser). Chaque année une moyenne de 10 % de crapauds est malgré tout écrasée sur tous les tronçons de routes surveillées du Royaume-Uni par exemple (Figure 3, Froglife 2018) ou localement sur d'autres sites du continent (Orłowski 2007, Leresche *et al.* 2009, Brzeziński *et al.* 2012). Par exemple, depuis 2010 et les suivis d'un site de Côte d'Or (21), de 7 à 34 % des crapauds furent écrasés malgré les efforts de bénévoles et la mise en place de crapaudrome amovible (Figure 4 ; Beaune 2018).

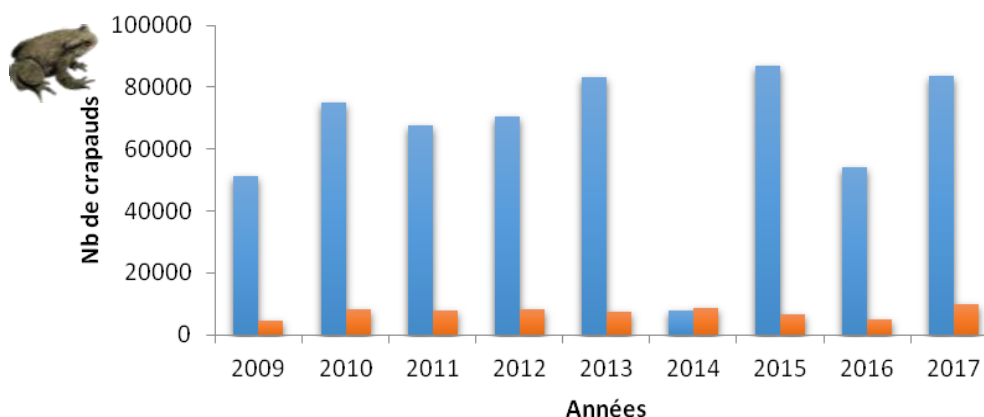


Figure 3 : Exemples d'effectifs de crapauds traversés par les bénévoles au Royaume-Uni (barres bleues) et effectifs écrasés sur ces mêmes tronçons de route malgré le dispositif (barres rouges). (Données Froglife 2018).

Figure 3: Examples of common toad numbers carried by volunteers in the United Kingdom (blue bars) and numbers of road kills at the same locality despite the rescue device (red bars). (Data Froglife 2018).

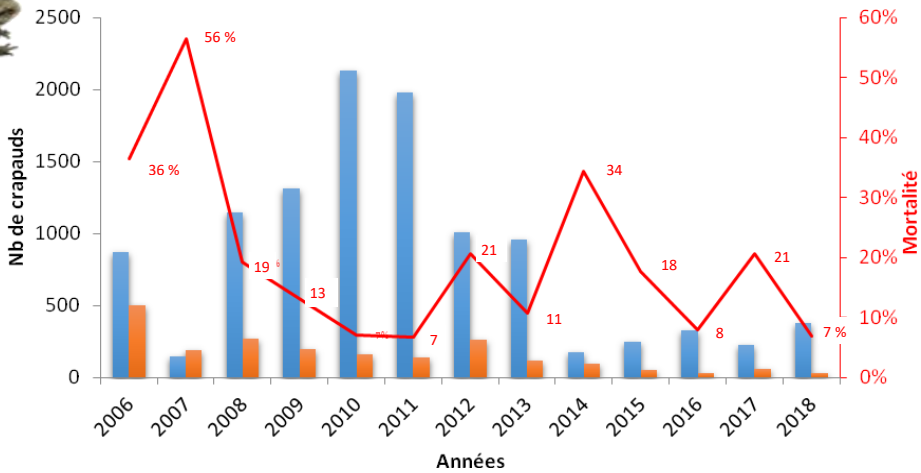


Figure 4 : Effectifs des crapauds vivants traversés (colonnes bleues) et morts (rouges) lors des opérations crapauds du groupe naturaliste universitaire de Bourgogne (GnuB) (2006-2018). Des crapaudromes sont installés en 2010. % Mortalité = $(\text{Nb morts}/\text{total}) \times 100$. RD7, Val-Suzon, Côte d'Or.
Figure 4: Numbers of common toads carried (blue columns) and dead (red) during the 'opérations crapauds' of the University naturalist group of Burgundy (GnuB) (2006-2018). Barriers were installed in 2010. % Mortality = $(\text{Number of dead} / \text{total}) \times 100$. Val-Suzon, French Côte d'Or department.

