



## Rapport Technique



Suivis POPReptiles du Val-Suzon

Mars 2019

**Titre : Suivis POPReptiles du Val-Suzon**

Auteur : David BEAUNE<sup>1</sup>, Henri-Pierre SAVIER<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire Biogéosciences, UMR 6282 CNRS, Université Bourgogne Franche-Comté. 6 Boulevard Gabriel, 21000 Dijon; ECO+Consulting, 8c rue roulotte, 21110 Pluvault; [david.beaune@gmail.com](mailto:david.beaune@gmail.com); 06 95 601 609

<sup>2</sup>ONF, spécialiste Eau/membre du réseau Herpétofaune de l'ONF

**Relecteurs :**

Aurore PERNAT. Herpétologue, ECO+consulting

Marlène TRECA. ONF, conservatrice RNR du Val-Suzon

Bertrand BARRÉ, membre du réseau Herpétofaune de l'ONF

Photo : Couleuvre verte et jaune (*Hierophis viridiflavus*) © Aurore Pernat

**Citation :**

Beaune David & Savier Henri-Pierre (2019) Suivi POPReptiles du Val-Suzon. ONF, Dijon. 65 pp.

**Financement :**

ONF, Région BFC,UE



**Date d'accomplissement :**

31/03/2019

## Table des matières

RÉSUMÉ.....	10
I Contexte .....	11
II Matériel et méthode .....	12
II.1 Protocole POPReptiles et localisation:.....	12
II.2 Capteurs hygrothermiques: .....	15
I. SIGNIFICATIVITE DU PROTOCOLE.....	17
1.1. Fréquence annuelle d'observations :.....	17
1.2. Comparer les fréquences annuelles entre elles à l'aide d'un test statistique adapté : 19	
1.3. Si des différences significatives sont constatées, hiérarchiser les fréquences entre elles :.....	20
1.4. Tenter d'expliquer ces différences à l'aide des autres variables (Analyse factorielle), notamment en fonction de la pression d'échantillonnage :.....	20
II. DONNEES HYGROTHERMIQUES .....	21
2.1. Organisation et examen des données brutes : .....	21
2.2. Calcul des variables à tester : .....	22
2.3. Comparaison entre sites, à l'aide des plaques en caoutchouc :.....	26
2.4. Comparaison entre types de plaques : .....	30
2.5. Évaluation des conditions d'utilisation optimale théorique du dispositif par les reptiles : 34	
III. PROBABILITÉ D'OCCURRENCE ET FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX.....	37
3. Analyse du croisement des données espèces observées et température/hygrométrie :37	
3.1. Organisation et analyse des données : .....	37
3.2. Efficacité comparative des matériaux :.....	37
3.3. Comparaison des méthodes de mesures :.....	41
3.4. Amplitude de température et d'humidité observées <i>in situ</i> : .....	42
IV. PROPOSITIONS .....	52
4. Proposer des mesures d'amélioration du protocole : .....	52
4.1. Proposer des mesures d'amélioration du protocole, dans l'optique de mieux repérer les espèces présentes (attractivité du dispositif et fréquences de passage) :.....	52
4.1.1 Représentativité de la diversité spécifique avec les différentes méthodes de suivis:52	
4.1.2 Différences intersites : .....	55
4.1.3 Influences sur la détectabilité des reptiles: .....	56

4.2. Proposer un protocole pour mieux connaître la répartition des espèces (nombre de sites nécessaires pour comparer les fréquentations d'une ou plusieurs espèces par type d'habitat) : .....	57
III CONCLUSION .....	59
IV REMERCIEMENTS .....	61
V RÉFÉRENCES .....	61
VI Annexes .....	63
VII Glossaire et abréviations.....	65

## Liste des figures

Figure 1 Les 4 parties/chapitres du rapport.....	12
Figure 2 RNR et forêt d'exception du Val Suzon (Côte d'Or, BFC) .....	13
Figure 3 Les 18 sites de suivi POPReptiles, avec les 17 transects (bleus) et les 56 plaques à insolation (rouge: caoutchouc; jaune: métalliques). Voir (Barré & Savier, 2016).....	14
Figure 4 Capteur TGP-4500 Tinytag et son installation sous une plaque (Savier, 2017) .....	15
Figure 5 Localisation 10 plaques avec capteurs hygrothermiques 2013-2016.....	16
Figure 6 Observations totales de reptiles par jour de suivi POPReptiles sur les sites du Val Suzon 2012-2016 .....	17
Figure 7 Fréquence d'observations de reptiles par jour de suivi POPReptiles sur tous les sites du Val Suzon selon les années 2012 à 2016 .....	19
Figure 8 Moyennes mensuelles des températures (°C) sous les plaques relevées par les 10 capteurs hygrothermiques TGP-4500 Tinytag sous 10 plaques de suivi POPReptiles au Val Suzon 2012-2016 .....	23
Figure 9 Moyennes mensuelles du taux d'humidité (% RH) sous les plaques relevées par les 10 capteurs hygrothermiques TGP-4500 Tinytag sous 10 plaques de suivi POPReptiles au Val Suzon 2012-2016 .....	25
Figure 10 Principales heures des Suivis POPReptiles 2012-2016.....	26
Figure 11 Enregistrements 2013-2016 des températures en avril de 10h00 à 10h59 des 10 capteurs hygrothermiques TGP-4500 Tinytag sous 10 plaques de suivi POPReptiles au Val Suzon. Avec 4 plaques métalliques (gris) et 6 plaques caoutchouc (marron).....	28
Figure 12 Enregistrements 2013-2016 du taux d'humidité en avril de 10h00 à 10h59 des 10 capteurs hygrothermiques TGP-4500 Tinytag sous 10 plaques de suivi POPReptiles au Val Suzon. Avec 4 plaques métalliques (gris) et 6 plaques caoutchouc (marron).....	30
Figure 13 Exemple aléatoire de températures relevées par les capteurs hygrothermiques TGP-4500 Tinytag sous la plaque métallique TO (courbe grise) et caoutchouc 24 (marron) du site 26-27 (suivi POPReptiles au Val Suzon) .....	31
Figure 14 Exemple aléatoire du taux d'humidité relevé par les capteurs hygrothermiques TGP-4500 Tinytag sous la plaque métallique TO (courbe grise) et caoutchouc 24 (marron) du site 26-27 (suivi POPReptiles au Val Suzon) .....	31
Figure 15 Températures moyennes des mois d'avril relevées par les capteurs hygrothermiques TGP-4500 Tinytag sous 5 plaques métalliques (courbe grise) et 5 caoutchouc (marron) (suivi POPReptiles au Val Suzon 2013-2016).....	32
Figure 16 Humidité moyenne des mois d'avril relevée par les capteurs hygrothermiques TGP-4500 Tinytag sous 5 plaques métalliques (courbe grise) et 5 caoutchouc (marron) (suivi POPReptiles au Val Suzon 2013-2016).....	32
Figure 17 Probabilités de détections en fonction des températures sous plaques pour deux squamates. L'optimum thermique de détection est marqué par une barre bleue (Marchand, 2012) .....	35
Figure 18 Courbe de richesse cumulée (diversité en reptiles) par suivis de 7 plaques caoutchouc (courbe marron) et des 7 plaques métalliques (grise). Suivi POPReptiles de 5 sites du Val Suzon 2012-2016. Les barres verticales= SD. écart-type .....	40
Figure 19 Courbe de richesse cumulée (diversité en reptiles) par suivis des 5 transects (courbe bleue), de 7 plaques caoutchouc (marron) et des 7 plaques métalliques (grise). Suivi POPReptiles de 5 sites du Val Suzon 2012-2016. Les barres verticales= SD. écart-type .....	40

Figure 20 Température (rouge) et hygrométrie (bleu) enregistrées pendant les suivis avec enregistreurs Tinytag et thermomètres/hygromètres portatifs à visée laser. Suivi POPReptiles de 5 sites du Val Suzon 2015-2016. N = 89. ....	41
Figure 21 Températures (°C) ambiantes externes d'observations de reptiles relevées pendant les saisons de suivis POPReptiles du Val Suzon 2012-2016.....	44
Figure 22 Températures (°C) enregistrées par les TGP-4500 Tinytags sous les plaques lors d'observations de reptiles relevées pendant les saisons de suivis POPReptiles du Val Suzon 2013-2016 .....	46
Figure 23 Températures enregistrées par visée laser sous les plaques lors d'observations de reptiles relevées pendant les saisons de suivis POPReptiles du Val Suzon 2015-2016..	47
Figure 24 Températures enregistrées par visée laser sur les plaques lors d'observations de reptiles relevées pendant les saisons de suivis POPReptiles du Val Suzon 2015-2016..	48
Figure 25 Températures enregistrées par les TGP-4500 Tinytags sous les plaques lors d'observations de reptiles relevées pendant les saisons de suivis POPReptiles du Val Suzon 2013-2016 .....	49
Figure 26 Hygrométries enregistrées par visée laser lors d'observations de reptiles relevées pendant les saisons de suivis POPReptiles du Val Suzon 2014-2016 .....	50
Figure 27 Courbe de richesse cumulée (diversité en reptiles) par suivis des 49 plaques caoutchouc (courbe marron), des 7 plaques métalliques (grise) et des 17 transects (bleue). Suivi POPReptiles de 18 sites du Val Suzon 2012-2016. Les barres verticales= SD. écart-type .....	53
Figure 28 Fréquence d'observations de reptiles pour les 17 sites. Suivis POPReptiles, Val Suzon 2012-2016. Les sites 202 et 212 sont significativement différents avec certains sites avec les plus faibles occurrences d'animaux .....	56
Figure 29 Interprétations d'une boîte à moustache (boxplot R) .....	63

## Liste des tableaux

Tableau 1 Caractéristiques techniques des capteurs TGP-4500 Tinytag .....	15
Tableau 2 Caractéristiques des sites avec capteurs TGP-4500 Tinytag .....	16
Tableau 3 Observations totales de reptiles par jour de suivi POPReptiles sur tous les sites du Val Suzon 2012-2016 .....	18
Tableau 4 Nombre d'enregistrements par les 10 capteurs hygrothermiques TGP-4500 Tinytag sous 10 plaques de suivi POPReptiles au Val Suzon .....	21
Tableau 5 Températures (°C) maximales et minimales enregistrées par les 10 capteurs hygrothermiques TGP-4500 Tinytag sous 10 plaques de suivi POPReptiles au Val Suzon .....	23
Tableau 6 Températures moyennes ( $\pm$ SD) enregistrées par les 10 capteurs hygrothermiques TGP-4500 Tinytag sous 10 plaques de suivi POPReptiles au Val Suzon.....	24
Tableau 7 Hygrométries (%RH) maximales et minimales enregistrées par les 10 capteurs hygrothermiques TGP-4500 Tinytag sous 10 plaques de suivi POPReptiles au Val Suzon .....	25
Tableau 8 Hygrométries (%RH) moyennes ( $\pm$ SD) enregistrées par les 10 capteurs hygrothermiques TGP-4500 Tinytag sous 10 plaques de suivi POPReptiles au Val Suzon .....	26
Tableau 9 Tests de Tukey de comparaison multiple des moyennes de températures pour 10 plaques de suivi POPReptiles Val Suzon 2013-2016. Seules les paires de sites significativement différentes ( $p < 0.05$ ) sont présentées .....	27
Tableau 10 Test de Tukey de comparaison multiple des moyennes hygrométriques pour 10 plaques de suivi POPReptiles Val Suzon 2013-2016. Seules les paires de sites significativement différentes ( $p < 0.05$ ) sont présentées .....	29
Tableau 11 Températures moyennes ( $\pm$ SD), maximales et minimales enregistrées par les 10 capteurs hygrothermiques TGP-4500 Tinytag sous les 4 plaques métalliques (M) et 4 caoutchouc (C) de 4 sites comparatifs (+2 caoutchouc seules). Suivi POPReptiles, Val Suzon 2013-2016 .....	33
Tableau 12 Humidités moyennes ( $\pm$ SD), maximales et minimales enregistrées par les 10 capteurs hygrothermiques TGP-4500 Tinytag sous les 4 plaques métalliques (M) et 4 caoutchouc (C) de 4 sites comparatifs (+2 caoutchouc seules). Suivi POPReptiles, Val Suzon 2013-2016 .....	33
Tableau 13 Nombre d'espèces recensées et estimation du nombre d'espèces par extrapolation (méthodes chao, jackknife de degré 1 & 2 et bootstrap $\pm$ SD) basée sur 24 suivis POPReptiles avec toutes les 49 plaques caoutchouc des 17 sites avec transects, et les 7 métalliques et 7 caoutchouc et 5 transects de 5 sites. Val Suzon 2012-2016 ...	38
Tableau 14 Nombre de contacts par espèces et par méthodes: les 49 plaques caoutchouc (49C) et les 17 transects (17T) sur les 17 sites; les 7 plaques métalliques (7M), 7 plaques caoutchouc (7C) et les 5 transects (5T) sur 5 sites. Suivis POPReptiles 2013-2016 .....	41
Tableau 15 Températures (°C) ambiantes externes d'observations de reptiles relevées pendant les saisons de suivis POPReptiles du Val Suzon 2012-2016 .....	44
Tableau 16 Multiple comparaison (Kruskal-Wallis) de Dunn avec p-values ajustées par la méthode Benjamini-Hochberg des températures ambiantes externes d'observations de reptiles relevées pendant les saisons de suivis POPReptiles du Val Suzon 2012-2016..	45



