

QUALITÉ DE L'EAU ET SUCCÈS DE LA REPRODUCTION DES AMPHIBIENS

Grenouilles rousses (*Rana temporaria*) et Rainettes vertes (*Hyla arborea*) dans
des étangs créés à leur intention dans les cantons de Bâle et d'Argovie



Hyla arborea, 05.07.2006, Hard, E. Morard

Eric Morard & Nora Zuberbühler - 2006

TABLE DES MATIÈRES

1. Introduction	p. 3
2. Matériel et méthode	p. 4
2.1. Zone d'étude	p. 4
2.2. Paramètres relevés	p. 5
2.3. Analyses	p. 6
3. Résultats	p. 7
3.1 Analyse générale des étangs	p. 7
3.2. Grenouille rousse	p. 9
3.3. Rainette verte	p. 11
4. Discussion	p. 14
4.1. Etanchéification des étangs	p. 14
4.2. Grenouille rousse	p. 14
4.3. Rainette verte	p. 15
5. Conclusion	p. 15
6. Remerciements	p. 16
7. Bibliographie	p. 16
8. Annexes	p. 17

Résumé

Depuis quelques années, de nombreux projets de restauration ou de création de biotopes pour les amphibiens voient le jour. Cela implique souvent la création de nouveaux plans d'eau dont différents paramètres doivent être pris en considération lors de leur aménagement. La qualité physico-chimique de l'eau est un de ces facteurs qui peut influencer l'installation et la réussite de la reproduction de populations de batraciens. Elle peut dépendre de différents facteurs dont, en particulier, la technique utilisée pour étanchéifier l'étang. Il est connu que les plans d'eau stabilisés à la chaux présentent un pH élevé qui dépasse souvent la valeur de 9. Mais, bien que cela soit considéré comme pouvant perturber le bon développement des œufs et des têtards, la réussite de la reproduction dans de tels étangs a pu être constatée lors de cette étude chez la Grenouille rousse et la Rainette verte. Le succès de reproduction n'a par contre pas pu être quantifié. Il n'a donc pas été possible de savoir si la reproduction a été aussi bonne que dans des sites « naturels ». Des investigations complémentaires seront nécessaires pour avoir des données plus précises et complètes à ce sujet.

Citation recommandée : Morard E. et N. Zuberbühler (2006). *Qualité de l'eau et succès de la reproduction des amphibiens, Grenouilles rousses (Rana temporaria) et Rainettes vertes (Hyla arborea) dans des étangs créés à leur intention dans les cantons de Bâle et d'Argovie*. Karch, 28 p.

1 INTRODUCTION

Une très grande proportion des amphibiens sont actuellement menacés et cela à travers le monde. Ces animaux sont en effet très sensibles à toutes modifications de leur habitat du fait de leur mode de vie mi-aquatique mi-terrestre. Les facteurs perturbateurs sont nombreux et divers : destruction pure et simple des plans d'eau, pollutions diverses, fragmentation du paysage et isolation des populations, introduction de poissons ou d'autres prédateurs, changements climatiques, etc. (Blaustein & Kiesecker 2002, Pellet 2005). Les problèmes sont connus de longue date mais une véritable prise de conscience et la mise en place de mesures de protection ont souvent tardés. Il est déjà trop tard pour revenir en arrière dans de nombreux cas.

La Suisse ne renferme pas, par rapport à d'autres régions du monde, une très grande diversité d'espèce mais l'état des populations n'est pas plus réjouissant qu'ailleurs. Parmi les 20 espèces et complexes d'espèces d'amphibiens présents en Suisse, 14 (70%) figurent dans la Liste Rouge (Schmidt & Zumbach 2005).

Un très grand nombre de sites de reproduction, en particulier sur le Plateau, ont disparu ou ont été fortement dégradés suite à l'extension des zones d'infrastructure et de l'intensification de l'agriculture. Les étangs restant ne sont plus assez nombreux pour former un réseau qui permette aux populations d'être interconnectées et dès lors leur survie n'est plus assurée à long terme (Pellet 2005). Après la mise sous protection des derniers sites de reproduction importants existants et de leurs environs (en particulier grâce à l'ordonnance sur la protection des sites de reproduction de batraciens d'importance nationale, OBat), les efforts se concentrent maintenant sur la revitalisation ou la création de plan d'eau qui permettent de restaurer un réseau fonctionnel pour ces animaux (Schmidt & Zumbach 2005).

Le cas de la Rainette verte est exemplaire. L'aire de répartition de cette espèce en Suisse s'est petit à petit réduite depuis le milieu du Xxe siècle pour aboutir à quelques petites populations isolées de nos jours (Grossenbacher 1988, Pellet 2005 ; Figure 1).

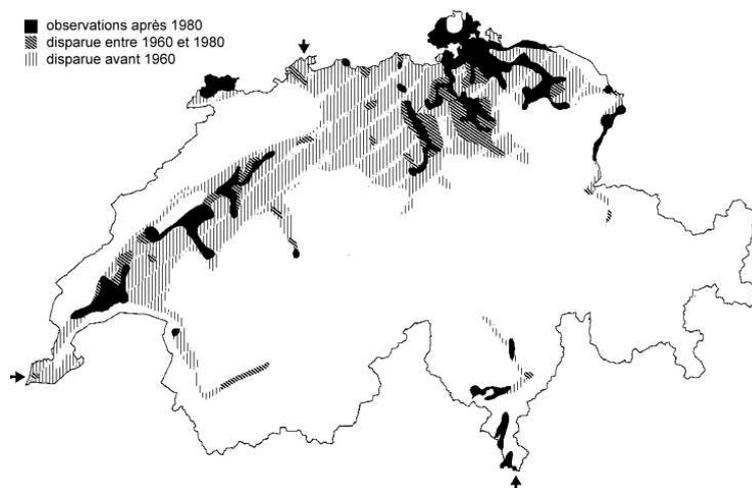


Figure 1. Evolution de la répartition de la Rainette verte en Suisse

Mais les nombreuses études qui ont eu cette espèce pour sujet ont permis de bien connaître ces exigences et d'apporter des bases solides pour proposer des mesures favorables à cet amphibien. Les exigences primaires de la Rainette quant à ses sites de reproduction sont les suivants : présence d'un site occupé à moins de 2000 m ; fort ensoleillement (8 à 14 h/jour durant le développement des têtards) ; faible profondeur d'eau (10 à 50 cm, berges à faible pente) ; végétation aquatique peu abondante ; assèchement hivernal annuel ou bisannuel ; absence de poissons (Pellet et Neet 2002).

La création de nouveaux plans d'eau a eu lieu ou est en cours dans différentes régions de Suisse. Mais, outre la situation et la morphologie de l'étang, d'autres facteurs peuvent rendre celui-ci plus ou moins attractif pour les amphibiens, la qualité physico-chimique de l'eau en est un en particulier. Certaines techniques d'étanchéification d'étangs, connues pour entraîner des effets sur le pH de l'eau, peuvent donc avoir indirectement des effets sur ces animaux. Il est admis par exemple que, pour la Rainette verte, un pH supérieur à 9 empêche l'éclosion des œufs (Tester 1990). Jusqu'à présent, peu d'études ont pourtant abordé ce sujet afin de savoir si certains type d'aménagements pouvaient s'avérer inadéquats.

Cela a motivé la mise en place de cette étude qui a porté, pour partie, sur la population de Rainette du Reusstal inférieur. Dans cette région, de nombreux plans d'eau ont été créés afin de permettre la survie et l'extension d'un des derniers noyaux suisses de cette espèce (Flory 2004). Afin que les plans d'eau soient en eau suffisamment longtemps, ceux qui n'étaient pas alimentés par une nappe souterraine ont dû être étanchéifiés au moyen de glaise ou d'argile additionnée de chaux.

Cette dernière technique semble bonne a priori mais des doutes sont apparus quant à des effets indésirables possibles. Il est en particulier apparu que de tels plans d'eau pourraient avoir une qualité d'eau ne permettant pas un bon développement des œufs et des têtards au vu du pH élevé qui s'y observe (Zumbach et Ryer).

Cette étude a donc pour but d'essayer de savoir si des différences dans la réussite de la reproduction peuvent être mises en évidence entre les différents types d'étangs et si oui si certains paramètres, en particulier concernant la qualité de l'eau, peuvent être invoqués. La question principale est de savoir si les étangs stabilisés à la chaux permettent ou non à des amphibiens de s'y développer correctement. En plus des étangs à Rainette du Reusstal, d'autres plans d'eau ont également été visités afin de savoir ce qu'il en est pour une autre espèce, à savoir la Grenouille rousse.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODE

2.1 Zone d'étude

Cette étude s'est déroulée dans le nord de la Suisse dans les cantons de Bâle et d'Argovie. Les sites à Rainette se concentrent dans le Reusstal inférieur aux alentours de Bremgarten (Figure 2).

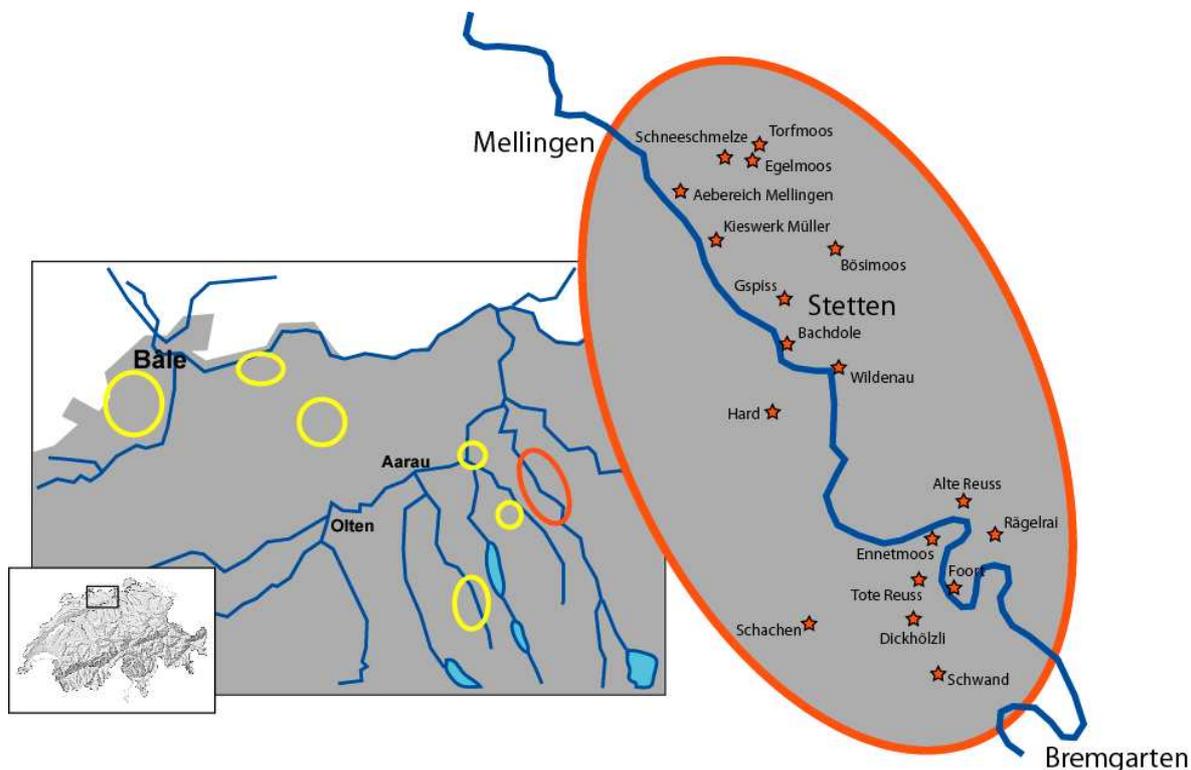


Figure 2. Situation de la zone d'étude : en rouge, les sites à Rainette dans le Reusstal (à droite) ; en jaune, les autres sites prospectés.