Statistiques et analyse de viabilité des populations

Un modèle de viabilité des populations est effectué avec le logiciel VORTEX 10 (Lacy 1993) avec les paramètres biologiques de l'espèce trouvés dans la littérature et disponibles en annexe III. Certains des paramètres non disponibles ont été ajustés en amont des scénarii pour un taux de croissance naturelle positif. Tous les paramètres sont communs aux populations virtuelles sauf la mortalité routière (quatre pourcentages de mortalité = quatre scénarii) affectant les crapauds de ≥ 4 ans. Ainsi des simulations de mortalité routière seront appliquées avec des taux de zéro %, 10 %, 20 % et 40 % correspondant respectivement à une absence de route, une mortalité minimale malgré les efforts de bénévoles, une mortalité moyenne malgré les bénévoles, et un taux théorique de mortalité sans action bénévole sur une route départementale de fréquentation moyenne de 1 500 véhicules/jour. Pour chaque scénario un total de 100 simulations est effectué pour une durée de 100 ans. La population est considérée comme éteinte s'il un des deux sexes a disparu. La taille initiale de population est de 500 individus (exemple d'une population 2019 probable du Val Suzon en Bourgogne qui traverse une route départementale [RD] pour rejoindre le site de reproduction ; Beaune 2018) avec une distribution classique des classes d'âges 1-12 ans (12 ans étant la longévité maximale dans ce modèle [AnAge 2018]), maturité sexuelle fixée à partir de quatre ans pour les deux sexes. Les femelles pondront en moyenne 5 000 œufs avec un taux de survie préalablement testé de 0,00342 pour une croissance positive (avec sex-ratio de la progéniture équilibré). Une femelle se reproduit en moyenne une année sur deux, mais certaines peuvent se reproduire l'année suivante lorsque les conditions le permettent (taux de femelle ne se reproduisant pas chaque année: 41 % (Loman & Madsen 2010). La mortalité annuelle est de 48 ± 3 % à partir de deux ans (légèrement plus élevé pour les mâles la première année) puis plus importante chez les femelles à partir de quatre ans (60 ± 3 % [Gittins 1983, Frétey *et al.* 2004, Leresche *et al.* 2009, Loman & Madsen 2010]). La mortalité routière s'ajoute à cette

mortalité annuelle à partir de quatre ans. Exemple de mortalité annuelle pour une femelle ≥ 4 ans qui migre avec 10 % de mortalité routière pendant la migration pré-nuptiale = $60\% + (10\% \times 40\%) = 64 (\pm 3\%$ correspondant à la variabilité interannuelle). Des événements stochastiques de mortalité sont ajoutés avec une fréquence de 5 et 1 % (c.-à-d. catastrophe naturelle, type gelées hivernales ou zoonoses). Les populations sont closes (pas de mouvement d'émigration ou d'immigration). La dépression de consanguinité est réglée par défaut à 6,29 comme pour la majorité des espèces (O'Grady *et al.* 2006).

II. Résultats de l'analyse de viabilité de la population

Seule la population virtuelle sans mortalité routière a un taux de croissance $> \text{zéro}$ (0,036 et 0,011 avec événements stochastiques) (Tableau II). Sa probabilité d'extinction (PE) en 100 ans n'est que de 2 %. La diversité génétique est relativement élevée.

La population avec 10 % de mortalité routière se maintiendrait avec un taux de croissance nulle, mais la stochasticité (événements aléatoires type gelées ou maladies) fait décroître la densité de population jusqu'à une probable extinction au cours du siècle (stoch-r = -0,019 ; PE = 28%).

Avec 20% de mortalité routière, le nombre d'individus déclinerait dès les premières années ; la probabilité d'extinction est plus élevée (78 %) et interviendrait au bout de 74 ans. La diversité génétique est relativement faible.

Avec 40 % de mortalité routière, la population périrait et s'éteindrait au bout de 52 ans (PE = 99 % ; Figure 6).

[Suite page 9]

Tableau II : Synthèse des paramètres populationnels théoriques selon quatre scénarii de mortalité « VORTEX ». Avec taux de croissance déterministe (det-r), et stochastique (stoch-r), écarts-types (SD), probabilité d'extinction (PE), taille de la population théorique au bout de 100 ans (N-all), diversité génétique (GeneDiv), hétérozygotie (AlleleN), les temps moyens et médians d'extinction (TE).