Tableau 17	Températures (°C) enregistrées par les TGP-4500 Tinytags lors d'observations de reptiles relevées pendant les saisons de suivis POPReptiles du Val Suzon 2013-2016..	46
Tableau 18	Températures (°C) sous les plaques relevées par visée laser lors d'observations de reptiles pendant les saisons de suivis POPReptiles du Val Suzon 2015-2016 .....	47
Tableau 19	Températures sur les plaques relevées par visée laser lors d'observations de reptiles pendant les saisons de suivis POPReptiles du Val Suzon 2015-2016 .....	48
Tableau 20	Hygrométries enregistrées par les TGP-4500 Tinytags lors d'observations de reptiles relevées pendant les saisons de suivis POPReptiles du Val Suzon 2013-2016..	49
Tableau 21	Hygrométries enregistrées par visée laser lors d'observations de reptiles relevées pendant les saisons de suivis POPReptiles du Val Suzon 2014-2016 .....	50
Tableau 22	Nombre d'espèces recensées et estimation du nombre d'espèces par extrapolation (méthode chao, jackknife de degré 1 & 2 et bootstrap $\pm$ SD) basée sur 24 suivis POPReptiles avec toutes les 49 plaques caoutchouc, les 7 métalliques et tous les transects. Val Suzon 2012-2016.....	54
Tableau 23	Observations de <i>Lacerta bilineata</i> par la méthode des transects (tableau haut) et plaques (bas) sur les 17 sites pendant les saisons de suivi POPReptiles 2012-2016.....	55

## RÉSUMÉ

Un protocole POPReptiles (type 1) a été mis en place par l'ONF sur la RNR-Forêt d'Exception du Val Suzon, de 2012 à 2016. Les suivis de transects à vue et de 56 plaques-abris ont permis d'inventorier 8 squamates, dont 3 Lacertilia (*Anguis fragilis*, *Lacerta bilineata*, *Podarcis muralis*) et 5 Serpentes (*Coronella austriaca*, *Hierophis viridiflavus*, *Natrix helvetica*, *Vipera aspis* et *Zamenis longissimus*). Les analyses de courbes de richesse cumulée et les extrapolations indiquent que l'exhaustivité n'est pas atteinte. Une à deux espèces supplémentaires pourraient être détectées en ajoutant des passages d'inventaire. Les conditions hygrothermiques sont différentes entre les plaques noires en caoutchouc et les fines plaques métalliques, ce qui semble ici favoriser l'attractivité des plaques métalliques. La comparaison des températures prises à l'aide d'un capteur de température et d'hygrométrie sous plaque et d'un thermomètre portatif à visée laser, montre des différences significatives en défaveur de la prise de température après soulèvement de la plaque. Les données actuelles ne permettent pas de mettre en évidence d'autres effets sur la diversité et les probabilités d'observations de reptiles. Si un protocole POPReptiles de type 3 est envisagé pour répondre aux deux questions de la répartition des espèces de reptiles au sein de la RNR-Forêt d'Exception et de leur abondance relative en fonction de la structure de la végétation, il pourrait être optimisé en réduisant le nombre de sites à 10-12, répartis par habitats ou structure de végétation avec 6 plaques/site, et en réduisant la longueur et le nombre des transects pour les suivis à vue.

Mots-clefs : biodiversité, Bourgogne, lézard, reptile, serpent, squamate

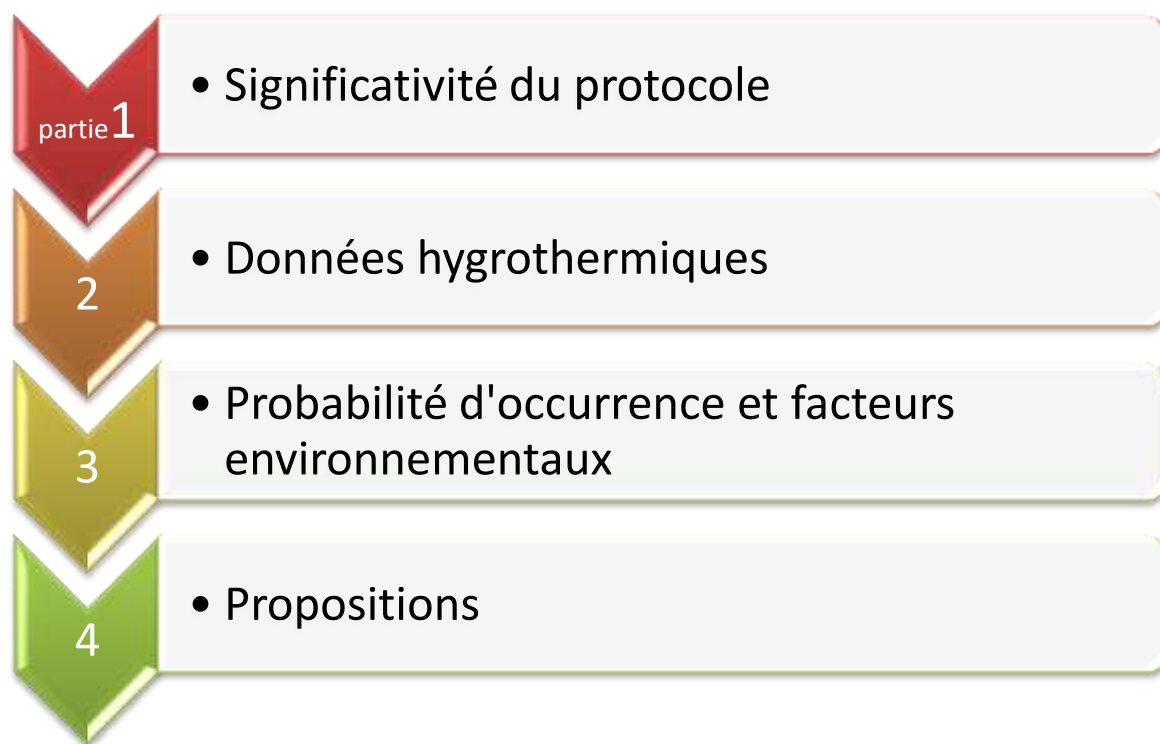
## I Contexte

Un dispositif d'inventaire de reptiles a été installé dans le périmètre de la Réserve naturelle régionale (RNR)-Forêt d'Exception du Val Suzon (de mai 2013 à septembre 2016), suivant le protocole national POPReptiles (Savier, 2017). Celui-ci est standardisé et pensé collégalement par la SHF, l'ONF, RNF et CPIE (Lourdais & Miaud, 2016). Le suivi en résultant (réalisé par l'ONF) a été effectué grâce à 49 plaques en caoutchouc et 7 métalliques. Elles sont favorables à la thermorégulation des reptiles et à leur dissimulation vis-à-vis des prédateurs et donc des attractants efficaces. Le protocole et les résultats de présence/absence sont présentés dans le rapport 2016 (Barré & Savier, 2016) et ne seront que succinctement présentés ici. Le suivi permet de faire un inventaire de l'herpétofaune sur la Réserve et de suivre les tendances spatiales et temporelles des espèces, voire des populations (et ainsi d'observer de potentiels effets de l'habitat et du mode de gestion, ou encore une tendance populationnelle à l'augmentation ou la diminution). Parallèlement aux inventaires, des capteurs de température et d'humidité ont été installés sous 10 plaques, dans le but de corréliser les observations d'espèces sous les plaques à ces mesures, et tester d'éventuel *preferendum* écologique des espèces.

Quatre groupes de questions se dégagent du CCTP (Savier, 2017) afin de compléter les apports des rapports précédents:

1. Mesure de l'efficacité du protocole à partir des données d'observations sur les 56 plaques.
2. Analyse des données de température et d'humidité relative des enregistreurs.
3. Analyse du croisement des données espèces observées avec la température et l'hygrométrie.
4. Proposer des mesures d'amélioration du protocole.

Ce rapport se structure donc en quatre parties suivantes :



**Figure 1 Les 4 parties/chapitres du rapport**

Le Matériel et méthode étant commun aux 4 chapitres, il est présenté dans cette partie introductive :

## **II Matériel et méthode**

### **II.1 Protocole POPReptiles et localisation:**

Les reptiles squamates (lézards et serpents) sont difficiles à observer (pas de chant, discrets) et sont donc principalement observés lors de leur activité de thermorégulation. Des plaques à insolation (aussi appelées plaques-abris, plaques-refuges ou abris artificiels) sont donc particulièrement efficaces pour attirer et observer ces animaux lorsque les températures sont encore relativement basses. Le protocole POPReptiles en fait l'usage, complété par des prospections à vue de part et d'autre de transects parcourus à 2km/h (Lourdais & Miaud, 2016). Ce protocole a été mis en place dans le Val Suzon. Ainsi de 2013 à 2016, 17 sites sont suivis via un transect (longueur variable) et 1 à 3 plaques en caoutchouc (type tapis de carrière découpé en 49 carrés de 80 X 80 cm). Un 18e site est constitué d'une plaque. Sept plaques métalliques complètent le dispositif afin de comparer les variations de température et d'humidité entre les types de plaques et pour tester une éventuelle différence de fréquentation tant en type d'espèces qu'en fréquence. Pour récapituler, l'ensemble du dispositif compta à la fin du suivi en 2016, 18 sites répartis sur l'ensemble du Val Suzon, avec 7 plaques métalliques et 49 plaques en caoutchouc installées sur 17 transects. Voir Figure 3.

Pour plus de détails, se référer au rapport (Barré & Savier, 2016).

Les 18 sites sont tous ouverts, en lisière de forêt, exposés au sud pour optimiser l'attractivité des plaques à insolation. Mais les situations sont diversifiées en haut, milieu et bas de pente pour optimiser les probabilités d'observation d'espèces différentes.



Figure 2 RNR-Forêt d'exception du Val Suzon (Côte d'Or, BFC)

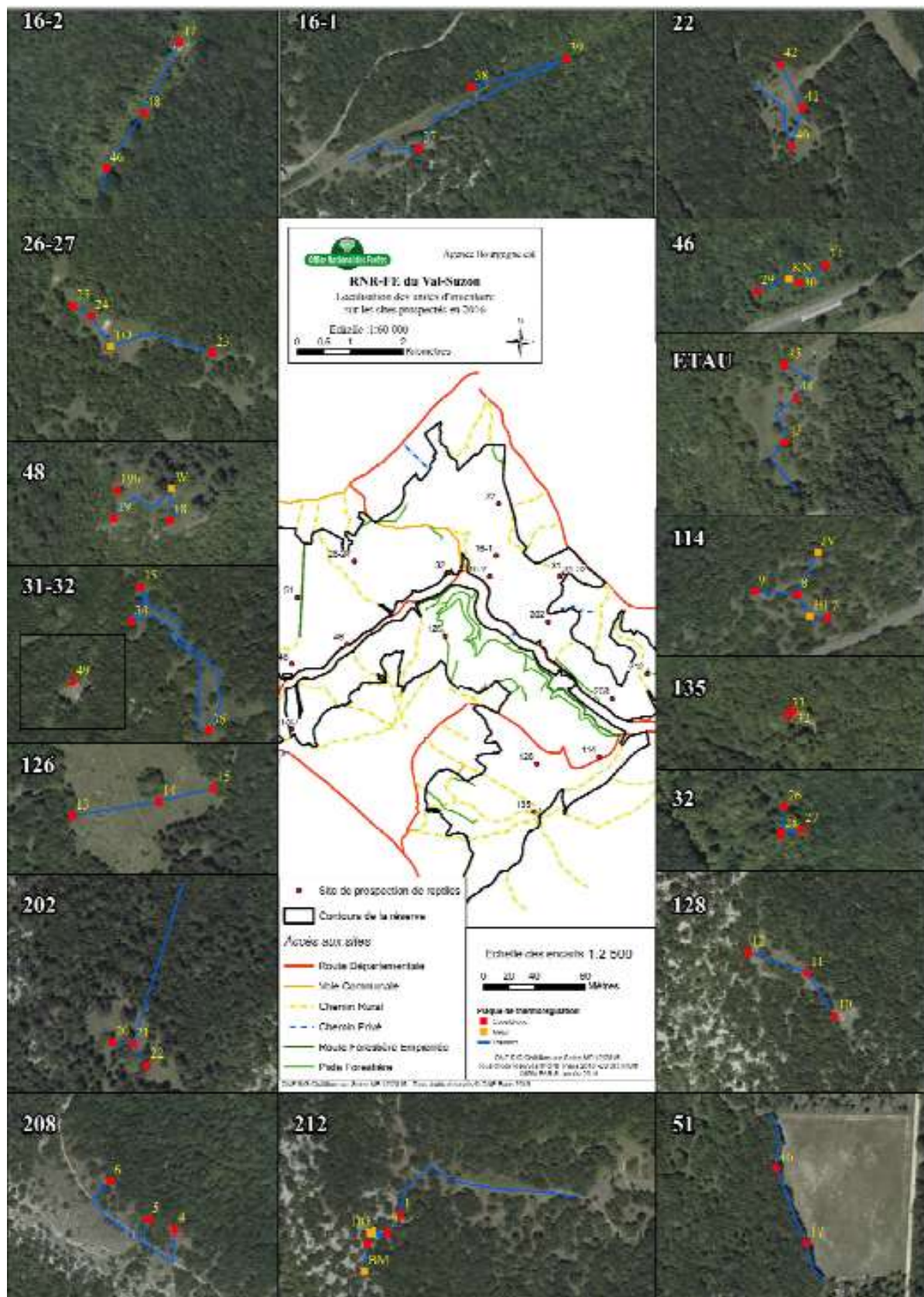


Figure 3 Les 18 sites de suivi POPReptiles, avec les 17 transects (bleus) et les 56 plaques à insolation (rouge: caoutchouc; jaune: métalliques). Voir (Barré & Savier, 2016)

## II.2 Capteurs hygrothermiques:

Dix enregistreurs TGP-4500 de la marque Tinytag (Tableau 1) furent placés sous des plaques de 80 cm X 80 cm en caoutchouc (N=6) et en acier galvanisé (4), en lisière de forêt (Tableau 2). Les appareils étaient fixés par des vis/écrous et isolés de leur support par une branche de 0.5 à 1 cm de diamètre (Figure 4). Un espace entre la plaque et le sol était aménagé à l'aide de branches ou de pierres, de manière à faciliter la circulation des reptiles et pour éviter que l'appareil ne se retrouve en contact direct avec son support ou avec le sol. La répartition des 10 plaques équipées de capteurs hygrothermique est visible sur la Figure 5.