Au total, 40 sites ont été visités entre début avril et mi-juillet 2006 (dont 18 dans le Reusstal). Un site regroupant entre 1 et 14 plans d'eau, des données ont été récoltées finalement pour 171 étangs (dont 101 dans le Reusstal ; Annexe 1). La Figure 3 illustre différents types d'étangs prospectés.



Bösimoos, étang n°2 (nappe souterraine) : pontes de Grenouille rousse et têtards de Rainette



Hard, étang n°8 (nappe souterraine) : têtards et juvéniles de Rainette



Schneeschnelze (glaise) : têtards et juvéniles de Grenouille rousse et de Rainette



Schümmel, étang n°6 (glaise) : têtards et juvéniles de Grenouille rousse



Kieswerk Müller, étang n°1 (chaux) : têtards de Rainette



Aebereich Mellingen, étangs 5 et 6 (chaux) : têtards de Rainette

Figure 3. Quelques exemples de plans d'eau prospectés.

2.2 Paramètres relevés

Trois protocoles descriptifs ont été utilisés. Le premier décrit de façon générale le site (nom, coordonnées, mesures de protection, schéma) ainsi que chaque plan d'eau qui le compose (n°, type d'étang, dimension, étanchéification, recouvrement par la végétation, substrat, assèchement, ensoleillement, espèces observées ; Annexe 2). Le second sert à relever les paramètres physico-chimiques de chaque plan d'eau : alimentation en eau, turbidité, recouvrement par la végétation, température de l'eau et de l'air, pH, conductivité, dureté de l'eau (Annexe 3).

Au début de l'étude, le pH a été mesuré à l'aide de bandelettes indicatrices. Par la suite un pH-mètre a été utilisé tout en continuant à utiliser les bandelettes. Le troisième protocole, quant à lui, permet de synthétiser les captures réalisées sur 10 m de l'étang en 5 coups de filoches : profondeur de l'eau, recouvrement par la végétation, larves d'amphibiens capturés (espèce, nombre, stade de développement, taille ; Annexe 4). Le nombre de pontes de Grenouille rousse dans les étangs a également été recensé au début de l'étude.

Plusieurs passages par sites ont été effectués durant la période d'étude et les relevés ont, à chaque fois, été réalisés sur les mêmes points de mesures (Figure 4). L'Annexe 5 résume les variables qui ont pu être utilisées pour les analyses soit au niveau du site soit au niveau de l'étang.

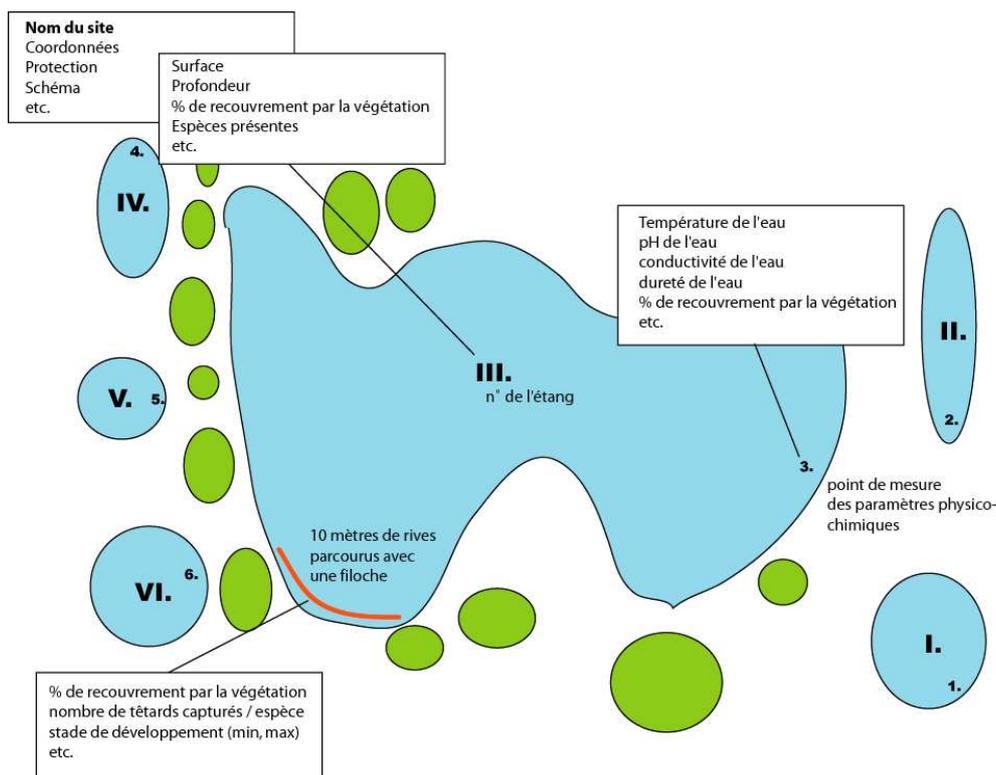


Figure 4. Schéma d'un site et des différents points et paramètres relevés lors de chaque passage

2.3 Analyses

Les données ont été reportées dans un tableur Excel puis importées dans une base de donnée Access afin de pouvoir trier et sélectionner certaines données à analyser en fonction de critères précis. En ce qui concerne les paramètres physico-chimiques relevés, la moyenne, par étang, des mesures effectuées lors des différents passages a été utilisée pour les analyses. Pour le pH de l'eau, les résultats présentés par la suite concernent les valeurs mesurées au moyen du pH-mètre (plus précises que celles obtenues avec les bandelettes). Les analyses concernant les pourcentages de recouvrement par la végétation se réfèrent aux valeurs relevées au niveau de l'étang dans son ensemble.

Des différences entre les étangs avec ou sans pontes ou larves d'amphibiens ont été recherchées, en particulier en fonction du type d'étanchéification des étangs ou encore de l'observation d'un pH élevé. Des tests sur les moyennes (t-test ou Wilcoxon rank-sum test en fonction de la normalité ou non des données) ont été effectués à l'aide du logiciel S-Plus 2000. Des tests de corrélation ont également été réalisés avec ce même logiciel afin de savoir si certaines variables étaient liées entre elles. Une analyse plus descriptive (moyennes, proportions en fonction de catégories, etc.) de certaines données a été effectuée avec Excel.

3 RÉSULTATS

3.1 Analyse générale des étangs

Sur les 171 étangs prospectés, l'étanchéité de 60 d'entre eux est assurée grâce à la présence de glaise, 48 à de la chaux, 6 à du béton, 3 à une bâche plastique. Dans 29 cas par contre elle est liée à la présence d'une nappe souterraine et dans 25 cas cette caractéristique n'est pas connue (Figure 6).

Une comparaison des caractéristiques des étangs créés il y a quelques années et étanchéifiés avec de la glaise ou de la chaux fait ressortir des différences significatives entre ces deux types de plans d'eau (Tableau 1, Figure 5). Les plans d'eau stabilisés à la chaux présentent, en particulier, un taux de recouvrement par la végétation plus faible ainsi qu'une conductivité de l'eau plus basse mais une diversité batrachologique plus élevée (Annexe 6). Les étangs, en général semi-naturels, alimentés par une nappe souterraine ont, intrinsèquement, des valeurs très différentes pour plusieurs de ces paramètres : surface plus élevée, taux de recouvrement par la végétation plus élevé, température de l'eau plus basse, pH de l'eau plus faible et conductivité plus élevée (Annexe 6).

Tableau 1. Valeurs moyennes des paramètres pour lesquels des différences significatives apparaissent par rapport aux étangs alimentés par une nappe souterraine (*) ou entre les étangs étanchéifiés avec de la glaise ou de la chaux (en rouge)

	Nappe souterraine	Glaise	Chaux
Surface [m ²]	1912,6	335,1 *	319,9 *
Profondeur [m]	1,7	0,7 *	1,0
Plantes subaquatiques [% de recouvrement]	64,6	45,2	30,8 *
Roseaux [% de recouvrement]	11,7	7,0	4,0 *
Carex et joncs [% de recouvrement]	14,6	10,6 *	2,1 *
Characées [% de recouvrement]	44,8	35,1	20,5 *
Température de l'eau [°C]	23,0	26,1 *	27,5 *
pH	7,6	8,4 *	8,4 *
Conductivité [µS/cm]	392,6	269,8 *	178,9 *
Dureté [°FH]	20,6	13,5 *	10,4 *
Diversité batrachologique	2,3	1,7	2,3

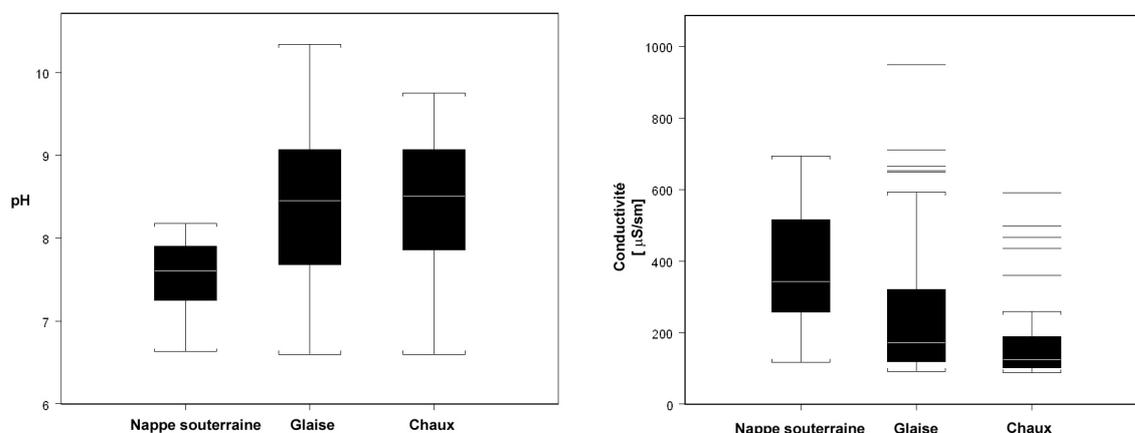


Figure 5. Boxplots des valeurs de pH et de conductivité de l'eau des différents types d'étangs prospectés

Il apparaît également que certaines espèces d'amphibien ont une préférence pour certains types d'étangs : six des huit étangs où la présence de Crapaud calamite (*Bufo calamita*) a été notée sont stabilisés à la chaux et, à l'inverse, tous les plans d'eau dans lesquels des Tritons crêtés (*Triturus cristatus*) ont été observés (n = 4) sont alimentés par une nappe souterraine.

Le pH de l'eau de 56 étangs a atteint ou dépassé au moins une fois la valeur de 9 et dans 18 cas elle a même atteint les 10 ou plus. Dans la quasi-totalité des cas il s'agissait d'étangs étanchéifiés avec de la glaise ou de la chaux, un seul cas concerne un étang alimenté par une nappe souterraine (Figure 6).