Table II: Summary of the theoretical population parameters according to four mortality scenarios "VORTEX". With deterministic growth rate (det-r), and stochastic (stoch-r), standard deviations (SD), extinction probability (PE), size of theoretical population after 100 years (N-all), genetic diversity (GeneDiv), heterozygosity (AlleleN), mean and median extinction times (TE).

	#Runs	Population	det-r	stoch-r	SD(r)	PE	N-extant	SD(Next)
1	100	Zéro mortalité routière (m.r.)	0,0360	0,0111	0,1295	0,0200	2233,74	1602,07
2	100	10 % m.r.	0,0226	-0,0188	0,2211	0,2800	612,36	670,40
3	100	20 % m.r.	0,0094	-0,0523	0,3090	0,7800	194,45	261,65
4	100	40 % m.r.	-0,0160	-0,0911	0,3874	0,9900	4,00	0,00
	N-all	SD(Nall)	GeneDiv	SD(GD)	AlleleN	SD(A)	Median TE	Mean TE
1	2189,11	1616,60	0,9260	0,0406	30,95	13,35	0	89,0
2	440,96	631,37	0,8689	0,0703	17,88	9,93	0	82,6
3	42,78	145,18	0,7511	0,1604	10,23	7,50	82	74,0
4	0,04	0,40	0,4688	0,0000	2,00	0,00	51	52,3

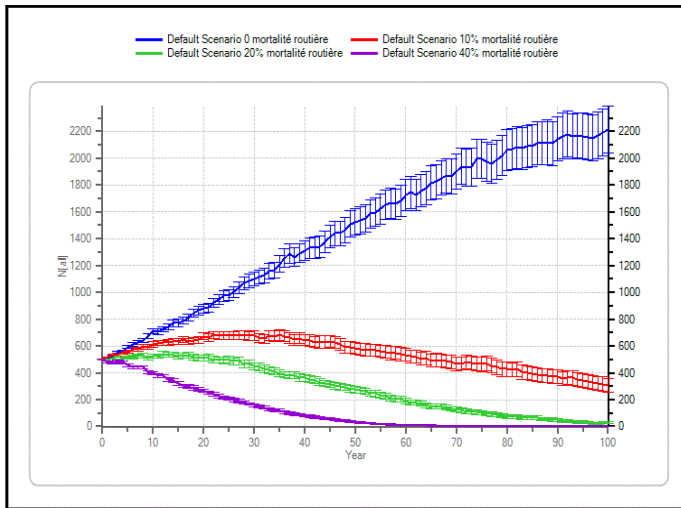


Figure 5: Theoretical population size according to four scenarios of mortality: 1- no road mortality (blue curve); 2- road mortality of 10% corresponding to the effecient actions of the volunteers (red); 3- 20% corresponding to bad years despite the efforts of the volunteers (green) and 4- 40% corresponding to the probability of getting smashed without any action on a road of 1,500 vehicles/day (violet). Bars indicate standard errors (for 100 simulations).

Figure 5 : Tailles de populations théoriques selon quatre scénarii de mortalité : 1- pas de mortalité routière (courbe bleue) ; 2- mortalité routière de 10% correspondant aux actions efficaces des bénévoles (rouge) ; 3- 20% correspondant à de mauvaises années malgré les efforts des bénévoles (verte) et 4- 40% correspondant à la probabilité d'écrasement sans aucune action sur une route de 1 500 véhicules /jour (violette). Les barres indiquent les erreurs standards (pour 100 simulations).

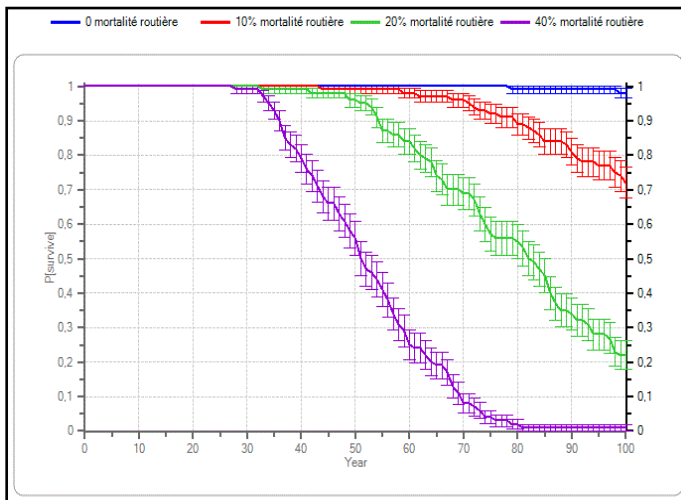


Figure 6: Survival probability of theoretical populations over 100 years according to four scenarios of mortality: 1- no road mortality (blue curve); 2- road mortality of 10% corresponding to the effecient actions of the volunteers (red); 3- 20% corresponding to bad years despite the efforts of the volunteers (green) and 4- 40% corresponding to the probability of getting smashed without any action on a road of 1,500 vehicles / day (violet). Bars indicate standard deviations (for 100 simulations).