Les capteurs étaient programmés pour enregistrer des valeurs toutes les 20 minutes. Compte tenu de leur capacité mémoire, ils étaient relevés tous les 7 mois et relancés pour un nouveau cycle d'enregistrements (Savier, 2017).

En 2015, thermomètres/hygromètres portatifs à visée laser complètent les relevés hygrothermiques sous les plaques.



Figure 4 Capteur TGP-4500 Tinytag et son installation sous une plaque (Savier, 2017)

Tableau 1 Caractéristiques techniques des capteurs TGP-4500 Tinytag

Température	Relative Humidity
Reading range : -25°C to +85°C	Reading Range : 0% to 100% RH
Sensor type : 10K NTC Thermistor (Internally mounted)	Sensor type : capacitive
Response time : 25 mins to 90% FSD in moving air	Accuracy : $\pm 3.0\%$ RH at 25°C
Reading resolution : 0.01°C or better	Reading resolution : better than 0.3% RH
	Sensor location : externally mounted
	Response time : 40 seconds to 90% FSD (current data loggers, from SN 613165)

\* d'après la fiche technique disponible sur : <http://gemini2.assets.d3r.com/pdfs/original/1589-tgp-4500.pdf>.

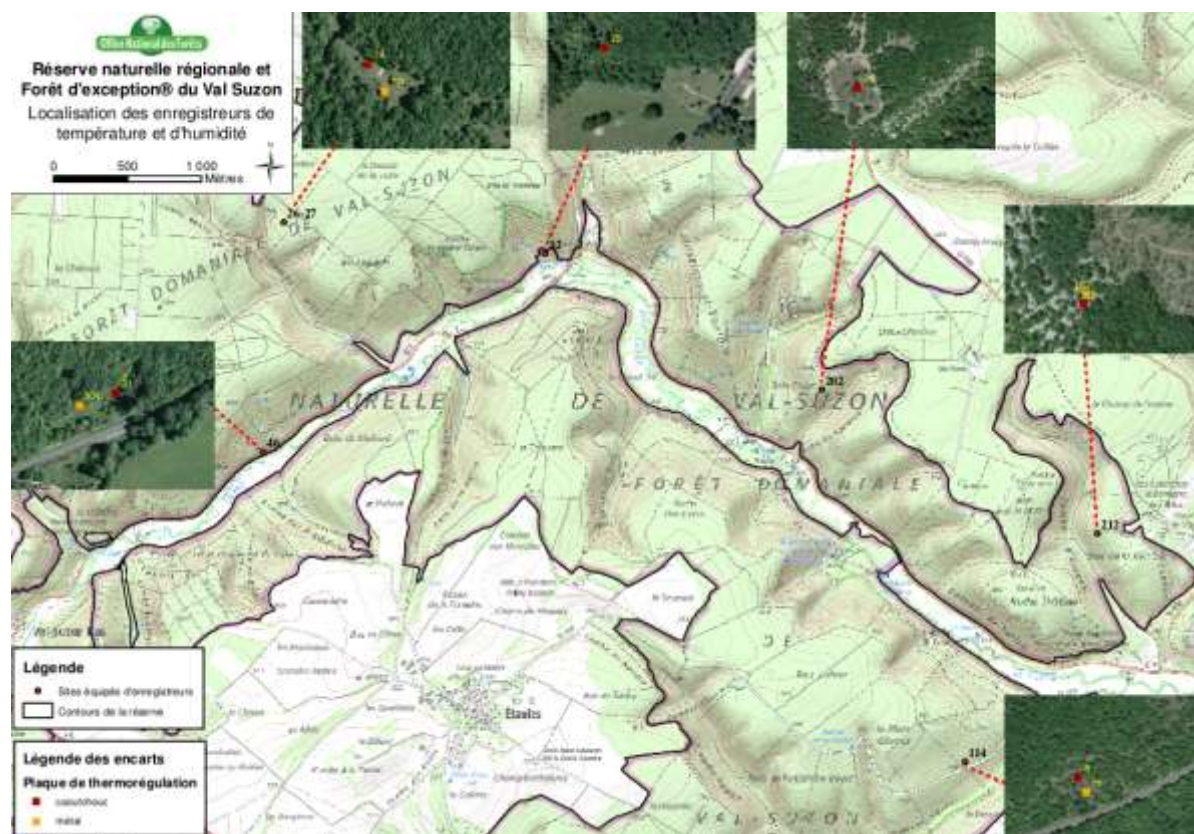


Figure 5 Localisation 10 plaques avec capteurs hygrothermiques 2013-2016.  
Voir (Barré & Savier, 2016)

Tableau 2 Caractéristiques des sites avec capteurs TGP-4500 Tinytag

Site n°	Habitat	Situation	Exposition	Identifiant plaque	Matériau	x Lambert 93	y Lambert 93
46	Marais alcalin	Bas de versant	Sud-Est	KN	Métalliques	845209.218	6704287.92
				31	Caoutchouc	845238.076	6704298.18
26-27	Pelouse intraforestière	Replat sur versant	Sud-Ouest	24	Caoutchouc	845364.308	6705823.51
				TO	Métalliques	845379.275	6705800.32
32	Marais alcalin	Bas de versant	Sud	28	Caoutchouc	847117.212	6705617.34
202	Pelouse intraforestière	Milieu de versant	Sud-Ouest	21	Caoutchouc	848966.355	6704735.48
212	Eboulis calcaire	Haut de versant	Sud-Ouest	DG	Métalliques	850855.06	6703722.62
				3	Caoutchouc	850852.56	6703714.11
114	Pelouse intraforestière	Milieu de versant	Sud-Est	8	Caoutchouc	849974.123	6702206.87
				HI	Métalliques	849983.989	6702189.56



## I. SIGNIFICATIVITE DU PROTOCOLE

### 1.1. Fréquence annuelle d'observations :

Ou Calculer la fréquence annuelle d'observations positives (= non nul), toutes espèces confondues, par rapport au nombre total d'observations (nul + non nul).

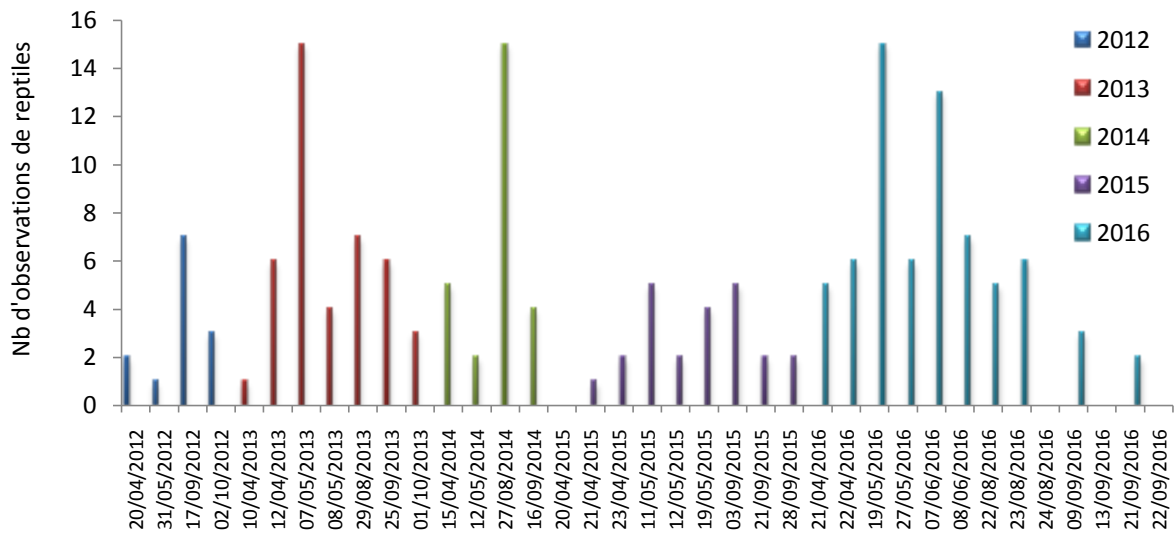


Figure 6 Observations totales de reptiles par jour de suivi POPReptiles sur les sites du Val Suzon 2012-2016

**Tableau 3 Observations totales de reptiles par jour de suivi POPReptiles sur tous les sites du Val Suzon 2012-2016**

Dates	2012	2013	2014	2015	2016	Total
20/04/2012	2					2
31/05/2012	1					1
17/09/2012	7					7
02/10/2012	3					3
10/04/2013		1				1
12/04/2013		6				6
07/05/2013		15				15
08/05/2013		4				4
29/08/2013		7				7
25/09/2013		6				6
01/10/2013		3				3
15/04/2014			5			5
12/05/2014			2			2
27/08/2014			15			15
16/09/2014			4			4
20/04/2015				0		0
21/04/2015				1		1
23/04/2015				2		2
11/05/2015				5		5
12/05/2015				2		2
19/05/2015				4		4
03/09/2015				5		5
21/09/2015				2		2
28/09/2015				2		2
21/04/2016					5	5
22/04/2016					6	6
19/05/2016					15	15
27/05/2016					6	6
07/06/2016					13	13
08/06/2016					7	7
22/08/2016					5	5
23/08/2016					6	6
24/08/2016					0	0
09/09/2016					3	3
13/09/2016					0	0
21/09/2016					2	2
22/09/2016					0	0
<b>Total</b>	13	42	26	23	68	172
<b>Moyenne</b>	3.25	6	6.5	2.56	5.23	4.65
<b>±SD</b>	2.63	4.47	5.8	1.74	4.64	4.09

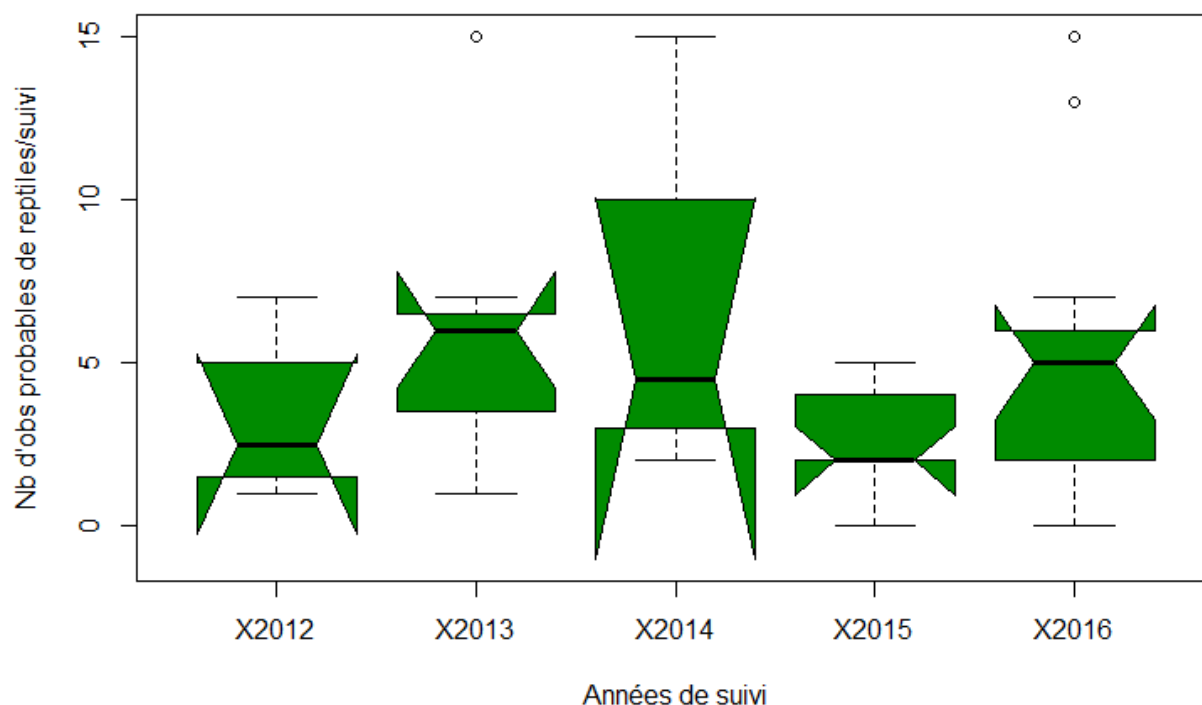
## 1.2. Comparer les fréquences annuelles entre elles à l'aide d'un test statistique adapté :

### Méthode

Les moyennes d'observation par journée de suivi par an ou fréquence d'observations par suivi par an (tous sites confondus) sont non-paramétriques (tests de normalité graphique et Shapiro-Wilk, (R Development Core Team, 2011)). Le test de rang de Kruskal-Wallis est utilisé pour vérifier s'il existe une différence entre les sites (échantillons indépendants), suivi d'un test *post hoc* de Mann-Whitney entre les groupes s'il existe une différence significative. Le logiciel R est utilisé pour les analyses statistiques (R Development Core Team, 2011).