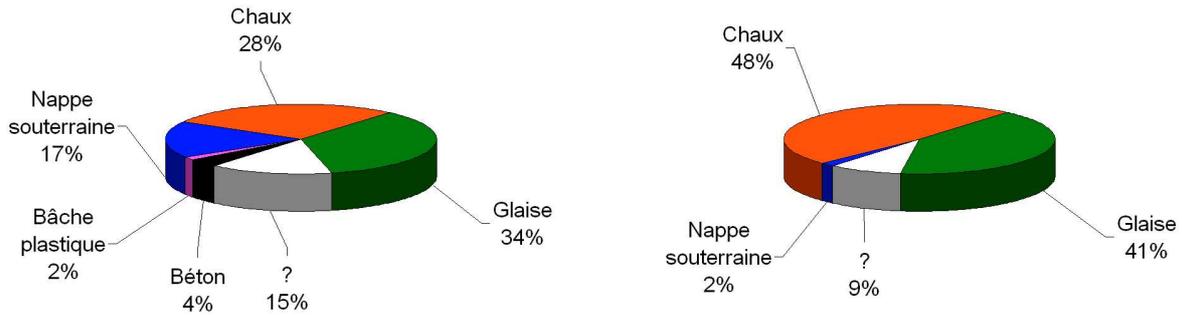


Figure 6. Proportion des différents types d'étanchéification pour l'ensemble des étangs prospectés (n = 171 ; à gauche) et pour ceux dont le pH a atteint ou dépassé la valeur de 9 (n = 56 ; à droite).

Ces étangs avec un pH élevé présentent, par rapport aux autres plans d'eau, des taux de recouvrement par les roseaux (3,7 contre 8,7 %) et les carex et les joncs faibles (2,1 contre 13,5 %), une température de l'eau élevée (28,2 contre 22,1 °C) ainsi qu'une conductivité (148,6 contre 385,6 µS/cm) et une dureté de l'eau basses (7,8 contre 20,5 °fH ; Annexe 6).

Il ressort également des analyses que le pH est principalement corrélé, de façon négative, avec la conductivité (Coef. de corrélation = -0,74 ; p < 0,001) et la dureté de l'eau (Coef. de corrélation = -0,72 ; p < 0,001). Ces deux dernières variables étant fortement corrélées entre elles (Coef. de corrélation = 0,91 ; p < 0,001). La dureté de l'eau est une mesure de la concentration en ions [Ca²⁺] et [Mg²⁺] tandis que la conductivité indique la minéralisation totale de l'eau.

Des mesures régulières au cours d'une journée sur le site d'Aebereich Mellingen ont montré que le pH peut varier fortement en particulier dans les étangs étanchéifiés à la chaux (Figure 7). Une certaine stabilité apparaît toutefois après la mi-journée, c'est pourquoi les prospections de terrain se sont déroulées l'après-midi. En comparaison, les valeurs de conductivité de l'eau sont beaucoup plus régulières au cours de la journée (Figure 7). Les valeurs analysées dans ce rapport sont donc des données ponctuelles qui ne prennent pas en compte et ne donnent pas d'informations sur les variations de ces paramètres et sur le rôle que pourrait jouer celles-ci.

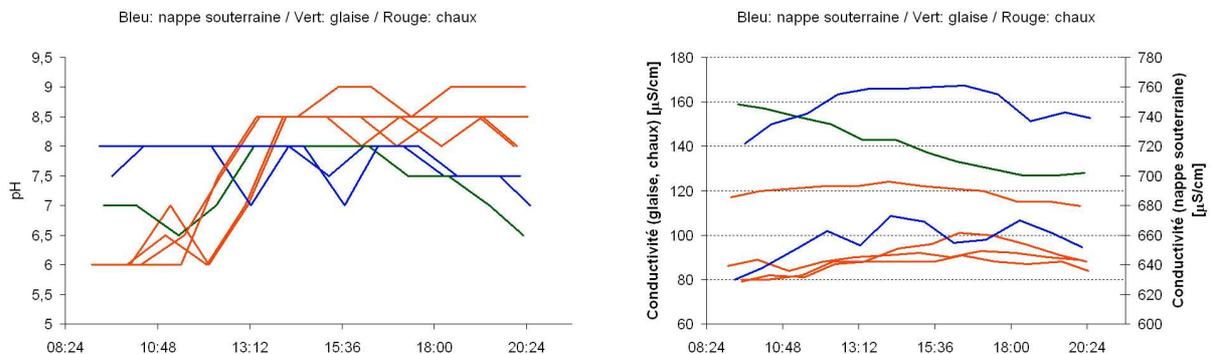


Figure 7. Evolution au cours de la journée du pH (à gauche) et de la conductivité de l'eau (à droite) dans les sept étangs composant le site d'Aebereich Mellingen.

3.2 Grenouille rousse

Lors de cette étude, des pontes de grenouille rousse ont été trouvées dans 70 des 171 plans d'eau parcourus. Dans 43 de ces étangs, des têtards ont pu être observés par la suite et des juvéniles dans 22 d'entre eux.

Par rapport aux sites sans pontes de cette espèce, les étangs où il en a été observé ont une diversité batrachologique plus élevée (2,7 contre 1,3 espèces), un plus fort recouvrement par les roseaux (9,9 contre 3,9 %) et les carex et les joncs (10,9 contre 7,3 %), une température de l'eau (24,0 contre 26,4 °C) et un pH plus bas (7,8 contre 8,3) ainsi qu'une dureté de l'eau plus élevée (17,5 contre 13,7 °fH ; Annexe 6)

Ces différences, observées pour les plans d'eau pris dans leur ensemble, ne se retrouvent pas toutes quand on sépare les données en fonction du type d'étanchéification (Tableau 2, Figure 8). Les tendances sont globalement identiques mais toutes les comparaisons ne sont pas significatives. Il apparaît, en particulier, que les valeurs moyennes des paramètres concernant la qualité physico-chimique de l'eau sont significativement différentes uniquement pour les plans d'eau stabilisés à la chaux (Annexe 6).

Tableau 2. Valeurs moyennes des paramètres pour lesquels des différences significatives (en rouge) apparaissent entre les étangs avec ou sans pontes de Grenouille rousse. Analyses séparées en fonction du type d'étanchéification

	Nappe souterraine		Glaise		Chaux	
	avec pontes	sans pontes	avec pontes	sans pontes	avec pontes	sans pontes
Diversité batrachologique	3,3	1,8	2,7	1,3	2,9	1,5
Roseaux [% de recouvrement]	20,4	5,8	12,2	4,9	6,4	0,7
Carex et joncs [% de recouvrement]	21,5	9,8	12,6	9,9	2,6	1,4
Température de l'eau [°C]	23,8	22,4	26,2	27,9	26,2	29,2
pH	7,4	7,6	8,4	8,6	8,0	8,8
Dureté de l'eau [°fH]	15,7	23,7	12,3	14,0	14,1	7,4

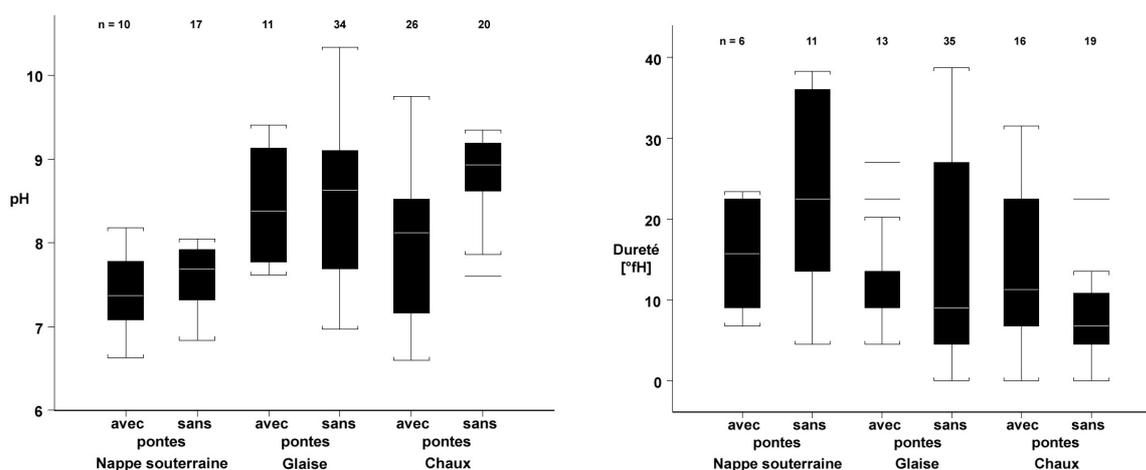


Figure 8. Boxplots des valeurs de pH et de dureté de l'eau des étangs avec ou sans pontes de Grenouille rousse

L'analyse des recensements du nombre de pontes de Grenouille rousse effectué dans les étangs de la région d'étude permet de montrer que la majorité de celles-ci ont été déposées dans des plans d'eau dont le pH est proche de la neutralité (Figure 9).

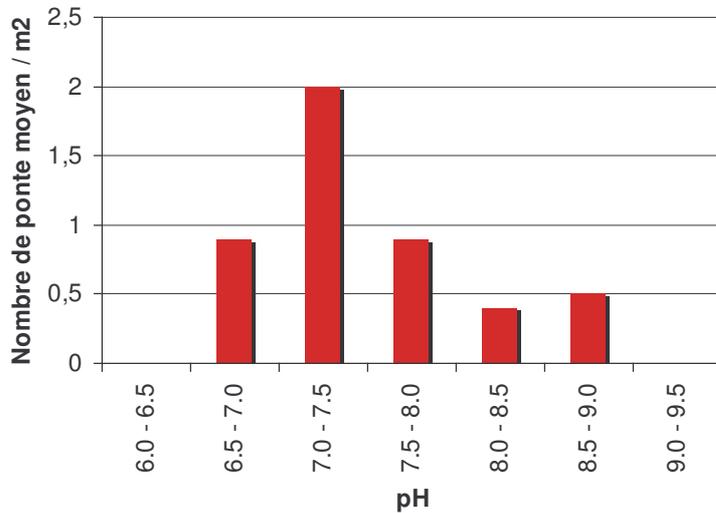


Figure 9. Relation entre le pH de l'eau et le nombre de pontes de Grenouille rousse recensées dans les étangs (répartition du nombre moyen de pontes, rapporté à la surface des étangs, par classe de valeur de pH).

Parmi les étangs dans lesquels des pontes ont été observées, ceux où des têtards ou des juvéniles ont été trouvés par la suite n'ont pas de caractéristiques significativement différentes de ceux sans têtards.

Les mesures du stade de développement des têtards n'ont pas été suffisamment nombreuses pour être utilisables. Toutefois, le développement des têtards de Grenouille rousse a pu être constaté dans tous les types de plans d'eau quel que soit le mode d'étanchéification et cela dans les mêmes proportions dans lesquels ils sont représentés dans le secteur d'étude (Figure 6, Figure 10). Un développement complet a également pu être observé dans des étangs dont le pH de l'eau a dépassé la valeur de 9, voire même 10 dans certains cas (Figure 10).