Figure 6 : Probabilités de survie de populations théoriques sur 100 ans selon quatre scénarii de mortalité : 1- pas de mortalité routière (courbe bleue) ; 2- mortalité routière de 10 % correspondant aux actions efficaces des bénévoles (rouge) ; 3- 20 % correspondant à de mauvaises années malgré les efforts des bénévoles (verte) et 4- 40 % correspondant à la probabilité d'écrasement sans aucune action (route de 1 500 véhicules / jour [violette]). Les barres = écarts-types (pour 100 simulations).

III. DISCUSSION

Malgré les efforts des nombreux bénévoles et des améliorations d'aménagement comme la pose de filets (ou crapaudrome) qui guident les animaux jusqu'à des seaux, un pourcentage variable, mais important de crapauds (et autres amphibiens) est écrasé chaque année sur les sites de sauvetage et quel que soit le pays ($\approx 10\%$; [Orłowski 2007, Leresche *et al.* 2009, Brzeziński *et al.* 2012, Froglife 2018]). L'analyse de viabilité des populations montre qu'une mortalité routière minime de 10% affecte la population qui a un taux de croissance nulle (voir négatif en cas d'événements stochastiques type zoonose ou événement climatique exceptionnel). La probabilité d'extinction est de 28% pour 100 ans. Avec 20% de mortalité routière, les effectifs baissent, comme la diversité génétique et la probabilité d'extinction est de 78% (extinction estimée dans 82 ans). Sans actions bénévoles, avec 40% de mortalité routière sur une route départementale de fréquentation moyenne (1 500 véhicules/jour), la population s'éteindrait au bout de 51 ans en moyenne avec une probabilité de 99% . Les modèles d'analyse de viabilité de populations d'amphibiens et leurs résultats sont à prendre avec précaution pour des espèces à fort taux de reproduction comme les amphibiens. Cependant ils permettent de comparer des populations avec les mêmes paramètres démographiques, soumises à différents effets de la route. De conclure que la pérennité de la population de crapauds est sérieusement menacée à partir de 10% de mortalité routière. Le déclin apparent de la plupart des suivis en France et dans le monde (Beaune 2018) correspondrait à ces effets négatifs de mortalité routière sur la démographie. Il faut aussi souligner l'apparition de zoonose exogène (Chytridiomycose et *Ranavirus* ces dernières années).

La seule mesure pérenne permettant de faire traverser la route par les amphibiens tout en évitant leur mortalité, ne semble être que l'installation d'un tunnel sous la route (appelé crapauduc s'il cible les crapauds ; Beaune 2018). Il n'y a pas d'autre alternative efficace pour le moment (voir Beebe 2013 pour une synthèse plus complète).

Le premier tunnel pour crapauds (crapauduc) fut installé près de Zürich en 1969 (Puky 2005). Les crapauds et salamandres traversent particulièrement bien les tunnels et passent peu par-dessus les crapaudromes (≥ 40 cm) comparativement aux grenouilles. Les tunnels sont empruntés par 4 à 100% des populations locales suivant l'emplacement (Beebe 2013). Pour *Bufo bufo* les traversées sous route peuvent être particulièrement efficaces comme un exemple anglais documenté où 98% de la population locale traverse via les crapauducs (Langton 1989). Les crapauds communs sont peu sujets à l'hésitation du tunnel et passent sans trop de réticence dans les installations avec un minimum de caractéristiques favorables : suffisamment large et le plus court possible (jusqu'à 44 m dans la littérature). La nature du substrat tant qu'il n'est pas trop asséchant et permet une température similaire à l'extérieur affecte peu cette espèce. Les crapauds passent aussi bien sur le béton nu (alcalin) que sur un substrat naturel tapissant le fond de tunnel (Lesbarrères *et al.* 2004). *Bufo bufo* est probablement l'amphibien qui passe le plus facilement dans tout type de tunnels sous la route. N.B. : Les salamandres, tritons, grenouilles rousses... sont plus sensibles à un milieu asséchant type béton nu, alcalin et préfèrent passer sur un substrat de litière (Lesbarrères comm. pers.)