### Résultats

Une moyenne de  $4.65 \pm$  SD. 4.09 reptiles sont observés par jour de suivi POPReptiles (Tableau 3, Figure 6). Il n'y a pas de différence significative entre années malgré l'augmentation du nombre de plaques à insolation les dernières années (26 plaques en 2012 contre 56 en 2016) ou malgré des suivis à différentes saisons certaines années (ex. été en 2016). Kruskal-Wallis chi-squared = 4.9045, df = 4, p-value = 0.2972 ; Figure 7.



**Figure 7** Fréquence d'observations de reptiles par jour de suivi POPReptiles sur tous les sites du Val Suzon selon les années 2012 à 2016

### **1.3. Si des différences significatives sont constatées, hiérarchiser les fréquences entre elles :**

#### **Discussion**

Malgré l'augmentation du nombre de plaques à insolation de 2012 à 2016 (26 à 56 plaques), il n'y a pas de différence significative d'observations entre les années. La grande variabilité du nombre d'observations entre les jours d'une même année (ex. 0 à 15 observations) et le caractère non paramétrique des données avec ce nombre de réplifications ne permet pas de déceler une éventuelle différence interannuelle des fréquences d'observations.

### **1.4. Tenter d'expliquer ces différences à l'aide des autres variables (Analyse factorielle), notamment en fonction de la pression d'échantillonnage :**

Cf.1.1.3. Pas de différence significative.

## II. DONNEES HYGROTHERMIQUES

### 2.1. Organisation et examen des données brutes :

Ou détecter les manques dans les séries de données : dates / heures manquantes et cases anormalement vides. Indiquer dans quelle mesure ces données sont utilisables ou non.

Les capteurs DG et 21 ont stoppé les enregistrements à partir du 30 mars et du 6 août 2016, respectivement. Ceci est dû à l'arrêt des batteries.

L'enregistreur n°8 n'a pas été relancé le 13 juin 2014, d'où une absence de relevés entre le 13/06/2014 et le 16/01/2015.

Idem probablement pour le capteur TO du 14/8/2015 10:19 au 17/8/2015 11:20.

Les manques de données des capteurs DG, 21 pour 2016 et du capteur 8 pour 2014 sur plusieurs mois ne permettent pas de faire des estimations pour ces capteurs ces années lacunaires.

Le manque de données de 4 jours en août 2015 pour TO est acceptable pour faire des estimations.

Tous les autres capteurs ont enregistré sans discontinuité notable environ 95149 données (Tableau 4).

**Tableau 4 Nombre d'enregistrements par les 10 capteurs hygrothermiques TGP-4500 Tinytag sous 10 plaques de suivi POPReptiles au Val Suzon**

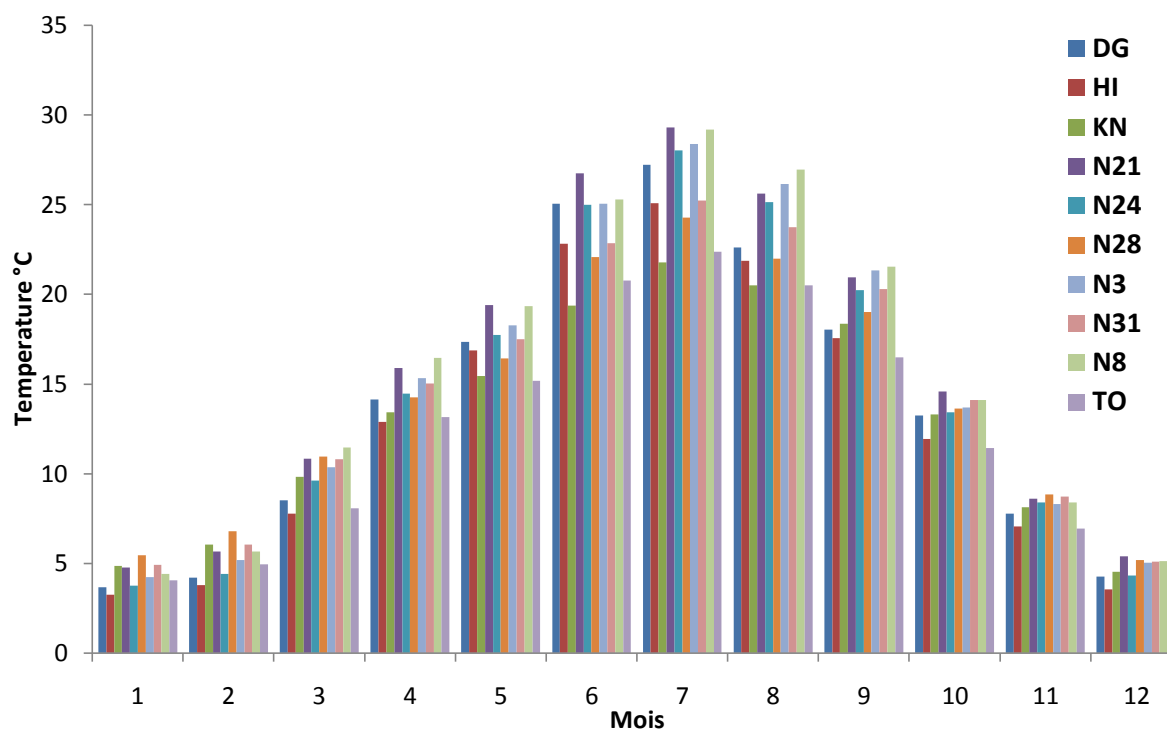
Années	DG	HI	KN	N21	N24	N28	N3	N31	N8	TO	Total
<b>2013</b>	<b>19 795</b>	<b>19 803</b>	<b>19 803</b>	<b>19 555</b>	<b>19 802</b>	<b>19 803</b>	<b>19 796</b>	<b>19 803</b>	<b>19 803</b>	<b>19 803</b>	<b>197766</b>
3	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	60
4	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	21600
5	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	22320
6	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	21600
7	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	22320
8	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	22320
9	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	21600
10	2 221	2 229	2 229	2 204	2 228	2 229	2 222	2 229	2 229	2 229	22249
11	2 160	2 160	2 160	1 937	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	21377
12	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	22320
<b>2014</b>	<b>26 279</b>	<b>26 279</b>	<b>26 280</b>	<b>26 278</b>	<b>26 279</b>	<b>26 280</b>	<b>26 280</b>	<b>26 280</b>	<b>11 896</b>	<b>26 280</b>	<b>248411</b>
1	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	22320
2	2 016	2 016	2 016	2 016	2 016	2 016	2 016	2 016	2 016	2 016	20160
3	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	22320
4	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	21600
5	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	22320
6	2 159	2 159	2 160	2 158	2 159	2 160	2 160	2 160	1 024	2 160	20459
7	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232		2 232	20088
8	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232		2 232	20088

9	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160		2 160	19440
10	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232		2 232	20088
11	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160		2 160	19440
12	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232		2 232	20088
<b>2015</b>	<b>26 278</b>	<b>26 279</b>	<b>26 281</b>	<b>26 279</b>	<b>26 279</b>	<b>26 280</b>	<b>26 279</b>	<b>26 281</b>	<b>25 157</b>	<b>26 060</b>	<b>261453</b>
1	2 231	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	1 109	2 231	21195
2	2 016	2 016	2 016	2 016	2 016	2 016	2 016	2 016	2 016	2 016	20160
3	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	22320
4	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	21600
5	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	22320
6	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	21600
7	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	22320
8	2 231	2 231	2 233	2 231	2 231	2 232	2 231	2 233	2 232	2 013	22098
9	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	21600
10	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	22320
11	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	21600
12	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	22320
<b>2016</b>	<b>6 471</b>	<b>22 794</b>	<b>22 790</b>	<b>15 646</b>	<b>22 784</b>	<b>22 790</b>	<b>22 778</b>	<b>22 791</b>	<b>22 793</b>	<b>22 784</b>	<b>204421</b>
1	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	22320
2	2 088	2 088	2 088	2 088	2 088	2 088	2 088	2 088	2 088	2 088	20880
3	2 151	2 191	2 189	2 176	2 185	2 190	2 173	2 189	2 190	2 185	21819
4		2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	19440
5		2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	20088
6		2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	19440
7		2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	20088
8		2 232	2 232	366	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	18222
9		2 160	2 160		2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160	17280
10		2 232	2 232		2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	2 232	17856
11		875	873		871	872	877	874	875	871	6988
<b>Total général</b>	<b>78 823</b>	<b>95 155</b>	<b>95 154</b>	<b>87 758</b>	<b>95 144</b>	<b>95 153</b>	<b>95 133</b>	<b>95 155</b>	<b>79 649</b>	<b>94 927</b>	<b>912051</b>

## 2.2. Calcul des variables à tester :

Ou pour chaque enregistreur, donner les valeurs mini et maxi annuelles de température et d'humidité. Calculer les moyennes annuelles et les écarts-types.

Température:



**Figure 8 Moyennes mensuelles des températures (°C) sous les plaques relevées par les 10 capteurs hydrothermiques TGP-4500 Tinytag sous 10 plaques de suivi POPReptiles au Val Suzon 2012-2016**

**Tableau 5 Températures(°C) maximales et minimales enregistrées par les 10 capteurs hydrothermiques TGP-4500 Tinytag sous 10 plaques de suivi POPReptiles au Val Suzon**

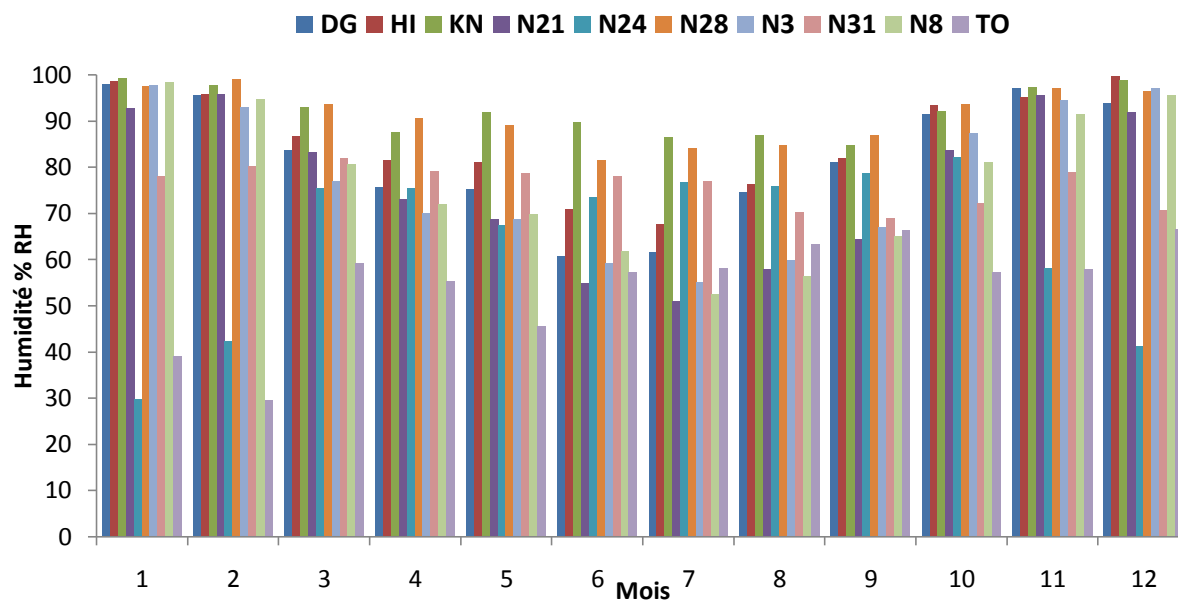
Capteurs	Max de T°C				Total Max de T°C	Min de T°C				Total Min de T°C
	2013	2014	2015	2016		2013	2014	2015	2016	
DG	64.8	62.2	68.3	NA	68.3	-5.5	-7.3	-6.8	-6.9	-7.3
HI	59.1	60.4	57.2	57.6	60.4	-4.6	-8.5	-6.0	-5.3	-8.5
KN	50.2	53.6	64.9	50.6	64.9	-7.7	-8.7	-5.8	-2.5	-8.7
TO	50.4	59.1	55.9	47.0	59.1	-6.8	-4.5	-3.0	-3.9	-6.8
N21	72.2	72.6	73.6	75.4	75.4	-7.8	-4.4	-4.7	-4.6	-7.8
N24	63.4	66.7	72.1	66.4	72.1	-5.3	-3.7	-4.9	-4.3	-5.3
N28	61.9	68.6	70.2	62.4	70.2	-5.9	-3.9	-2.5	-2.0	-5.9
N3	63.4	61.2	62.2	64.2	64.2	-6.3	-4.1	-3.9	-6.0	-6.3
N31	73.6	74.6	67.8	63.9	74.6	-8.5	-5.2	-5.2	-4.3	-8.5
N8	66.3	68.0	70.0	70.6	70.6	-7.1	-4.6	-5.8	NA	-7.1
Total général	73.6	74.6	73.6	75.4	75.4	-8.5	-8.7	-6.8	-6.9	-8.7