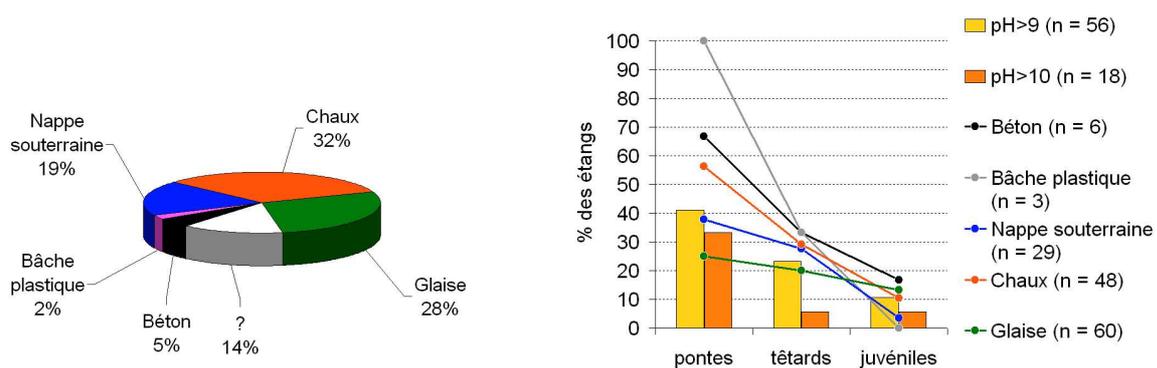


Figure 10. A gauche, proportion des différents types d'étanchéification pour les étangs dans lesquels des têtards de Grenouille rousse ont été observés (n = 43). A droite, proportions des étangs avec des pontes, des têtards ou des juvéniles de Grenouille rousse en fonction du type d'étanchéification et du pH de l'eau.

3.3 Rainette verte

Dans le Reusstal inférieur, des têtards de Rainette verte ont été trouvés dans 19 des 101 étangs prospectés. Une comparaison entre les étangs avec ou sans têtards de Rainette montre que ces premiers ont, en moyenne, une diversité batrachologique plus élevée (4,1 contre 1,5 espèces), un pH légèrement plus faible (8 contre 8,5) ainsi qu'une conductivité (380,3 contre 236,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et une dureté de l'eau plus élevées (21,3 contre 11,1 $^\circ\text{H}$). Ils ont également un plus fort taux de recouvrement par les carex et les joncs (21,2 contre 7,0 % ; Annexe 6). Les autres caractéristiques de ces plans d'eau ne diffèrent pas significativement.

Ces différences, observées pour les plans d'eau pris dans leur ensemble, ne se retrouvent pas toutes quand on sépare les données en fonction du type d'étanchéification (Tableau 3 ; Figure 11). Les tendances sont globalement identiques mais toutes les comparaisons ne sont pas significatives. Il apparaît, en particulier, que les valeurs moyennes des paramètres concernant la qualité physico-chimique de l'eau sont significativement différentes uniquement pour les plans d'eau stabilisés avec de la glaise (Annexe 6).

Tableau 3. Valeurs moyennes des paramètres pour lesquels des différences significatives (en rouge) apparaissent entre les étangs avec ou sans têtards de Rainette verte. Analyses séparées en fonction du type d'étanchéification

	Nappe souterraine		Glaise		Chaux	
	avec pontes	sans pontes	avec pontes	sans pontes	avec pontes	sans pontes
Diversité batrachologique	4,6	1,6	4,1	1,3	3,0	1,9
Carex et joncs [% de recouvrement]	12,9	15,3	40,7	5,8	3,7	0,7
pH	7,9	7,4	7,7	8,7	8,8	9,0
Conductivité [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	393,0	392,5	498,4	214,2	148,5	117,3
Dureté de l'eau [$^\circ\text{H}$]	21,8	19,6	27,4	11,1	9,7	6,0

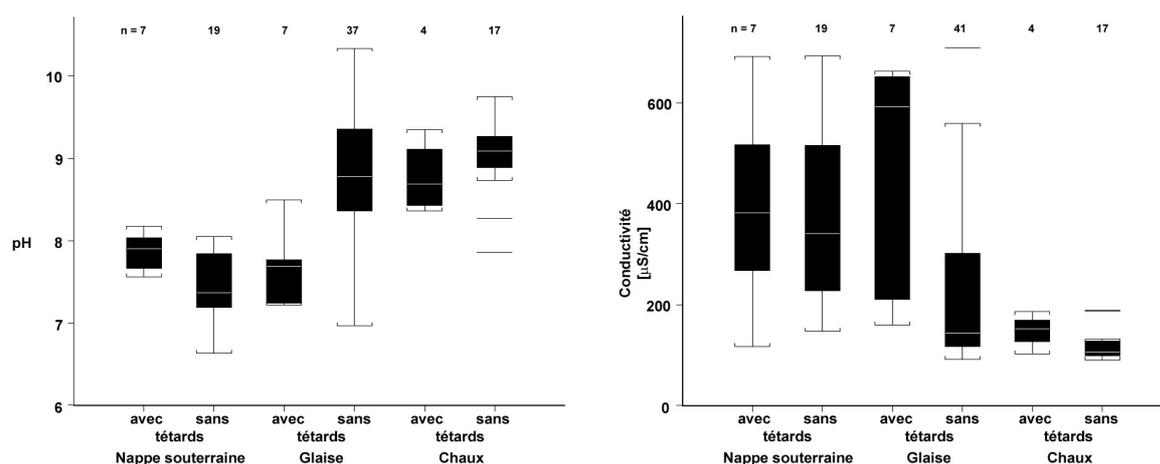


Figure 11. Boxplots des valeurs de pH et de conductivité de l'eau des étangs avec ou sans têtards de Rainette verte

Les étangs abritant des têtards de Rainette sont alimentés dans une plus grande proportion par une nappe souterraine que ne le sont les étangs du Reusstal dans leur ensemble (Figure 12).

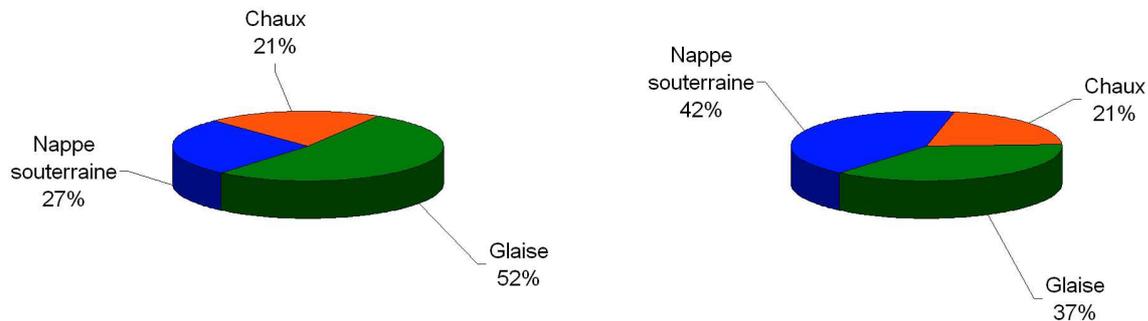


Figure 12. Proportion des différents types d'étanchéification pour l'ensemble des étangs du Reusstal (n = 101 ; à gauche) et pour ceux dans lesquels des têtards de Rainette ont été observés (n = 19 ; à droite).

Une comparaison des valeurs de pH et de conductivité de l'eau observés dans les étangs du Reusstal avec celles mesurées dans deux autres régions abritant (Côte lémanique : Pellet 2005) ou ayant abrités des populations de Rainette (Plaine de l'Orbe : Morard & al. 2003) permet de faire certaines remarques (Figure 13, Annexes 8 et 9). L'eau des étangs du Reusstal présentent un pH plus élevé que dans les deux autres régions. Cela s'explique par le fait que, dans cette région, une grande proportion des étangs doivent leur étanchéité à la présence de glaise ou d'argile mélangée à de la chaux. Mais les valeurs observées dans les étangs avec des têtards de Rainette se démarquent des autres et se rapprochent plus des valeurs mesurées sur la Côte lémanique ou dans la plaine de l'Orbe. En ce qui concerne la conductivité de l'eau, elle est très élevée dans les étangs de la plaine de l'Orbe, zone d'agriculture intensive. Elle est par contre très faible dans les plans d'eau du Reusstal sans doute à cause d'un substrat peu minéralisable. Toutefois, les étangs de cette région dans lesquels des têtards de Rainette ont été observés présentent des valeurs de conductivité supérieures qui ne diffèrent pas de celles mesurées sur la Côte lémanique.

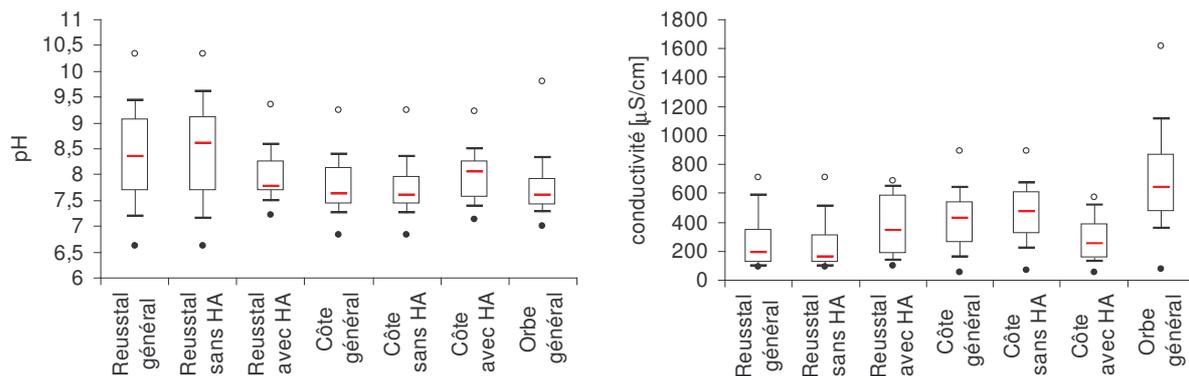


Figure 13. Valeurs de pH (à gauche) et de conductivité de l'eau (à droite) mesurées dans les étangs de trois régions abritant (Reusstal, Côte lémanique) ou ayant abrités (plaine de l'Orbe) des populations de Rainette verte (HA).

Le bon développement des têtards a pu être attesté et suivi dans la majorité des cas, seuls quatre sites font exception : Dans un cas l'assèchement prématuré du plan d'eau en est la cause (Bösimoss, étang n° 6), dans deux autres cas l'étang s'est également asséché mais plus tardivement ce qui a peut être permis à quelques têtards de finir leur métamorphose sans que cela puisse être sûr (Hard, étangs 1 et 3). Dans le dernier cas, l'étang est resté constamment en eau mais les têtards n'ont plus été trouvés après deux observations à mi-juin (Kieswerk Müller, étang n° 5) sans pour autant que cet étang ait des caractéristiques particulières.

Il est difficile de tirer des conclusions claires et généralisables des résultats du suivi du développement des têtards de Rainette. Un développement complet a toutefois pu être constaté dans tout les types de plans d'eau quel que soit le mode d'étanchéification ou la présence d'un pH élevé (Figure 14).

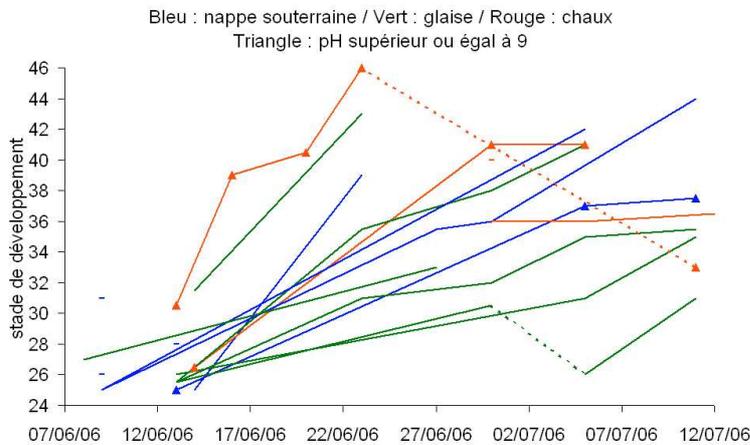


Figure 14. Evolution du développement des têtards de Rainette (selon Gosner 1960) capturés lors des prospections dans différents étangs du Reusstal

L'avancement du développement se marque bien dans la plupart des cas mais il apparaît que des têtards à des stades très différents peuvent être présents en même temps dans un même étang (Figure 15). En fait, ces données sont basées sur la capture de seulement 1 à 2 individus par étangs où ils sont présents (min = 0, max = 12). N'ayant aucune indications sur la date des pontes, qui ont pu avoir lieu sur une relativement grande période de temps, il est impossible de savoir si les différences observées sont dues à des pontes déposées à des moments différents ou à un problème dans le développement de certains individus.