Les caractéristiques des tunnels à amphibiens qui fonctionnent sont très variables : voir Tableau III. Mais il n'existe pas d'étude qui compare leur efficacité relative pour l'instant (Lesbarrères & Fahrig 2012). À noter que les crapauducs seuls ne sont pas à considérer, car ils ne sont pas empruntés naturellement sans y être forcés via un crapaudrome assez long (Cunnington *et al.* 2014).

Tableau III : Caractéristiques de tunnels pour amphibiens (bratrachoducs dont crapauducs), d'après Beebee (2013).

Table III: Characteristics of tunnels for amphibians, according to Beebee (2013)

	Moyenne	Médiane	Fourchette
% individus utilisant le tunnel	50,70	42,50	4,00 – 100,00
Longueur du tunnel (m)	14,70	10,00	7,00 – 44,00
Largeur du tunnel (m)	0,48	0,20	0,10 – 2,50
Hauteur du tunnel (m)	0,51	0,40	0,30 – 1,20
Longueur crapaudrome (km)	2,14	0,40	0,36 – 4,00
Hauteur crapaudrome (m)	0,69	0,40	0,40 – 4,00

Remerciements – Cette analyse a bénéficié de financement de l'ONF gestionnaire de la RNR du Val Suzon. Les nombreux bénévoles du GnuB qui ont participé à la conservation des amphibiens du Val Suzon sur ce secteur depuis 2006 doivent être remerciés. Merci aux relecteurs et experts pour leurs apports éclairés (les membres du GnuB, H-P Savier, M. Treca, C. Delaplace, Bernard Le Garff, Thierry Frétey, C-P. Guillaume).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AnAge 2018 – *AnAge Database of Animal Ageing & Longevity*;
http://genomics.senescence.info/species/entry.php?species=Bufo_bufo (Accessed: 2019/09/06).
- Beaune D. 2018 – *Plan opérationnel de sauvegarde des crapauds communs (Bufo bufo) et autres amphibiens du Val-Suzon*. HPE consulting, Dijon. 64 p.
- Beebee T.J. 2012 – Decline and flounder of a Sussex common toad (*Bufo bufo*) population. *Herpetological Bulletin*, 121: 6-16.
- Beebee T.J. 2013 – Effects of road mortality and mitigation measures on amphibian populations. *Conservation Biology*, 27(4): 657-668.
- Beebee T.J. & Griffiths R.A. 2005 – The amphibian decline crisis: a watershed for conservation biology? *Biological Conservation*, 125(3): 271-285.
- Brzeziński M, Eliava G. & Żmihorski M. 2012 – Road mortality of pond-breeding amphibians during spring migrations in the Mazurian Lakeland, NE Poland. *European Journal of Wildlife Research*, 58(4): 685-693.
- Carrier J-A. & Beebee TJ. 2003 – Recent, substantial, and unexplained declines of the common toad *Bufo bufo* in lowland England. *Biological Conservation*, 111(3): 395-399.
- Cooke A. 2011 – The role of road traffic in the near extinction of Common Toads (*Bufo bufo*) in Ramsey and Bury. *NatCambridgesh*, 53: 45-50.
- Cunnington G.M., Garrah E., Ewen E. & Fahrig L. 2014 – Culverts alone do not reduce road mortality in anurans. *Ecoscience*, 21(1): 69-78.
- Duffus A.L. & Cunningham A.A. 2010 – Major disease threats to European amphibians. *The Herpetological Journal*, 20(3): 117-127.
- Fahrig L, Pedlar J.H., Pope S.E., Taylor P.D. & Wegner J.F. 1995 – Effect of road traffic on amphibian density. *Biological conservation*, 73(3): 177-182.