**Tableau 6 Températures moyennes ( $\pm$ SD) enregistrées par les 10 capteurs hygrothermiques TGP-4500 Tinytag sous 10 plaques de suivi POPReptiles au Val Suzon**

Capteurs	Températures moyennes (°C)				Écarts-types (SD) des T°C				Total T°C	
	2013	2014	2015	2016	2013	2014	2015	2016	moyenne	( $\pm$ SD)
DG	16.0	14.2	14.2		$\pm$ 12.3	$\pm$ 11	$\pm$ 13	$\pm$ 6	13.9	$\pm$ 12
HI	14.8	13.7	12.9	14.0	$\pm$ 10.8	$\pm$ 11.4	$\pm$ 11.2	$\pm$ 11	13.8	$\pm$ 11.2
KN	13.8	13.5	13.7	13.7	$\pm$ 9.6	$\pm$ 10	$\pm$ 11.1	$\pm$ 8.8	13.7	$\pm$ 10
TO	13.7	12.5	13.6	12.5	$\pm$ 9.7	$\pm$ 9.7	$\pm$ 9.9	$\pm$ 8.9	13.0	$\pm$ 9.6
N21	17.9	16.3	16.2		$\pm$ 15.3	$\pm$ 14.5	$\pm$ 15.3	$\pm$ 14.9	16.5	$\pm$ 15
N24	16.2	15.4	15.2	15.3	$\pm$ 12.3	$\pm$ 12.8	$\pm$ 14.3	$\pm$ 12.6	15.5	$\pm$ 13.1
N28	15.3	14.7	14.6	14.8	$\pm$ 10.6	$\pm$ 11.1	$\pm$ 11.7	$\pm$ 10	14.8	$\pm$ 10.9
N3	17.1	15.5	15.6	16.4	$\pm$ 12.7	$\pm$ 11.3	$\pm$ 12.5	$\pm$ 12.9	16.1	$\pm$ 12.4
N31	16.5	15.9	14.5	14.8	$\pm$ 13.7	$\pm$ 13.4	$\pm$ 13.2	$\pm$ 11.8	15.4	$\pm$ 13.1
N8	17.3		16.7	16.8	$\pm$ 13.3	$\pm$ 13.7	$\pm$ 14.6	$\pm$ 13.8	16.5	$\pm$ 13.9
Total général	15.9	14.6	14.7	14.5	$\pm$ 12.2	$\pm$ 12	$\pm$ 12.8	$\pm$ 11.7	14.9	$\pm$ 12.2



Humidité:



**Figure 9 Moyennes mensuelles du taux d'humidité (% RH) sous les plaques relevées par les 10 capteurs hygrothermiques TGP-4500 Tinytag sous 10 plaques de suivi POPReptiles au Val Suzon 2012-2016**

**Tableau 7 Hygrométries(%RH) maximales et minimales enregistrées par les 10 capteurs hygrothermiques TGP-4500 Tinytag sous 10 plaques de suivi POPReptiles au Val Suzon**

Capteurs	Humidité Max % RH				Total Humidité Max	Humidité Min % RH				Total Humidité Min
	2013	2014	2015	2016		2013	2014	2015	2016	
DG	100	100	100	100	100	11	0	0	0	0
HI	100	100	100	100	100	0	7	0	0	0
KN	100	100	100	100	100	15	15	13	28	13
TO	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0
N21	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0
N24	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0
N28	100	100	100	100	100	12	15	0	0	0
N3	100	100	100	100	100	9	7	7	12	7
N31	100	100	100	100	100	15	0	0	0	0
N8	100	100	100	100	100	9	9	8	9	8
Total général	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0

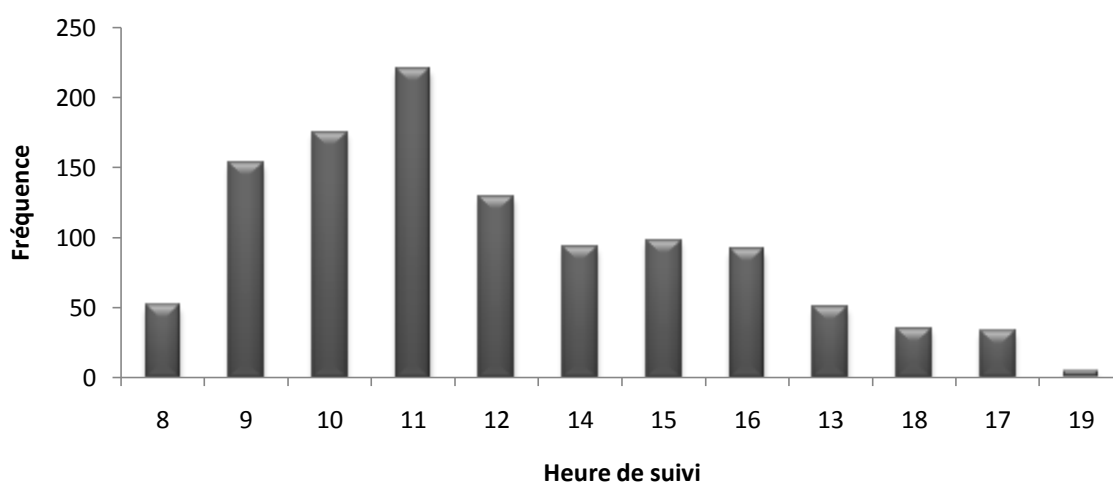
**Tableau 8 Hygrométries(%RH) moyennes ( $\pm$ SD) enregistrées par les 10 capteurs hygrothermiques TGP-4500 Tinytag sous 10 plaques de suivi POPReptiles au Val Suzon**

Capteurs	Températures moyennes (°C)				Écarts-types (SD) des T°C				Total T°C moyenne ( $\pm$ SD)	
	2013	2014	2015	2016	2013	2014	2015	2016		
DG	82.9	82.6	79.4	91.8	$\pm$ 23.1	$\pm$ 24.4	$\pm$ 25.9	$\pm$ 18.2	82.3	$\pm$ 24.4
HI	89.1	84.1	82.9	83.8	$\pm$ 21	$\pm$ 23	$\pm$ 24.2	$\pm$ 24.9	84.7	$\pm$ 23.5
KN	91.3	91.0	89.8	94.7	$\pm$ 16	$\pm$ 17.7	$\pm$ 19.4	$\pm$ 12.3	91.6	$\pm$ 16.8
TO	61.7	65.1	47.0	47.7	$\pm$ 38.8	$\pm$ 38.1	$\pm$ 46	$\pm$ 31.2	55.3	$\pm$ 40
N21	76.1	73.1	72.2	78.6	$\pm$ 24.6	$\pm$ 28.6	$\pm$ 29.6	$\pm$ 27.5	74.5	$\pm$ 28
N24	63.8	63.7	69.1	69.3	$\pm$ 38.3	$\pm$ 34.6	$\pm$ 36.5	$\pm$ 39.4	66.6	$\pm$ 37.2
N28	92.6	90.6	90.1	89.6	$\pm$ 16.3	$\pm$ 17.7	$\pm$ 19.4	$\pm$ 23	90.6	$\pm$ 19.3
N3	74.5	75.7	75.2	77.3	$\pm$ 26	$\pm$ 27	$\pm$ 27.9	$\pm$ 25.9	75.7	$\pm$ 26.8
N31	87.7	86.0	65.3	66.8	$\pm$ 21	$\pm$ 24.8	$\pm$ 37.2	$\pm$ 35.4	76.0	$\pm$ 32.4
N8	77.9	75.7	72.8	74.6	$\pm$ 24.9	$\pm$ 26.6	$\pm$ 26.3	$\pm$ 24	75.0	$\pm$ 25.4
Total général	79.8	78.9	74.4	76.2	$\pm$ 28.1	$\pm$ 28.6	$\pm$ 32.6	$\pm$ 30.9	77.2	$\pm$ 30.3

### 2.3. Comparaison entre sites, à l'aide des plaques en caoutchouc :

Pour chaque année, comparer les moyennes annuelles entre elles à l'aide d'un test statistique. Si des différences significatives sont observées, hiérarchiser les moyennes entre elles pour chaque année. Comparer les hiérarchisations annuelles entre elles. Conclure sur les différences de variabilité entre sites.

S'il n'y a pas de différence significative, effectuer le calcul sur l'ensemble de la période 2012-2016. Comparer les moyennes entre sites. Conclure.



**Figure 10 Principales heures des Suivis POPReptiles 2012-2016.**

## Méthodes

L'ANOVA (analyse de variance) est un test statistique permettant d'identifier la significativité de certains facteurs sur la variance des données. Ici les facteurs années (2013, 2014, 2015, 2016) et plaques (6 plaques caoutchouc PUIS l'ensemble des 10 plaques) seront testés sur les données de températures & taux d'humidité de 10h00 à 10h59 les mois d'avril, correspondant à la période optimale et la plus fréquente des suivis (Figure 10). Les autres données sont écartées afin d'éviter la dispersion des données (trop de variation avec les données de 12h00 (zénith) ou 01h00 ou encore en janvier et juillet par exemple). L'AIC est un indice qui décrit l'ajustement du modèle aux données et représente un compromis entre déviance expliquée et nombre de paramètres utilisés dans le modèle. Le modèle explicatif le plus parcimonieux (avec le plus faible AIC) sera choisi. S'il existe une différence de température et/ou taux d'humidité le test *post hoc* de Tukey ou test DSH (différence significative honnête) de Tukey, permettra d'effectuer une comparaison multiple en une seule étape, pour évaluer quelles moyennes sont significativement différentes l'une de l'autre. Le logiciel R est utilisé pour les analyses statistiques (R Development Core Team, 2011).

## Résultats

Températures:

Il n'y a pas d'effet significatif de l'année sur les températures sur les 6 plaques caoutchouc :  $F=0.003$ ,  $MeanSq=35.23$ ,  $SumSq=35$ ,  $DL=1$ ,  $Pr(>F) = 0.186$ ; ou même des 10 plaques :  $F=0.096$ ,  $MeanSq=1.735$ ,  $SumSq=2$ ,  $DL=1$ ,  $Pr(>F) = 0.757$ .

Il y a cependant un effet plaque:  $F=0.096$ ,  $MeanSq=147.73$ ,  $SumSq=1330$ ,  $DL=9$ ,  $Pr(>F) = 8.632 \cdot 10^{-12}$ .

Un effet combiné des facteurs plaque x années est à noter:  $F=3.723$ ,  $MeanSq=62.45$ ,  $SumSq=562$ ,  $DL=9$ ,  $Pr(>F) = .000127$  \*\*\*. Mais cet effet combiné n'améliore pas le modèle avec un effet plaque seulement ( $AIC:3344 > 3360$ ).

Seul l'effet site est donc à considérer ici, comme affectant les températures.

Le test *posthoc* de Tukey permet de déterminer les plaques qui sont significativement différentes entre elles (Tableau 9). Les températures des autres paires de plaques testées ne sont pas significativement différentes ( $p > 0.05$ )

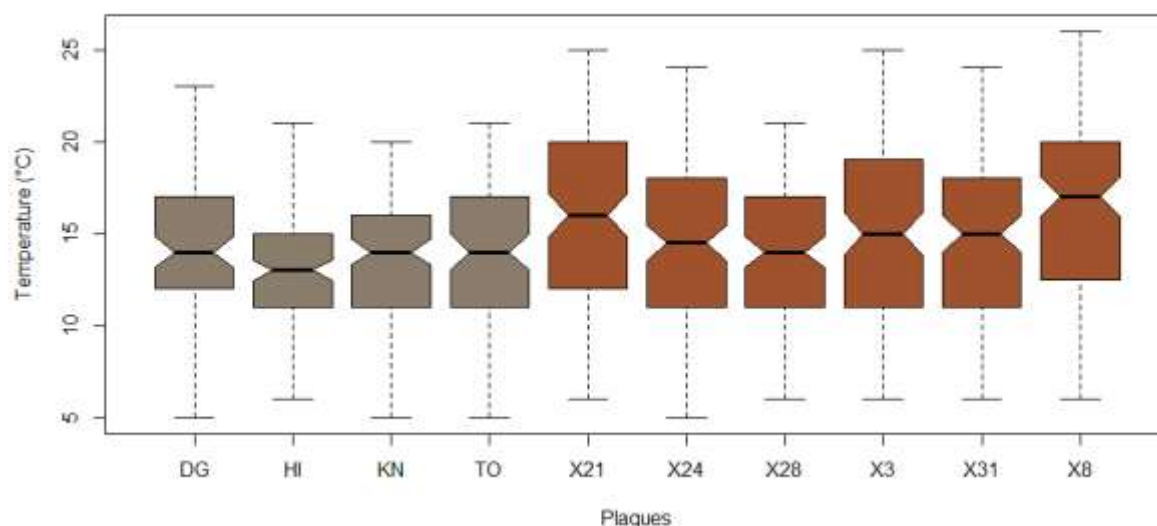
**Tableau 9 Tests de Tukey de comparaison multiple des moyennes de températures pour 10 plaques de suivi POPReptiles Val Suzon 2013-2016. Seules les paires de sites significativement différentes ( $p < 0.05$ ) sont présentées**

Plaques	diff	lwr	upr	p adj
N8-HI	3.5806452	1.91527336	5.24601697	0.0000001
N8-KN	3.0080645	1.34269271	4.67343632	0.0000006
N21-HI	2.9919355	1.32656368	4.65730729	0.0000007
N21-KN	2.4193548	0.75398303	4.08472664	0.0001967
N3-HI	2.4112903	0.74591852	4.07666213	0.0002112

<b>TO-N8</b>	-2.5876802	-4.3810115	-0.7943489	0.0002271
<b>N8-N28</b>	2.2177419	0.55237013	3.88311374	0.0010843
<b>N8-DG</b>	2.3521505	0.5533434	4.15095768	0.0014944
<b>N31-HI</b>	2.1129032	0.44753142	3.77827503	0.0024764
<b>N8-N24</b>	2.0241935	0.35882174	3.68956535	0.0048126
<b>TO-N21</b>	-1.9989705	-3.7923018	-0.2056392	0.0154559
<b>N3-KN</b>	1.8387097	0.17333787	3.50408148	0.0173466

## Conclusion

Il existe quelques plaques qui sont plus froides (ex. HI, TO) et d'autres plus chaudes (8, 21) relativement à d'autres (Figure 11), et ce correspondant aux influences microlocales du milieu. Ces conditions microlocales ont plus d'effet sur les températures ambiantes enregistrées sous les plaques que la nature des plaques.