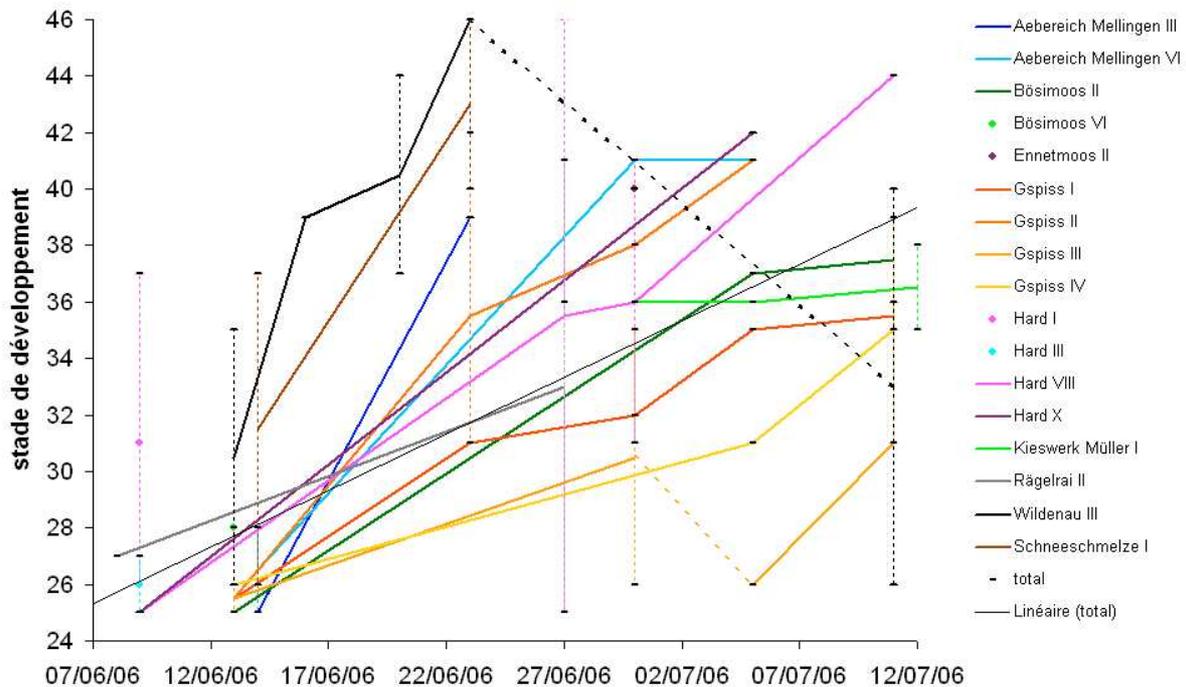


Figure 15. Evolution du développement des têtards de Rainette (selon Gosner 1960) capturés lors des prospections dans différents étangs du Reusstal (après le stade 25, le développement se fait de façon plus ou moins linéaire : la droite « Linéaire (total) » est la droite de régression obtenue avec l'ensemble des données).

4 DISCUSSION

4.1 Etanchéification des étangs

Les amphibiens sont sensibles à différentes caractéristiques des plans d'eau dans lesquels ils viennent se reproduire : surface, profondeur, âge, température et chimie de l'eau, proportion d'eau courante, végétation, faune aquatique, etc. Toutes les espèces n'ont pas les mêmes exigences et il est important de prendre en considération tous ces facteurs lors de projets de renaturation ou de création d'étangs. Un des principaux problèmes lors de la création de plans d'eau est celui de l'étanchéité. S'il n'existe pas de nappe souterraine ou que le sol n'est pas naturellement étanche, il faudra recourir à une étanchéification artificielle. Le choix de la méthode à utiliser se fera en tenant compte de la situation et du type d'habitat, des espèces d'amphibiens visées, du concept d'entretien et des coûts. Mais il apparaît également que le type d'étanchéification peut avoir une influence sur la qualité physico-chimique de l'eau et donc indirectement aussi sur la survie et le succès de reproduction des amphibiens.

La présente étude a pour but d'étudier plus précisément des plans d'eau étanchéifiés à la chaux. Ce type d'étangs est connu pour avoir une eau dont le pH est élevé et être ainsi défavorable au bon développement des amphibiens. Les résultats obtenus confirment le fait que l'eau des étangs stabilisés à la chaux présente un pH plus élevé que celle des étangs connectés à une nappe souterraine. Mais il apparaît également que le pH de l'eau des étangs étanchéifiés avec de la glaise est, en moyenne, tout aussi élevé. Des valeurs de pH supérieures à 9 ont été mesurées dans plus de 30 % des sites. Il s'agissait dans la quasi totalité des cas d'étangs étanchéifiés à la chaux ou avec de la glaise.

La minéralisation de l'eau dans les étangs étanchéifiés à la chaux est faible. Les valeurs de conductivité et de dureté de l'eau sont en effet significativement plus basses dans ces étangs que dans ceux reliés à une nappe d'eau souterraine. Cette constatation est également valable pour les plans d'eau étanchéifiés avec de la glaise bien que les valeurs y soient quand même un peu supérieures.

En outre, le revêtement compact créé par le mélange d'argile et de chaux empêche la pénétration des racines. Ces étangs présentent, en effet, un taux de recouvrement par la végétation faible. Cette caractéristique ainsi que la surface généralement faible de ces plans d'eau explique le fait que la température de l'eau y soit par contre plus élevée que dans les étangs alimentés par une nappe souterraine. Les plans d'eau étanchéifiés avec de la glaise présentent un taux de recouvrement par la végétation supérieur mais cela pourrait être en partie dû à un effet lié à des différences dans l'ancienneté de la création des étangs.

Il apparaît donc que les étangs stabilisés à la chaux et ceux étanchéifiés avec de la glaise présentent à la fois des caractéristiques favorables (température de l'eau élevée) et défavorables (pH élevé) au développement des amphibiens. En outre, les caractéristiques morphologiques (surface et profondeur de l'eau faibles) de ces étangs sont très favorables à des espèces pionnières comme le Crapaud calamite. Elles sont par contre inadéquates pour une espèce comme le Triton crêté. En moyenne, la diversité batrachologique est plus faible dans les plans d'eau étanchéifiés avec de la glaise. La profondeur d'eau de ces derniers est également plus faible que dans les autres types d'étangs.

4.2 Grenouille rousse

Des pontes de cette espèce ont été trouvées dans plus de 40 % des sites prospectés. Dans plus de 60 % des cas des têtards ont pu y être observés par la suite mais des juvéniles dans seulement 30 % des cas. Les sites de ponte de cette espèce ont des caractéristiques qui se démarquent des autres étangs : diversité batrachologique élevée, grand recouvrement par les roseaux et les joncs, température de l'eau et pH bas, dureté de l'eau élevée. Les sites dans lesquels des têtards ou de juvéniles ont ensuite été observés ne présentent pas d'autres différences significatives. On retrouve dans ces paramètres les préférences de cette grenouille qui aime les étangs frais et ombragés (Nöllert & Nöllert 2003). Les différences observées pour les paramètres physico-chimiques se marquent particulièrement dans les étangs stabilisés à la chaux, il n'y a par contre pas de différences significatives pour les plans d'eau étanchéifiés avec de la glaise.

Le suivi des stades de développement des têtards n'a pas été suffisant pour pouvoir en tirer des informations utiles. Bien que la réussite de la reproduction de cette grenouille ait pu être constatée dans tous les types d'étangs, il ressort des résultats que cette grenouille pond préférentiellement dans des étangs dont l'eau présente un pH proche de la neutralité et une minéralisation suffisante.

4.3 Rainette verte

Des têtards de Rainette ont été trouvés dans moins de 20 % des étangs prospectés dans le Reusstal inférieur. Ces plans d'eau se démarquent des autres par la présence, comme Pellet l'a aussi montré sur la Côte lémanique (Pellet 2005), d'une plus grande diversité batrachologique. L'eau de ces étangs a un pH plus faible et elle est également plus fortement minéralisée. Ces différences se marquent particulièrement pour les plans d'eau étanchéifiés avec de la glaise. Mais le nombre d'étangs comparés est faible.

Le pH des étangs du Reusstal est dans son ensemble plus élevé que celui des étangs de la Côte lémanique et de la plaine de l'Orbe, deux autres régions abritant ou ayant abrités des populations de cet amphibien. Par contre, le pH moyen des étangs du Reusstal dans lesquels des têtards de Rainette ont été observés ne diffèrent pas significativement de celui des sites où cette espèce est présente sur la Côte lémanique. Dans le Reusstal, la majorité des plans d'eau sont étanchéifiés par de la glaise mais ceux avec des têtards de Rainette sont alimentés dans une plus grande proportion par une nappe souterraine. Cela explique sans doute ces différences et laisse penser que cet amphibien a une préférence pour les eaux avec un pH inférieur à 8. Toutefois les résultats de cette étude montrent qu'un bon développement des œufs en têtards puis en juvéniles peut avoir lieu dans tous les types d'étangs quel que soit le mode d'étanchéification. Deux cas (Wildenau, étang n° 3 ; Aebereich Mellingen, étang n° 6) montrent que cela est possible même si le pH dépasse la valeur de 9. Mais les données récoltées ne permettent pas d'estimer le succès de la reproduction dans les différents étangs. L'observation de têtards peu développés le 11 juillet dans un étang à Wildenau alors qu'un juvénile y avait déjà été observé le 23 juin est un indice qui pourrait laisser penser que leur développement a été perturbé mais il pourrait aussi s'agir de pontes tardives.

A signaler que la reproduction a échoué tout ou partie dans trois étangs à cause de leur assèchement prématuré. Il s'agissait d'étangs alimentés par une nappe d'eau souterraine.

5 CONCLUSION

La qualité physico-chimique de l'eau d'un étang dépend du type d'habitat dans lequel il se situe (zone agricole, forêt, zone alluviale), de la source d'alimentation en eau mais aussi du type de sous-sol ou d'étanchéification. Parmi d'autres facteurs, la qualité de l'eau a une influence sur la présence et la reproduction des amphibiens. Cette étude comme bien d'autres le montre. L'étanchéification d'un étang avec de la chaux fait que le pH de l'eau y est élevé. Mais les étangs étanchéifiés avec de la glaise présentent des valeurs de pH tout aussi élevées. Il ressort des résultats obtenus que le bon développement des têtards de Grenouille rousse et de Rainette verte est toutefois possible dans ces conditions. Mais il n'est par contre pas possible de dire si le succès de reproduction y est égal à celui d'étangs alimentés par une nappe souterraine. Les étangs nouvellement créés et étanchéifiés à la chaux ou avec de la glaise, du fait de leur surface réduite et de la lente recolonisation par la végétation, ont une eau plus chaude et donc favorable à un développement plus rapide des têtards. Cela compense peut être en partie les effets négatifs du pH élevé.