- Frétey T., Cam E., Le Garff B. & Monnat J.Y. 2004 – Adult survival and temporary emigration in the common toad. *Canadian Journal of Zoology*, 82(6): 859-872.
- Froglife 2018 – *Toads on roads*. Froglife, Peterborough, Cambridgeshire. <https://www.froglife.org/what-we-do/toads-on-roads/facts-figures/> [Internet].
- Hayes T.B., Falso P., Galiipeau S. & Stice M. 2010. The cause of global amphibian declines: a developmental endocrinologist's perspective. *The Journal of Experimental Biology*, 213(6): 921-933.
- Hels T. & Buchwald E. 2001. The effect of road kills on amphibian populations. *Biological Conservation*, 99(3): 331-340.
- Hitchings S. & Beebee T. 1998 – Loss of genetic diversity and fitness in common toad (*Bufo bufo*) populations isolated by inimical habitat. *Journal of Evolutionary Biology*, 11(3): 269-283.
- Holderegger R. & Di Giulio M. 2010 – The genetic effects of roads: a review of empirical evidence. *Basic and Applied Ecology*, 11(6): 522-531.
- Lacy RC. 1993 – VORTEX: a computer simulation model for population viability analysis. *Wildlife research*, 20(1):45-65.
- Langton T.E.J. 1989 – *Amphibians and Roads: Toad Tunnel Conference Proceedings*. Shefford. 202 p.
- Leresche P.A., Cherix D. & Pellet J. 2009 – Analysis of amphibian migrations across the Route des Paysans (Jorat, Switzerland) between 1995-2005. *Bulletin Société Vaudoise des Sciences Naturelles*, 91: 389-406.
- Lesbarrères D. & Fahrig L. 2012 – Measures to reduce population fragmentation by roads: what has worked and how do we know? *Trends in ecology & evolution*, 27(7): 374-380.
- Lesbarrères D., Lodé T. & Merilä J. 2004 – What type of amphibian tunnel could reduce road kills? *Oryx*, 38(2): 220-223.
- Loman J. & Madsen T. 2010 – Sex ratio of breeding Common toads (*Bufo bufo*) – influence of survival and skipped breeding. *Amphibia-Reptilia*, 31(4): 509-524.
- O'Grady J.J., Brook B.W., Reed D.H., Ballou J.D., Tonkyn D.W. & Frankham R. 2006 – Realistic levels of inbreeding depression strongly affect extinction risk in wild populations. *Biological Conservation*, 133(1): 42-51.
- Orłowski G. 2007 – Spatial distribution and seasonal pattern in road mortality of the common toad *Bufo bufo* in an agricultural landscape of south-western Poland. *Amphibia-Reptilia*, 28(1): 25-31.
- Petrovan S.O. & Schmidt B.R. 2016 – Volunteer conservation action data reveals large-scale and long-term negative population trends of a widespread amphibian, the common toad (*Bufo bufo*). *PloS one*, 11(10):e0161943.
- Puky M. 2005 – *Proceedings of the 2005 International Conference on Ecology and Transportation*. T1 - Chap. 8, Amphibian road kills: A global perspective. Pp. 325-338.
- Santos X., Llorente G.A., Montori A., Carretero M., Franch M., Garriga N. & Richter-Boix A. 2007 – Evaluating factors affecting amphibian mortality on roads: the case of the Common Toad *Bufo bufo*, near a breeding place. *Animal biodiversity and conservation*, 30(1): 97-104.

- Savage R.M. 1935 – The Influence of External Factors on the Spawning Date and Migration of the Common Frog, *Rana temporaria temporaria* Linn. *Proceedings of the Zoological Society of London*, 105(1): 49-98.
- Schlupp I. & Podloucky R. 1994 – Changes in breeding site fidelity: a combined study of conservation and behaviour in the common toad *Bufo bufo*. *Biological Conservation*, 69(3): 285-291.
- Slater F. 2002 – An assessment of wildlife road casualties—the potential discrepancy between numbers counted and numbers killed. *Web Ecology*, 3(1): 33-42.
- Stuart S.N., Chanson J.S., Cox N.A., Young B.E., Rodrigues A.S., Fischman D.L. & Waller R.W. 2004 – Status and trends of amphibian declines and extinctions worldwide. *Science*, 306(5702): 1783-1786.
- Van Gelder J. 1973 – A quantitative approach to the mortality resulting from traffic in a population of *Bufo bufo* L. *Oecologia*, 13(1): 93-95.
- Van Rooij P, Martel A, Haesebrouck F. & Pasmans F. 2015 – Amphibian chytridiomycosis: a review with focus on fungus-host interactions. *Veterinary Research*, 46: 22.
- Wake D.B. & Vredenburg V.T. 2008 – Are we in the midst of the sixth mass extinction? A view from the world of amphibians. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(Supplement 1): 11466-11473.
- Zippel K.C. & Mendelson I.J.R. 2008 – The amphibian extinction crisis: a call to action. *Herpetological Review*, 39(1): 23-29.

Manuscrit accepté le 23 septembre 2018