**Figure 11 Enregistrements 2013-2016 des températures en avril de 10h00 à 10h59 des 10 capteurs hygrothermiques TGP-4500 Tinytag sous 10 plaques de suivi POPReptiles au Val Suzon. Avec 4 plaques métalliques (gris) et 6 plaques caoutchouc (marron)**

Humidité:

Il n'y a pas d'effet significatif de l'année sur l'hygrométrie sur les 6 plaques caoutchouc:  $F=0.002$ ,  $MeanSq=362.3$ ,  $SumSq=362$ ,  $DL=1.516$ ,  $Pr(>F) = 0.211$ .

ou même des 10 plaques :  $F=0.002$ ,  $MeanSq=0.58$ ,  $SumSq=1$ ,  $DL=1$ ,  $Pr(>F) = 0.966$ .

Il y a cependant un effet plaque:  $F=41.45$ ,  $MeanSq=88806$ ,  $SumSq=9867$ ,  $DL=9$ ,  $Pr(>F) = 2e-16$  \*\*\*.

Un effet combiné des facteurs plaque x années est à noter:  $F=34.657$ ,  $MeanSq=6541$ ,  $SumSq=58867$ ,  $DL=9$ ,  $Pr(>F) = 2e-16$  \*\*\*.

Mais cet effet combiné n'améliore pas le modèle avec un effet plaque seulement (AIC:6461>6198). Seul l'effet site est donc à considérer ici comme affectant les taux d'humidité.

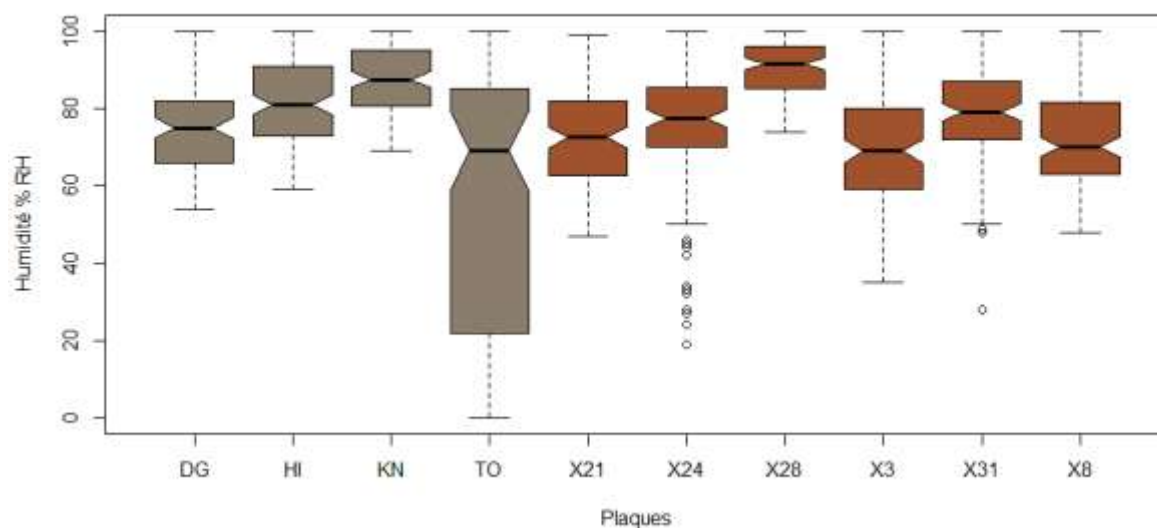
Le test *posthoc* de Tukey permet de déterminer les plaques qui sont significativement différentes entre elles (Tableau 9). Les hygrométries des autres paires de plaques testées ne sont pas significativement différentes ( $p>0.05$ )

**Tableau 10 Test de Tukey de comparaison multiple des moyennes hygrométriques pour 10 plaques de suivi POPReptiles Val Suzon 2013-2016. Seules les paires de sites significativement différentes ( $p<0.05$ ) sont présentées**

Plaques	diff	lwr	upr	p adj
TO-DG	-18.635209	-25.788222	-11.482197	0.0000001
X28-DG	15.0241935	8.31529617	21.7330909	0.0000001
TO-HI	-24.401338	-31.089813	-17.712864	0.0000001
TO-KN	-30.441661	-37.130135	-23.753186	0.0000001
X21-KN	-14.483871	-20.695103	-8.2726389	0.0000001
X3-KN	-17.459677	-23.670909	-11.248445	0.0000001
X8-KN	-15.379032	-21.590264	-9.1678002	0.0000001
X21-TO	15.95779	9.26931547	22.6462645	0.0000001
X24-TO	18.4335964	11.7451219	25.1220709	0.0000001
X28-TO	33.6594029	26.9709284	40.3478774	0.0000001
X3-TO	12.9819835	6.29350902	19.670458	0.0000001
X31-TO	22.2561771	15.5677026	28.9446516	0.0000001
X8-TO	15.0626287	8.37415418	21.7511032	0.0000001
X28-X21	17.7016129	11.4903809	23.9128449	0.0000001
X28-X24	15.2258065	9.01457441	21.4370385	0.0000001
X3-X28	-20.677419	-26.888651	-14.466187	0.0000001
X8-X28	-18.596774	-24.808006	-12.385542	0.0000001
X24-KN	-12.008065	-18.219297	-5.7968325	0.0000001
X3-HI	-11.419355	-17.630587	-5.2081228	0.0000003
X31-X28	-11.403226	-17.614458	-5.1919938	0.0000003
KN-DG	11.8064516	5.09755424	18.515349	0.0000013
X8-HI	-9.3387097	-15.549942	-3.1274776	0.0000919
X31-X3	9.2741935	3.06296151	15.4854256	0.0001076
X28-HI	9.2580645	3.04683248	15.4692966	0.0001119
X21-HI	-8.4435484	-14.65478	-2.2323163	0.0007435
X31-KN	-8.1854839	-14.396716	-1.9742518	0.0013048
X8-X31	-7.1935484	-13.40478	-0.9823163	0.0094831
X31-X21	6.2983871	0.08715506	12.5096191	0.0437103

## Conclusion

Il existe quelques plaques qui sont plus humides (ex. TO, 3) et d'autres, plus sèches (ex. 28) relativement à d'autres (Figure 11), et ce correspondant aux influences microlocales du milieu. Ces conditions microlocales ont plus d'effet sur l'humidité ambiante enregistrée sous les plaques que la nature des plaques.



**Figure 12** Enregistrements 2013-2016 du taux d'humidité en avril de 10h00 à 10h59 des 10 capteurs hygrothermiques TGP-4500 Tinytag sous 10 plaques de suivi POPReptiles au Val Suzon. Avec 4 plaques métalliques (gris) et 6 plaques caoutchouc (marron)

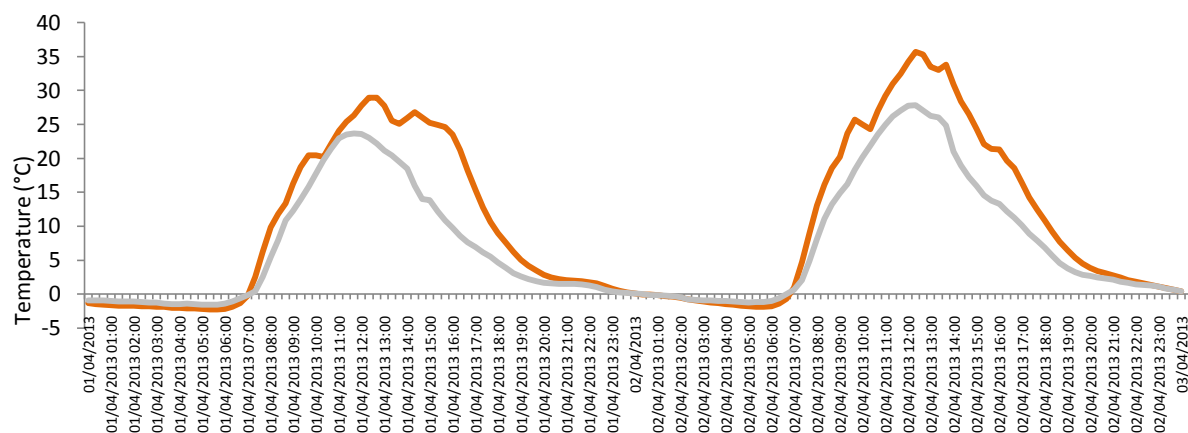
## 2.4. Comparaison entre types de plaques :

Pour chaque site, comparer les mini/ maxi et moyenne de température et d'humidité entre les plaques en caoutchouc et les plaques métalliques, sur l'ensemble de la période 2012-2016.

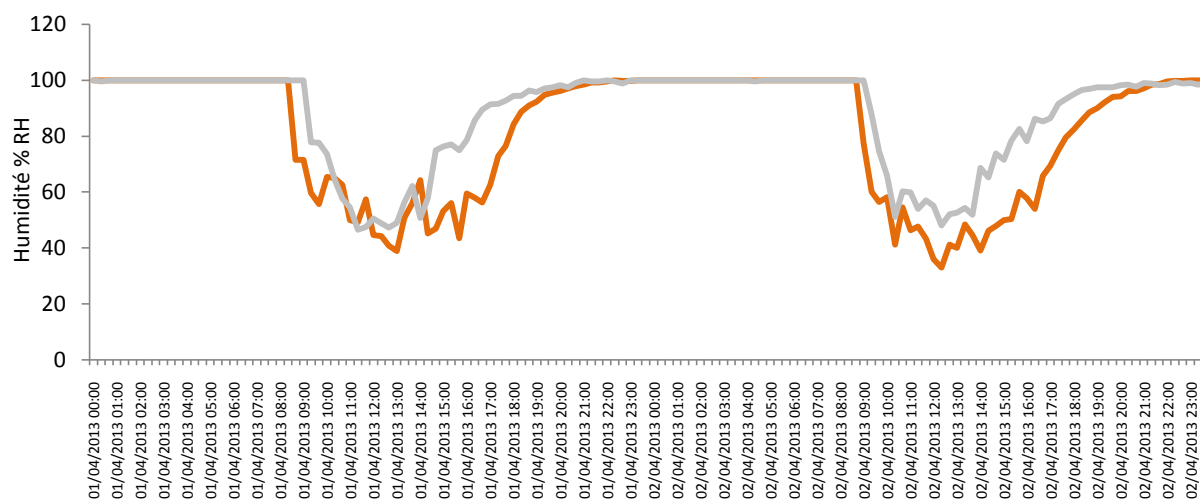
Tester s'il existe une différence significative entre les matériaux. Conclure.

### Méthode

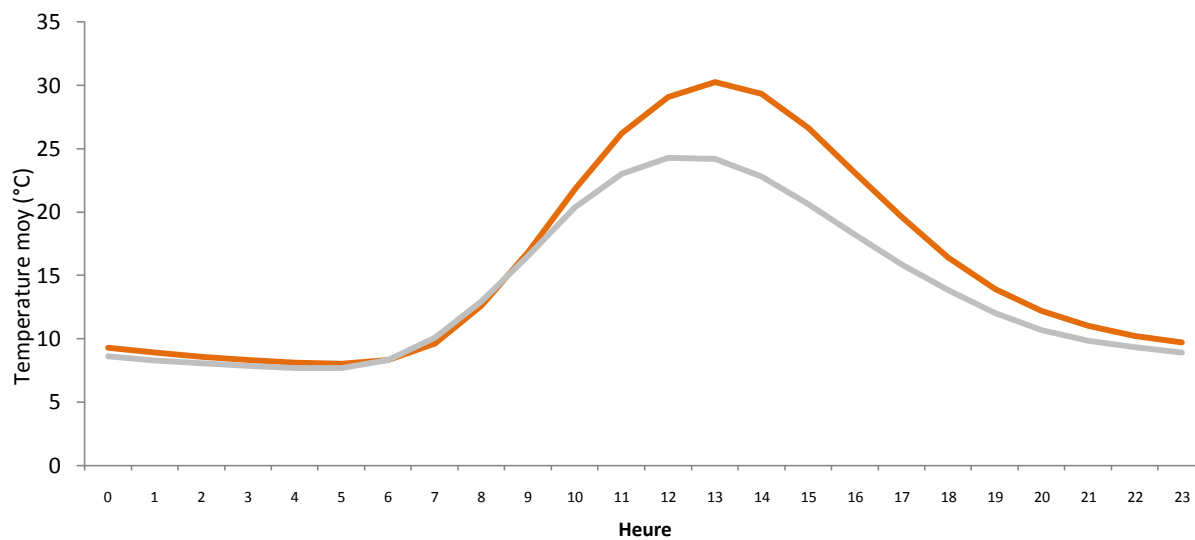
Les différences de températures puis d'hygrométrie seront testées par le test de Student (t-test; (R Development Core Team, 2011) par sites entre les plaques caoutchouc et métalliques (4 sites: 26-27, 46, 114, 212). Les données sont paramétriques (tests de normalité graphique et Shapiro-Wilk) et appariées (car paires de données enregistrées simultanément par les capteurs Tinytags), optimisant la puissance du test malgré la variabilité de l'ensemble des données journalières de 2013 à 2016.