Cette étude laisse donc en suspens encore des interrogations. Afin de savoir véritablement si un bon succès de reproduction peut avoir lieu dans des étangs étanchéifiés artificiellement avec de la chaux ou de la glaise, un suivi plus poussé d'un certain nombre de ces étangs serait nécessaire. Il s'agirait en particulier de suivre très régulièrement ces étangs dès la ponte des œufs et jusqu'à la métamorphose des têtards en mesurant à chaque passage le stade de développement d'un maximum d'individus.

6 REMERCIEMENTS

Ces remerciements vont tout d'abord à Benedikt Schmidt et Silvia Zumbach du Karch qui ont supervisé ce travail. Merci également à Tobias Roth qui a compté les pontes de Grenouille rousse et à Christoph Flory qui nous a transmis les données du suivi des Rainettes dans le Reusstal inférieur.

7 BIBLIOGRAPHIE

- Blaustein R. & J. M. Kiesecker (2002). Complexity in conservation: lessons from the global decline of amphibian populations. *Ecology Letters*, 5 : 567-608.
- Flory C. (2004). Der Laubfrosch im Kanton Aargau : 10 Jahre Bestandeskontrolle (1994-2003), 12 Jahre Projekt Laubfrosch (1992-2003). Kanton Aargau, Baudepartement, Abteilung Landschaft und Gewässer und Pro Natura Aargau, 15 pp.
- Gosner, K.L. (1960). A simplified table for staging anuran embryos and larvae with notes on identification. *Herpetologica*, 16 : 183–190.
- Grossenbacher K. (1988). Atlas de distribution des amphibiens de Suisse. éd. CSCF. 8/207 pp.
- Morard E., Duplain J., Pellet J. & A. Maibach (2003). Répartition et analyse de l'habitat de reproduction des Amphibiens de la plaine de l'Orbe. *Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat.* 88.3 : 301-322.
- Nöllert A. & C. Nöllert (2003). Guide des amphibiens d'Europe. Delachaux et Niestlé éd. 383 pp.
- Pellet J. & C. Neet (2002). La Rainette verte (*Hyla arborea* ; Anura) dans le canton de Vaud : un état des lieux. *Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat.* 87.4 : 287-303
- Pellet J. (2005). Conservation of a threatened European tree frog (*Hyla arborea*) metapopulation. Thèse de doctorat ès sciences de la vie, UNIL, 98 pp.
- Schmidt B. & S. Zumbach (2005). Liste rouge des amphibiens menacés en Suisse. OFEFP, KARCH. 46 pp.
- Tester U. (1990). Artenschützerich relevante Aspekte zur Oekologie des Laubfroschs (*Hyla arborea* L.). Thèse de doctorat, Université de Bâle, Bâle, 291 pp.
- Zumbach S. & J. Ryser. Aménagement d'un étang. KARCH, Berne, 20 pp.

Amphibieninventar

Objekt Kt.: Nr.:

Koordinaten: /

.....

Objektname:

.....

weitere Kantone:

Gemeinde Nr. 1: 2: 3: 4:

Umkreisradius (km):

Höhe m.ü.M.:

LAICHGEBIET

Bearbeiter/in:

Zustandsbeurteilung

Datum des Protokolls:

falls Objekt früher bearbeitet/gekannt:
Mit welchem Jahr wird verglichen:

Schutz

ja, ganz z.T nein unbekannt

Objekt vollständig zerstört, Datum:

Bemerkungen A

Gründe:

unverändert

Pflege - und Gestaltungsmaßnahmen

Massnahmen werden durchgeführt

stark beeinträchtigt

Bemerkungen B

leicht beeinträchtigt

verbessert

Bemerkungen D

Entstehung/Veränderung

vor 1960 1960-1980

Ursachen der Gefährdung 1

1980-1990 1990-2000

Zustandsveränderung 2

2000-2010

1 2

Zuschütten ganz oder teilweise

Austrocknung

Zuwachsen, Verlanden

Beschattung der Gewässer

Eutrophierung, Verschmutzung

Verschlechterung der Landlebensräume

Fische

Gefährdete Wanderroute

andere:

Bemerkungen E

Gefährdung

leicht/langfristig

mittel/mittelfristig

stark/kurzfristig

Bemerkungen C

Bemerkungen A-D und Bemerkungen E (Gestaltungs- / Pflegemaßnahmen)

Skizze vorhanden

Foto/Dia vorhanden

Legende: Gewässer

Haupttyp (HP)

- SU Seeufer
- KS Kleinsee
- BS Baggersee
- WH Weiher (>1000 m²)
- KM Kleinweiher mit Durchfluss
- KO Kleinweiher ohne Durchfluss
- TU Tümpel (temporär)
- TE Teich
- GA Graben
- BA Bach
- FL Fluss, Kanal
- PF Pfütze, Wagenspur

Umfeld / Nutzung (UN)

- NA Natur- / natürliche(r)
- AL Altwasser- / Altlauf-
- FR Flachmoor- / Ried-
- TO Torfstich-
- HO Hochmoor-
- GI Giessen-
- AP Alp-
- WI Wiesen-
- WA Wald-
- KG Kiesgrube- / Sandgrube-
- LG Lehmgruben-
- SB Steinbruch-

- MU Mündung, Flussufer
- BU Baustelle
- GS Garten- / Zier-
- FS Feuer- / Säge- / Mühle-
- FE Fisch- / Enten-
- TB Tränke / Brunnen
- ST Stau-
- EN Entwässerungs-
- SP Schule- / Park-
- KL Klär-
- SE Sedimentations-

LAICHGEWÄSSER

Obj. Nr.:

Gewässer			Beschreibung	Pflanzen									
Nr.	HP	UN		Koordinaten	Dimension (m)	Ab	I	II	III	Gb	Ws	Wq	Be
.....	[.....]	[.....] /	l..... b..... t.....	[]	[]	[]	[]	[/]	[]	[]	[]	[]
.....	[.....]	[.....] /	l..... b..... t.....	[]	[]	[]	[]	[/]	[]	[]	[]	[]
.....	[.....]	[.....] /	l..... b..... t.....	[]	[]	[]	[]	[/]	[]	[]	[]	[]
.....	[.....]	[.....] /	l..... b..... t.....	[]	[]	[]	[]	[/]	[]	[]	[]	[]
.....	[.....]	[.....] /	l..... b..... t.....	[]	[]	[]	[]	[/]	[]	[]	[]	[]
.....	[.....]	[.....] /	l..... b..... t.....	[]	[]	[]	[]	[/]	[]	[]	[]	[]
.....	[.....]	[.....] /	l..... b..... t.....	[]	[]	[]	[]	[/]	[]	[]	[]	[]
.....	[.....]	[.....] /	l..... b..... t.....	[]	[]	[]	[]	[/]	[]	[]	[]	[]

Legende: Beschreibung / Pflanzen

Abdichtung (Ab)

- (1) natürlich
- (2) Folie
- (3) Beton
- (4) unbekannt
- (5) anders.....
-

Besonnung (Be)

- (1) schattig
- (2) wechselnd
- (3) sonnig

Pflanzen

- Unterwasserpfl. (I)**
- Schwimmpfl. (II)**
- Röhricht (III)**
- (1) keine
- (2) einzelne
- (3) z.T. deckend
- (4) ganz deckend

Gewässerboden (Gb)

- (1) Lehm / Ton
- (2) Sand / Kies / Steine
- (3) Laub
- (4) Torf / Humus
- (5) Schlamm (viel)

Wasserspiegel (Ws)

- (1) kaum schwankend
- (2) stark schwankend
- (3) unbekannt

Wasserqualität (Wq)

- (1) gut
- (2) überdüngt
- (3) verschmutzt

Fortsetzung Bemerkungen

AMPHIBIEN



Obj. Nr.: Obj. Name:

Bearbeiter/in:

Datum								wird von der KARCH ausgefüllt						
Gewässernr.								A	B	E	N	G	P	J
Alpen-salamander														
Feuer-salamander														
Bergmolch														
Kammolch														
Alpenkamm-molch														
Fadenmolch														
Teichmolch														
Geburtshelfer-kröte														
Gelbbauch-unke														
Erdkröte														
Kreuzkröte														
Laubfrosch														
Ital. Laubfrosch														
Wasserfrosch														
Seefrosch														
Springfrosch														
Ital. Springfrosch														
Grasfrosch														
Echse														
Schlange														
Schildkröte														
Fische														
Andere Arten														

ADU: Adulte LAI: Laichballen / Laich LAR: Larven JUV: Juvenile VOI: Stimme †: tot ↓: ausgesetzt A: ausgesetzt B: bestätigt E: erloschen N: neu P: Populationsgrösse

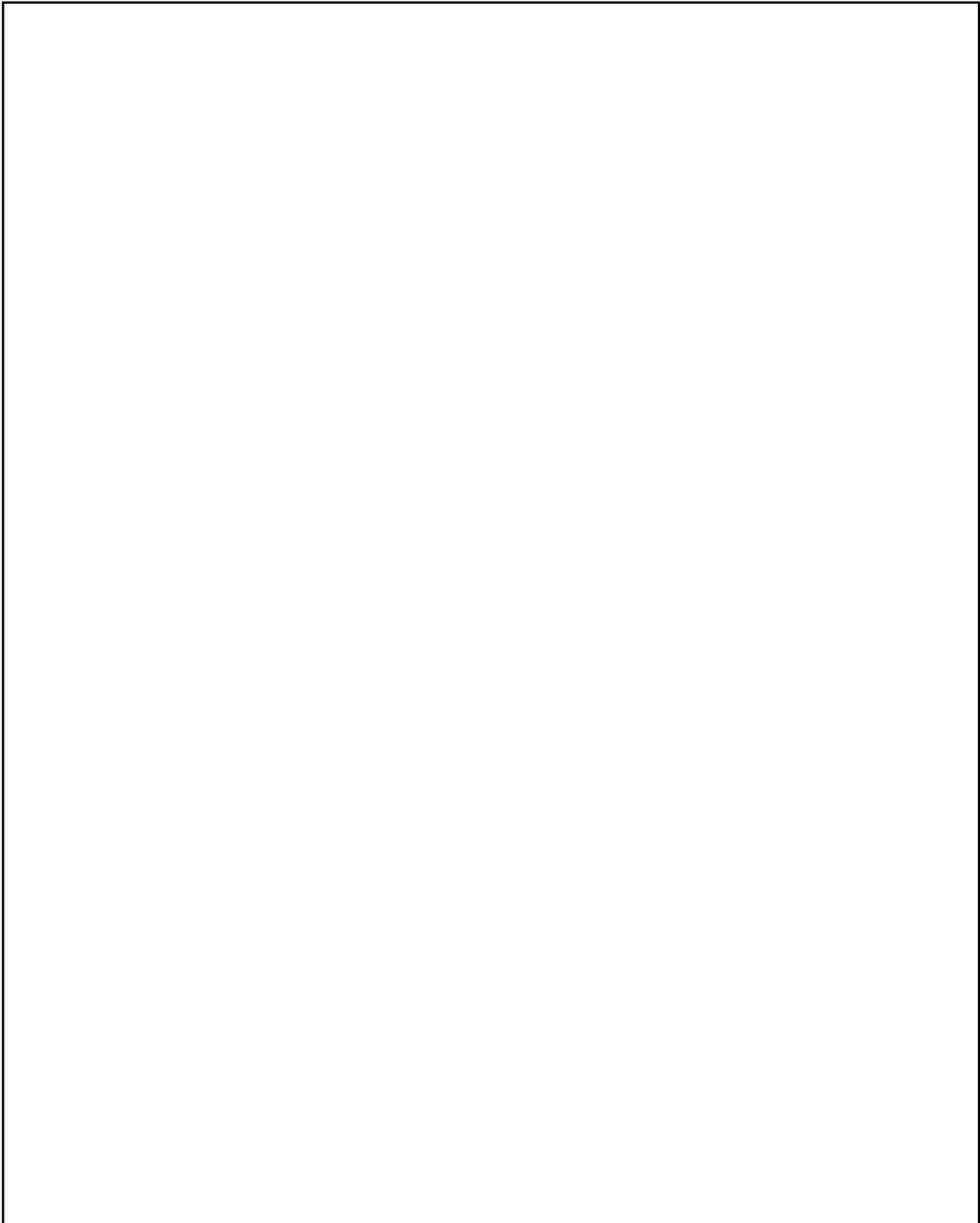
J: Beurteilungsjahr G: Bearbeitungsgrad 1: Zufallsbeobachtung 2: Teilinventar 3: Inventar im ganzen Gebiet

Obj. Nr.: **Obj. Name:**

Bearbeiter/in:

Skizze Gewässer (mit Nummerierung), Vegetation (Seggen, Röhricht), Himmelsrichtung, Dimensionen, Skala, Koordinatenpunkt, evtl. Gemeindegrenzen, Standort bei Fotoaufnahme (Richtung der Aufnahme, Brennweite)

Bemerkungen



Annexe 3. Physikalische Messungen

Objekt Kt.:..... Nr.:..... Koordinaten:...../.....

Objektname:.....

Datum:..... Zeit: Gewässernr.:..... Messpunkt:.....

BearbeiterIn:.....

Lufttemperatur: °C	Wetter während der Messung:	Allgemeine Wetterlage:
	Regen	Regen
	Bewölkt	bewölkt
	Wechselhaft	wechselhaft
	sonnig	sonnig

Speisung des Gewässers:
Bach Wasserleitung Grundwasser Stauwasser Meteorwasser

Bemerkungen:
.....

Trübung des Gewässers:
keine schwach mittel stark
(Fârbung, Sichttiefe >1 m) (Sichttiefe 10cm -1 m) (Sichttiefe <10cm)

durch Algen (grün) durch anderes

Vegetation

Unterwasserpflanzen:	Schwimmpflanzen:	Röhricht:	Grossseggen:
nicht vorhanden	nicht vorhanden	nicht vorhanden	nicht vorhanden
< 10% deckend	< 10% deckend	< 10% deckend	< 10% deckend
10 - 25% deckend	10 - 25% deckend	10 - 25% deckend	10 - 25% deckend
25 - 50% deckend	25 - 50% deckend	25 - 50% deckend	25 - 50% deckend
50 - 75% deckend	50 - 75% deckend	50 - 75% deckend	50 - 75% deckend
> 75% deckend	> 75% deckend	> 75% deckend	> 75% deckend

Armlauchteralgen:	Algenteppich:
nicht vorhanden	nicht vorhanden
< 10% deckend	< 10% deckend
10 - 25% deckend	10 - 25% deckend
25 - 50% deckend	25 - 50% deckend
50 - 75% deckend	50 - 75% deckend
> 75% deckend	> 75% deckend

Messungen im Gewässer

ca. 40cm vom Land entfernt, max. 30cm tief

Wassertemp.: pH (Sonde): pH (Ind. Papier): Leitfähigkeit: Wasserhärte:
..... °C μS/cm °H

Annexe 4. Kaulquappenfang

Objekt Kt.:..... Nr.:..... Koordinaten:...../.....

Objektname:

Datum:..... Zeit:..... Gewässernr.:.....

BearbeiterIn:

Kaulquappenfang

Fang-Uferstrecke: i.a. 10m langer ca. 1 m breiter Uferbereich, wo die Kaulquappen sich sehr zahlreich aufhalten. Sehr vegetationsreiche Stellen müssen aus technischen Gründen ausgeschlossen werden. Die Fang-Uferstrecke wird in ruhigem Tempo abgeschritten und i.d.R. mit 5 Käscherzügen abgekäschert. Danach werden die Kaulquappen in einen Eimer mit Wasser gegeben, gezählt, und bestimmt.

Länge der Fang-Uferstrecke:m

Mittlere Tiefe der Fang-Uferstrecke:cm

Anzahl Käscherzüge:

Vegetation der Fang-Uferstrecke

Unterwasserpflanzen:	Schwimmpflanzen:	Röhricht:	Grosseggen:
nicht vorhanden	nicht vorhanden	nicht vorhanden	nicht vorhanden
< 10% deckend	< 10% deckend	< 10% deckend	< 10% deckend
10 - 25% deckend	10 - 25% deckend	10 - 25% deckend	10 - 25% deckend
25 - 50% deckend	25 - 50% deckend	25 - 50% deckend	25 - 50% deckend
50 - 75% deckend	50 - 75% deckend	50 - 75% deckend	50 - 75% deckend
> 75% deckend	> 75% deckend	> 75% deckend	> 75% deckend

Armlauchteralgen:	Algenteppich:
nicht vorhanden	nicht vorhanden
< 10% deckend	< 10% deckend
10 - 25% deckend	10 - 25% deckend
25 - 50% deckend	25 - 50% deckend
50 - 75% deckend	50 - 75% deckend
> 75% deckend	> 75% deckend

Larven

Art	Anzahl	Stadium (Gosner)	Länge [mm]
.....
.....
.....
.....
.....

Anzahl Rückenschwimmer:

Annexe 5. Résumé des variables utilisées pour les analyses

A) Variables relevées au niveau du site

Paramètre	Type	Remarque
Nom	qualitatif	Nom et n° du site
Coordonnées	qualitatif	Coordonnées du site
Protection	qualitatif	totale, partielle, aucune, ?
Nombre d'étang	quantitatif	Nombre d'étangs composant le site
Nombre de prospections	quantitatif	Nombre de passages sur le site (1 à 8)
Etanchéification	quantitatif	Nombre d'étangs par type
Poisson	binomial	Présence de poissons
Espèces présentes	quantitatif	Nombre d'étangs avec espèce X présente
Diversité	quantitatif	Nombre d'espèces présentes
GF_lai	binomial	Présence de pontes de Grenouille rousse
GF_lar	binomial	Présence de têtards de Grenouille rousse
GF_juv	binomial	Présence de Grenouille rousse juvéniles
HA_voi	binomial	Présence de chanteurs de Rainette
HA_lar	binomial	Présence de têtards de Rainette
HA_juv	binomial	Présence de Rainette juvéniles
HA_dvlptok	binomial	Reproduction réussie des Rainettes

B) Variables relevées au niveau de l'étang

Paramètre	Type	Remarque
Nombre de prospections	quantitatif	Nombre de passages à l'étang (1 à 8)
HP	qualitatif	Type de plan d'eau
UN	qualitatif	Environnement du plan d'eau
Surf	m ²	Surface de l'étang (estimation)
Prof	m	Profondeur de l'étang (estimation)
Ws	qualitatif	Assèchement de l'étang
Wq	qualitatif	Qualité générale de l'eau de l'étang
Be	qualitatif	Ensoleillement de l'étang
Etanchéification	qualitatif	Type d'étanchéification
Poisson	binomial	Présence de poissons
Espèces présentes	qualitatif	Espèces d'amphibien présentes
Diversité	quantitatif	Nombre d'espèces présentes
Alimentation en eau	qualitatif	Type d'alimentation en eau de l'étang
Végétation	%	Recouvrement par différents types de végétation (estimation)
T° de l'eau	°C	Moyenne des mesures de température de l'eau de l'étang
PH_sonde	quantitatif	Moyenne des pHs mesurés au moyen d'une sonde
Ph_papier	quantitatif	Moyenne des pHs mesurés avec du papier pH
Ph>9	binomial	Au moins une mesure de pH égale ou supérieure à 9
Ph>10	binomial	Au moins une mesure de pH égale ou supérieure à 10
Conductivité	µS/cm	Moyenne des mesures prises au moyen d'une sonde
Dureté	°fH	Moyenne des mesures (bandelettes Aquadur®)
GF_lai	binomial	Présence de pontes de Grenouille rousse
GF_lar	binomial	Présence de têtards de Grenouille rousse
GF_juv	binomial	Présence de Grenouille rousse juvéniles
GF_stade	quantitatif	Stades min et max des têtards capturés (selon Gosner 1960)
GF_taille	mm	Tailles min et max des têtards capturés
HA_voi	binomial	Présence de cœurs de Rainette
HA_lar	binomial	Présence de têtards de Rainette
HA_juv	binomial	Présence de Rainette juvéniles
HA_dvlptok	binomial	Reproduction réussie des Rainettes
HA_stade	quantitatif	Stades de développement min et max des têtards capturés (selon Gosner 1960, Annexe 6)
HA_taille	mm	Tailles min et max des têtards capturés

Annexe 6. Résultats des analyses statistiques pour les comparaisons de paramètres significativement différents entre étangs

Comparaison entre les étangs étanchéifiés à la chaux ou avec de la glaise

- Profondeur : Wilcoxon rank-sum test, $Z = -3.390$, $df = 81$, $p < 0.001$
- Recouvrement par les plantes subaquatiques : Wilcoxon rank-sum test, $Z = 1.973$, $df = 93$, $p = 0.049$
- Recouvrement par les Carex et les Joncs : Wilcoxon rank-sum test, $Z = 2.252$, $df = 94$, $p = 0.024$
- Recouvrement par les Characées : Wilcoxon rank-sum test, $Z = 2.055$, $df = 89$, $p = 0.040$
- Conductivité de l'eau : Wilcoxon rank-sum test, $Z = 2.653$, $df = 94$, $p = 0.008$
- Diversité batrachologique : Wilcoxon rank-sum test, $Z = -2.372$, $df = 108$, $p = 0.018$

Comparaison entre les étangs reliés à une nappe souterraine et ceux étanchéifiés avec de la glaise

- Surface : Wilcoxon rank-sum test, $Z = 3.559$, $df = 88$, $p < 0.001$
- Profondeur : Wilcoxon rank-sum test, $Z = 2.978$, $df = 83$, $p = 0.003$
- Recouvrement par les Carex et les Joncs : Wilcoxon rank-sum test, $Z = 2.632$, $df = 76$, $p = 0.009$
- Température de l'eau : Standard Two-Sample t-Test, $t = -2.304$, $df = 78$, $p = 0.024$
- pH de l'eau : Standard Two-Sample t-Test, $t = -4.360$, $df = 75$, $p < 0.0001$
- Conductivité de l'eau : Wilcoxon rank-sum test, $Z = 3.218$, $df = 76$, $p = 0.001$
- Dureté de l'eau : Wilcoxon rank-sum test, $Z = 2.510$, $df = 66$, $p = 0.012$

Comparaison entre les étangs reliés à une nappe souterraine et ceux étanchéifiés à la chaux