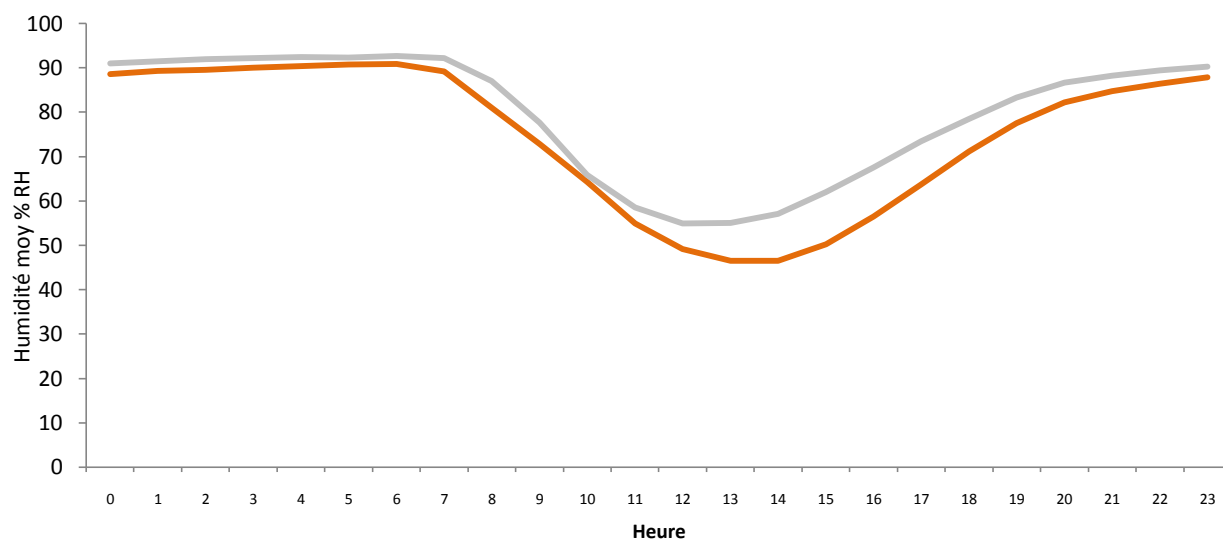
**Figure 13 Exemple aléatoire de températures relevées par les capteurs hygrothermiques TGP-4500 Tinytag sous la plaque métallique TO (courbe grise) et caoutchouc 24 (marron) du site 26-27 (suivi POPReptiles au Val Suzon)**



**Figure 14 Exemple aléatoire du taux d'humidité relevé par les capteurs hygrothermiques TGP-4500 Tinytag sous la plaque métallique TO (courbe grise) et caoutchouc 24 (marron) du site 26-27 (suivi POPReptiles au Val Suzon)**



**Figure 15 Températures moyennes des mois d'avril relevées par les capteurs hygrothermiques TGP-4500 Tinytag sous 5 plaques métalliques (courbe grise) et 5 caoutchouc (marron) (suivi POPReptiles au Val Suzon 2013-2016)**



**Figure 16 Humidité moyenne des mois d'avril relevée par les capteurs hygrothermiques TGP-4500 Tinytag sous 5 plaques métalliques (courbe grise) et 5 caoutchouc (marron) (suivi POPReptiles au Val Suzon 2013-2016)**



**Tableau 11 Températures moyennes ( $\pm$ SD), maximales et minimales enregistrées par les 10 capteurs hygrothermiques TGP-4500 Tinytag sous les 4 plaques métalliques (M) et 4 caoutchouc (C) de 4 sites comparatifs (+2 caoutchouc seules). Suivi POPReptiles, Val Suzon 2013-2016**

Sites	T°C moyennes (°C)		Écart-types (SD) des T°C		T°C Max		T°C Min		Id plaque		t-test	df	p-value	Diffmoy T°C
	C	M	C	M	C	M	C	M	C	M				
32	14.8		±10.9		70.2		-	5.9	28					
46	15.4	13.7	±13.1	±10	74.6	64.9	8.5	8.7	31	KN	123.82		2.20E-16	1.7
114	16.5	13.8	±13.9	±11.2	70.6	60.4	7.1	8.5	8	HI	114.46	31697	2.20E-16	2.5
202	16.5		±15		75.4		-	7.8	21					
212	16.1	13.9	±12.4	±12	64.2	68.3	6.3	7.3	3	DG	108.41	47864	2.20E-16	1.3
26-27	15.5	13.0	±13.1	±9.6	72.1	59.1	5.3	6.8	24	TO	69.35	15387	2.20E-16	2.9
Total général	15.8	13.6	±13.1	±10.7	75.4	68.3	-	-						

**Tableau 12 Humidités moyennes ( $\pm$ SD), maximales et minimales enregistrées par les 10 capteurs hygrothermiques TGP-4500 Tinytag sous les 4 plaques métalliques (M) et 4 caoutchouc (C) de 4 sites comparatifs (+2 caoutchouc seules). Suivi POPReptiles, Val Suzon 2013-2016**

Sites	Humidité moy % RH		Écart-types (SD)		Humidité max		Humidité min		Id plaque		t-test	df	p-value	Diffmoy %
	C	M	C	M	C	M	C	M	C	M				
32	90.6		±19.3		100		0.0		28					
46	76.0	91.6	±32.4	±16.8	100	0	0.0	13.7	31	KN	170.14	95153	2.20E-16	15.6
114	75.0	84.7	±25.4	±23.5	100	0	8.2	0.0	8	HI	147.02	31697	2.20E-16	10.3
202	74.5		±28.0		100		0.0		21					
212	75.7	82.3	±26.8	±24.4	100	0	7.2	0.0	3	DG	166.72	47864	2.20E-16	7.1
26-27	66.6	55.3	±37.2	±40.0	100	0	0.0	0.0	24	TO	16.795	15387	2.20E-16	5.6
Total général	76.5	78.3	±29.7	±31.0	100	0	0.0	0.0						

## Résultats

Température:

Les plaques en caoutchouc noires sont significativement plus chaudes que les plaques métalliques (les 4 sites et 4 t-test avec p-values <0.0001); avec 1.3 à 2.9°C en plus selon les sites. Tableau 11). En effet, les quatre plaques noires chauffent plus vite que les quatre plaques métalliques, et se refroidissent plus lentement après le zénith (ex. inertie de la Figure 13 & 15). À noter qu'au zénith en été les plaques noires caoutchouc atteignent des températures allant jusqu'à 75°C, probablement létales pour des animaux (Tableau 11).

Humidité:

Les plaques en caoutchouc noires sont significativement plus sèches que les plaques métalliques (les 4 sites et 4 t-test avec p-values <0.0001); avec 5.6 à 15.5% d'humidité en moins selon les sites. Tableau 12). En effet, les quatre plaques noires chauffent plus vite que les quatre plaques métalliques ce qui assèche l'air ambiant sous les plaques, et restent plus chaudes après le zénith (ex. Figure 13 & Figure 14).

## Conclusion

La nature des matériaux des plaques affecte significativement les conditions micro-environnementales thermiques et hygrométriques sous les plaques. Les plaques noires de caoutchouc chauffent plus vite et s'assèchent plus vite que les plaques métalliques. Les 1.5 mm d'épaisseur de métal se refroidissent plus vite que les 8 mm de caoutchouc des plaques de carrier, après le zénith.

Par conséquent, y a-t-il une différence d'attractivité dans les matériaux, est la question qui vient directement après ces résultats. La réponse est dans la partie 3.2.

## 2.5. Évaluation des conditions d'utilisation optimale théorique du dispositif par les reptiles :

Après avoir recherché dans la bibliographie les plages de températures optimales de vie de chaque espèce, caractériser pour chacune d'elles la durée annuelle potentielle d'utilisation des 10 plaques équipées d'enregistreurs.

### Méthode

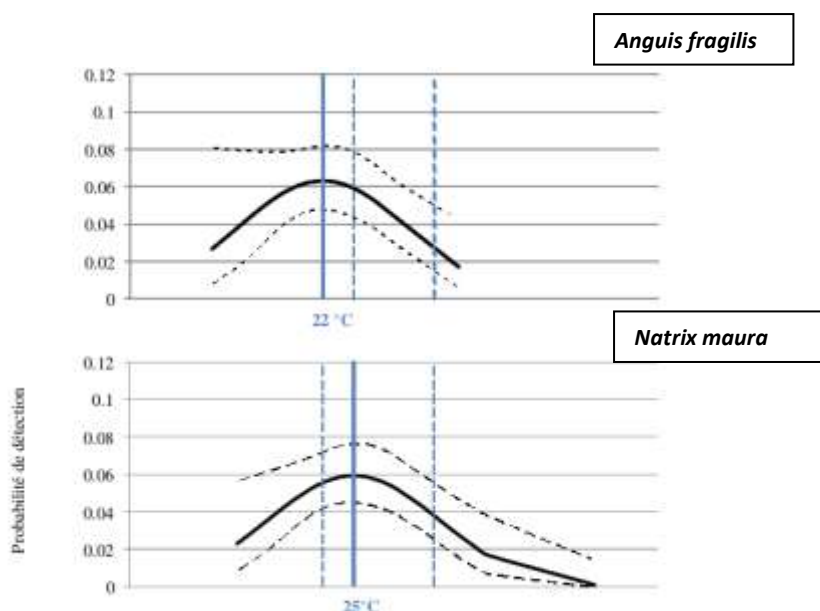
Mots clés utilisés dans les recherches Google Scholar, Researchgate, ISI Web of Knowledge: "Therm\* preference\*, temperature, thermoregulation, reptile, squamat\*, Vipera, Natrix, Lacert\*, Zootaxa, snake, serpent, lézard, lizard, census". Demande auprès des éditeurs du Bulletin de la Société herpétologique de France sans accès libre en ligne.

## Discussion

Bien que les données de cette étude ne permettent pas de mettre en évidence de *preferendum* d'utilisation des plaques (3.4), la littérature décrit certaines espèces qui présentent un optimum de détectabilité. Cet optimum correspond à la plage de température où les animaux choisissent de thermoréguler sous les plaques-abris. Par exemple, les orvets sont majoritairement observés sous les plaques à une température avoisinant les 22 °C, alors que c'est 25 ou 35 °C pour d'autres squamates (non présents au Val Suzon. Figure 17; Marchand, 2012). Un autre exemple chez des serpents observés au Val Suzon, avec *Hierophis viridiflavus* et *Zamenis longissimus*, qui peuvent partager le même écosystème, mais ont des comportements thermiques bien différents. La couleuvre d'Esculape s'observant dans des abris plus frais (ayant fait un compromis risque de prédation/thermorégulation différent de la couleuvre verte et jaune et avec une stratégie de chasse différente (embuscade vs. poursuite relativement); Le Henaff, 2006; Lelièvre *et coll.*, 2011). Mais ces préférences thermiques d'une espèce peuvent varier selon les conditions physiologiques individuelles, saisonnales et environnementales. (Lelièvre *et al.*, 2011; Truter, Van Wyk & le Fras Nortier Mouton, 2014; Ortega & Pérez-Mellado, 2017). Les préférences thermiques d'une espèce sont donc contexte dépendant. Conséquemment, peu d'autres études décrivant les préférences thermiques des reptiles qui nous intéressent ont été portées à notre connaissance.

## Conclusion

Il est pertinent de rechercher les conditions thermiques d'une espèce et de s'y tenir pour un suivi monospécifique. Mais pour un suivi plurispécifique comme dans le Val Suzon, il est indispensable de couvrir une large diversité de températures (comme effectué dans les suivis 2012-2013) pour ne pas biaiser la détection de certaines espèces au comportement thermique particulier (ex. couleuvre d'Esculape).



**Figure 17** Probabilités de détections en fonction des températures sous plaques pour deux squamates. L'optimum thermique de détection est marqué par une barre bleue (Marchand, 2012)



### III. PROBABILITÉ D'OCCURRENCE ET FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX

#### 3. Analyse du croisement des données espèces observées et température/hygrométrie :

##### 3.1. Organisation et analyse des données :

Faire une jointure entre le fichier des données d'observations des espèces par plaque et celui des enregistrements de température et d'humidité issus des Tinytags: pour chaque observation positive ou nulle, prendre l'heure la plus proche dans le fichier du Tinytag et les données qui s'y rapportent.

Voir Fichier: "NouvDonneesSuivisPOPReptiles.XLS"

##### 3.2. Efficacité comparative des matériaux :

Pour chaque site, comparer le nombre d'observations positives entre la plaque métallique et la plaque en caoutchouc, toutes espèces confondues, pour l'ensemble de la période 2012-2016. Comparer les résultats obtenus à l'aide d'un test. Conclure sur le niveau d'attractivité des plaques, selon le matériau utilisé.