- Surface : Wilcoxon rank-sum test, $Z = 3.271$, $df = 59$, $p = 0.001$
- Recouvrement par les plantes subaquatiques : Wilcoxon rank-sum test, $Z = 3.319$, $df = 64$, $p < 0.001$
- Recouvrement par les roseaux : Wilcoxon rank-sum test, $Z = 3.107$, $df = 72$, $p < 0.002$
- Recouvrement par les Carex et les Joncs : Wilcoxon rank-sum test, $Z = 4.743$, $df = 72$, $p < 0.0001$
- Recouvrement par les Characées : Wilcoxon rank-sum test, $Z = 3.030$, $df = 65$, $p = 0.002$
- Température de l'eau : Standard Two-Sample t-Test, $t = -4.084$, $df = 70$, $p < 0.001$
- pH de l'eau : Standard Two-Sample t-Test, $t = -4.722$, $df = 72$, $p < 0.0001$
- Conductivité de l'eau : Wilcoxon rank-sum test, $Z = 5.223$, $df = 72$, $p < 0.0001$
- Dureté de l'eau : Wilcoxon rank-sum test, $Z = 3.318$, $df = 53$, $p < 0.001$

Comparaison entre les étangs dont le pH de l'eau a dépassé la valeur de 9 et les autres

- Recouvrement par les Roseaux : Wilcoxon rank-sum test, $Z = -2.322$, $df = 139$, $p = 0.020$
- Recouvrement par les Carex et les Joncs : Wilcoxon rank-sum test, $Z = -4.885$, $df = 139$, $p < 0.0001$
- Température de l'eau : Wilcoxon rank-sum test, $Z = 5.619$, $df = 150$, $p < 0.0001$
- Conductivité de l'eau : Wilcoxon rank-sum test, $Z = -7.849$, $df = 139$, $p < 0.0001$
- Dureté de l'eau : Wilcoxon rank-sum test, $Z = -6.680$, $df = 117$, $p < 0.0001$

Comparaison générale des étangs avec ou sans pontes de Grenouille rousse

- Diversité batrachologique : Wilcoxon rank-sum test, $Z = 6.339$, $df = 157$, $p < 0.0001$
- Recouvrement par les Roseaux : Wilcoxon rank-sum test, $Z = 2.393$, $df = 139$, $p = 0.017$
- Recouvrement par les Carex et les Joncs : Wilcoxon rank-sum test, $Z = 2.063$, $df = 139$, $p = 0.039$
- Température de l'eau : Wilcoxon rank-sum test, $Z = -2.691$, $df = 142$, $p = 0.007$
- PH de l'eau : Standard Two-Sample t-Test, $t = -3.593$, $df = 140$, $p < 0.001$
- Dureté de l'eau : Wilcoxon rank-sum test, $Z = 2.152$, $df = 117$, $p = 0.031$

Annexe 6 (suite)

Comparaison des étangs, reliés à une nappe souterraine, avec ou sans pontes de Grenouille rousse

- Diversité batrachologique : Wilcoxon rank-sum test, $Z = 2.052$, $df = 28$, $p = 0.040$
- Recouvrement par les Roseaux : Wilcoxon rank-sum test, $Z = 2.120$, $df = 27$, $p = 0.028$
- Recouvrement par les Carex et les Joncs : Wilcoxon rank-sum test, $Z = 2.795$, $df = 27$, $p = 0.005$

Comparaison des étangs, étanchéifiés avec de la glaise, avec ou sans pontes de Grenouille rousse

- Diversité batrachologique : Standard Two-Sample t-Test, $t = 3.655$, $df = 52$, $p < 0.001$
- Recouvrement par les Roseaux : Wilcoxon rank-sum test, $Z = 2.181$, $df = 49$, $p = 0.029$

Comparaison des étangs, étanchéifiés à la chaux, avec ou sans pontes de Grenouille rousse

- Diversité batrachologique : Standard Two-Sample t-Test, $t = 3.632$, $df = 46$, $p < 0.001$
- Température de l'eau : Wilcoxon rank-sum test, $Z = -2.011$, $df = 45$, $p = 0.044$
- pH de l'eau : Wilcoxon rank-sum test, $Z = -3.479$, $df = 44$, $p < 0.001$
- Dureté de l'eau : Wilcoxon rank-sum test, $Z = 2.179$, $df = 33$, $p = 0.029$

Comparaison générale des étangs avec ou sans têtards de Rainette verte

- Diversité batrachologique : Wilcoxon rank-sum test, $Z = 5.836$, $df = 98$, $p < 0.0001$
- Recouvrement par les Carex et les Joncs : Wilcoxon rank-sum test, $Z = 2.436$, $df = 94$, $p = 0.015$
- pH de l'eau : Standard Two-Sample t-Test, $t = -2.046$, $df = 90$, $p = 0.044$
- Conductivité de l'eau : Wilcoxon rank-sum test, $Z = 2.878$, $df = 94$, $p = 0.004$
- Dureté de l'eau : Wilcoxon rank-sum test, $Z = 3.345$, $df = 85$, $p < 0.001$

Comparaison des étangs, reliés à une nappe souterraine, avec ou sans têtards de Rainette verte

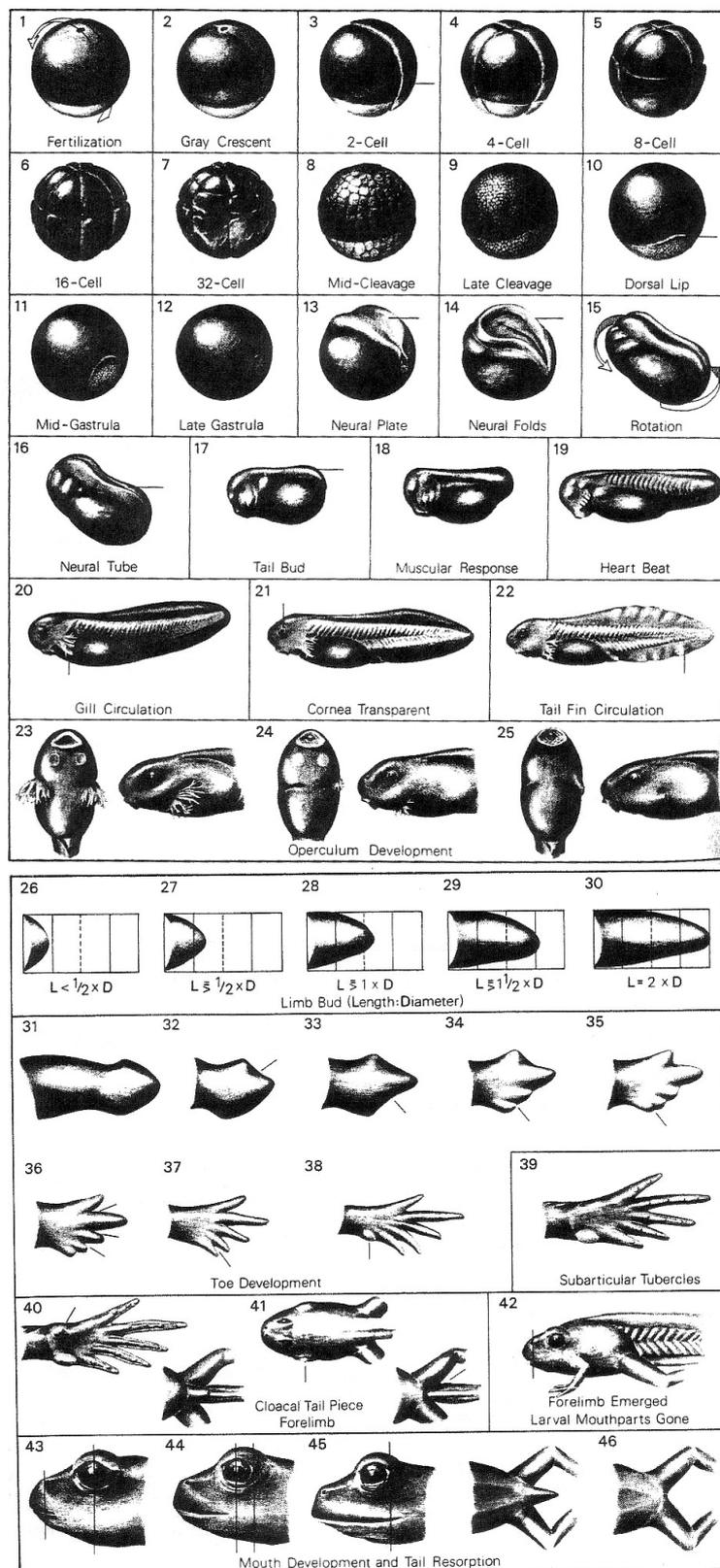
- Diversité batrachologique : Standard Two-Sample t-Test, $t = 5.981$, $df = 25$, $p < 0.0001$
- pH de l'eau : Wilcoxon rank-sum test, $Z = 2.496$, $df = 25$, $p = 0.013$

Comparaison des étangs, étanchéifiés avec de la glaise, avec ou sans têtards de Rainette verte

- Diversité batrachologique : Wilcoxon rank-sum test, $Z = 3.996$, $df = 52$, $p < 0.001$
- Recouvrement par les Carex et les Joncs : Wilcoxon rank-sum test, $Z = 2.778$, $df = 48$, $p = 0.006$
- pH de l'eau : Wilcoxon rank-sum test, $Z = -2.567$, $df = 42$, $p = 0.010$
- Conductivité de l'eau : Standard Two-Sample t-Test, $t = 4.462$, $df = 46$, $p < 0.001$
- Dureté de l'eau : Wilcoxon rank-sum test, $Z = 2.794$, $df = 48$, $p = 0.005$

Annexe 7.

Standard early stages of development of anurans. Stages according to Gosner (1960)



Annexe 8. Comparaison du pH de l'eau mesuré dans les étangs de trois régions abritant ou ayant abrités des populations de Rainette verte (HA) : Reusstal inférieur, Côte lémanique, Plaine de l'Orbe.

PH (nombre de sites ; pH moyen)	Reusstal général (n = 92 ; 8,36)	Reusstal sans HA (n = 73 ; 8,45)	Reusstal avec HA (n = 19 ; 7,99)	Côte général (n = 100 ; 7,80)	Côte sans HA (n = 76 ; 7,74)	Côte avec HA (n = 24 ; 7,96)	Orbe général, sans HA (n = 40 ; 7,75)
Reusstal général		NS	NS	P < 0,001	P < 0,001	P = 0,04	P < 0,001
Reusstal sans HA			P = 0,04	P < 0,001	P < 0,001	P = 0,02	P < 0,001
Reusstal avec HA				NS	P = 0,03	NS	P = 0,03
Côte général					NS	NS	NS
Côte sans HA						NS	NS
Côte avec HA							P = 0,04

NS : différence non significative

Annexe 9. Comparaison de la conductivité de l'eau mesurée dans les étangs de trois régions abritant ou ayant abrités des populations de Rainette verte (HA) : Reusstal inférieur, Côte lémanique, Plaine de l'Orbe

Conductivité (nombre de sites ; valeur moyenne)	Reusstal général (n = 92 ; 0,2665)	Reusstal sans HA (n = 73 ; 0,237)	Reusstal avec HA (n = 19 ; 0,380)	Côte général (n = 100 ; 0,414)	Côte sans HA (n = 76 ; 0,455)	Côte avec HA (n = 24 ; 0,285)	Orbe général, sans HA (n = 40 ; 0,693)
Reusstal général		NS	P = 0,02	P < 0,001	P < 0,001	NS	P < 0,001
Reusstal sans HA			P = 0,004	P < 0,001	P < 0,001	P = 0,04	P < 0,001
Reusstal avec HA				NS	NS	NS	P < 0,001
Côte général					NS	P = 0,002	P < 0,001
Côte sans HA						P < 0,001	P < 0,001
Côte avec HA							P < 0,001

NS : différence non significative