##### Méthode

Les inventaires et les courbes de richesse cumulée des 7 plaques métalliques (BN, DG, HI, JV, KN, TO, W) seront comparés à 7 plaques caoutchouc (plaques 2, 3, 7, 8, 18, 24, 30) des 5 sites (sites 26-27, 46, 48, 114, 212). Les courbes de richesse cumulée permettent d'estimer le nombre d'espèces inventoriées effectivement et le nombre d'espèces sur site théorique si les suivis continuaient (c.-à-d.. par extrapolation avec un échantillonnage infini). Les courbes seront obtenues avec la fonction 'specaccum' du logiciel de statistiques R (R Development Core Team, 2011). Elles donnent une bonne estimation de la biodiversité spécifique d'une zone et la représentativité de l'effort d'échantillonnage. La richesse cumulée extrapolée sera estimée par méthode de ré-échantillonnage aléatoire (Palmer, 1990) (bootstrap, jackknife de degré 1 et 2 et méthode de Chao). Ces 4 méthodes d'estimation prennent en compte différemment les occurrences d'espèces rares et l'importance du nombre de répliquas (Chao, 1987; Colwell & Coddington, 1994) avec la fonction 'specpool' de R. La différence de

diversité inventoriée avec les plaques métalliques VERSUS caoutchouc pourra être appréciée. L'inventaire par les transects de chacun des 5 sites sera ajouté à la comparaison.

**Tableau 13** Nombre d'espèces recensées et estimation du nombre d'espèces par extrapolation (méthodes chao, jackknife de degré 1 & 2 et bootstrap  $\pm$ SD) basée sur 24 suivis POPReptiles avec toutes les 49 plaques caoutchouc des 17 sites avec transects, et les 7 métalliques et 7 caoutchouc et 5 transects de 5 sites. Val Suzon 2012-2016

	NB spp identifiées	chao	jack1	jack2	bootstrap
49 plaques caoutchouc	8	8.96 $\pm$ 1.8	9.91 $\pm$ 1.3	10	9.02 $\pm$ 0.9
7 plaques métalliques	6	10.30 $\pm$ 6.9	8.86 $\pm$ 1.6	10.7	7.2 $\pm$ 0.9
7 plaques caoutchouc	4	5.91 $\pm$ 3.6	5.91 $\pm$ 1.3	6.9	4.9 $\pm$ 0.7
17 transects	4	4 $\pm$ 0	4 $\pm$ 0	4	4.24 $\pm$ 0.5
5 transects	3	3 $\pm$ 0.4	3.95 $\pm$ 0.9	4.9	3.4 $\pm$ 0.6

## Résultats

Au total, les suivis 2012-2016 ont permis le contact de 8 espèces différentes. Les plaques métalliques ne permettent pas un inventaire qualitatif équivalent aux plaques caoutchouc (Tableau 13, Tableau 22). En effet 6 espèces sont contactées avec les 7 plaques métalliques contre 4 avec 7 plaques caoutchouc. Les suivis des 7 plaques métalliques permettent d'inventorier 6 espèces (Figure 18). L'exhaustivité serait attendue après 30 suivis. L'extrapolation estime à 8-10 espèces inventoriées via ce réseau de plaques contre 6-7 espèces inventoriées avec les plaques caoutchouc (Figure 18).

Au moment des suivis sur ces 5 sites, deux espèces n'ont pas été contactées avec les plaques caoutchouc, mais seulement avec les métalliques (*Zamenis longissimus* (Couleuvre d'Esculape) et *Hierophis viridiflavus* (Couleuvre verte et jaune)). Cependant ces espèces ne sont pas réfractaires à l'utilisation des plaques caoutchouc, car elles furent contactées parmi les 12 autres sites suivis avec plaques caoutchouc (Tableau 14).

Sur ces 5 sites, les transects ne permettent d'inventorier que 3 espèces de reptiles (*Lacerta bilineata*, *Podarcis muralis*, *Vipera aspis*) (Tableau 13, Figure 19). Deux observations d'orvet ont été faites sur les autres transects.

## Discussion

Il est clair que les conditions microclimatiques sous les plaques sont directement influencées par les matériaux (8 mm de caoutchouc versus 1.5 mm de métalliques). Les plaques caoutchouc chauffent plus vite, assèchent plus vite le microhabitat ambiant, et se refroidissent plus lentement. Ceci doit influencer le choix des espèces pour ces différentes plaques comme abris ou site d'insolation. Cette différence de microhabitat est confirmée par d'autres études comparatives (Graitson & Naulleau, 2005; Marchand, 2012). L'attractivité des plaques est donc différente selon les espèces thermophiles, héliophiles ou cryptiques.

Il faut aussi noter que l'utilisation des différentes plaques sera influencée par la physiologie des individus. En effet, les besoins thermiques changent en fonction du cycle

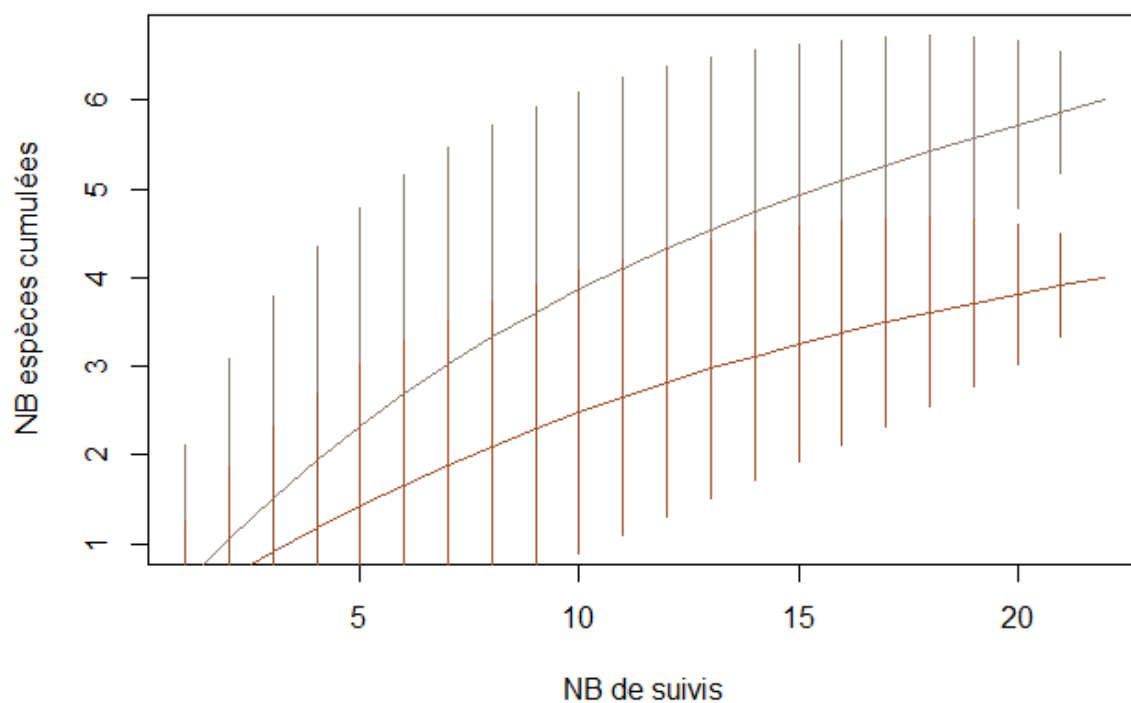
(gamétogénèse, embryogénèse, digestion (Lelievre *et coll.*, 2010); une observation de vipère aspic femelle sera peut-être par exemple, l'unique opportunité de contact de l'espèce, car en période gestation, (Beaune, obs. pers)).

Attention cependant aux conclusions hâtives qui voudraient qu'ici les couleuvres d'Esculape (*Zamenis longissimus*) et vertes et jaunes (*Hierophis viridiflavus*) ne se trouvent pas sous les plaques caoutchouc, car elles furent contactées parmi les plaques caoutchouc des autres 12 sites du Val Suzon. Une seule couleuvre d'Esculape a été contactée avec les plaques métalliques, mais 2 furent contactés parmi les 12 autres sites avec caoutchouc (Tableau 14). De conclure que pour les suivis de squamates, le faible nombre de contacts par suivi fait que la moindre observation extraordinaire biaise et modifie tous les résultats de l'analyse (Kéry & Schmidt, 2008; Marchand, 2012). L'interprétation ici, selon laquelle certaines espèces préfèrent certaines plaques-abris n'est pas robuste. De même sur ces 5 sites, l'exhaustivité de l'inventaire n'est pas atteinte (plateau des courbes de richesse cumulé non obtenu) et donc de conclure que les plaques métalliques sont plus efficaces est aussi à considérer avec prudence.

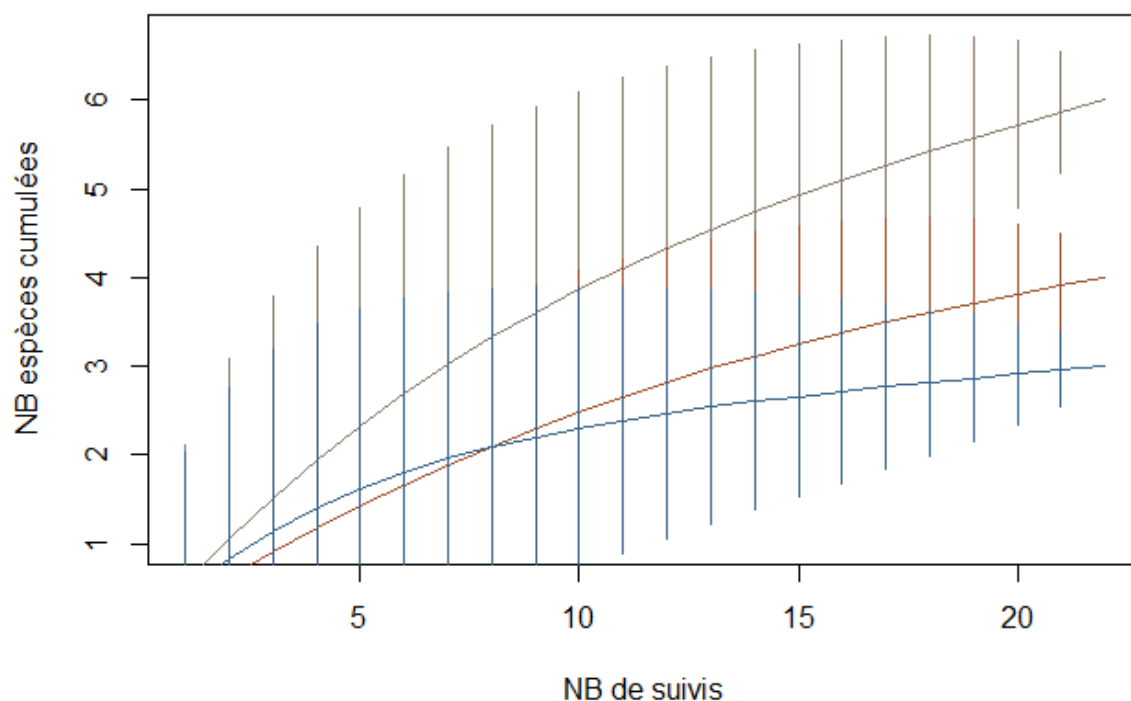
À ce jour, le protocole POPReptiles conseille les plaques caoutchouc ou 'tapis de carrière' (Lourdais & Miaud, 2016). Plusieurs études comparatives montrent qu'ils permettent d'inventorier plus d'espèces que les plaques de métalliques et fibrociment (Marchand, 2012; Caron, Renault & Le Galliard, 2010). Cependant une diversité des plaques-abris est suggérée pour optimiser le contact de certaines espèces (Graitson & Naulleau, 2005). À noter que des études antérieures classent les plaques métalliques comme les plus efficaces (lorsque le choix est proposé, les Reptiles (*Anguis fragilis*, *Zootoca vivipara*, *Natrix helvetica* et *Vipera berus*) fréquentent, toutes espèces confondues, les plaques dans les proportions suivantes : 57 % pour les tôles métalliques, 28 % pour le bois, 10 % pour le fibrociment et 5 % pour le caoutchouc; (Graitson & Naulleau, 2005)) d'autres préconisent un mélange des matériaux pour varier les espèces attirées (Lourdais & Miaud, 2016; Marchand, 2012; Caron, Renault & Le Galliard, 2010; Graitson & Naulleau, 2005).

## Conclusion

Les plaques métalliques semblent ici plus attractives que les plaques caoutchouc. Les plaques caoutchouc sont à ce jour les plaques préconisées par le protocole POPReptiles. Mais un mélange des matériaux est envisageable si équilibré entre les sites pour permettre une analyse statistique intersites (exemple: 5 caoutchouc + 1 métallique/site).



**Figure 18** Courbe de richesse cumulée (diversité en reptiles) par suivis de 7 plaques caoutchouc (courbe marron) et des 7 plaques métalliques (grise). Suivi POPReptiles de 5 sites du Val Suzon 2012-2016. Les barres verticales= SD. écart-type



**Figure 19** Courbe de richesse cumulée (diversité en reptiles) par suivis des 5 transects (courbe bleue), de 7 plaques caoutchouc (marron) et des 7 plaques métalliques (grise). Suivi POPReptiles de 5 sites du Val Suzon 2012-2016. Les barres verticales= SD. écart-type



**Tableau 14** Nombre de contacts par espèces et par méthodes: les 49 plaques caoutchouc (49C) et les 17 transects (17T) sur les 17 sites; les 7 plaques métalliques (7M), 7 plaques caoutchouc (7C) et les 5 transects (5T) sur 5 sites. Suivis POPReptiles 2013-2016

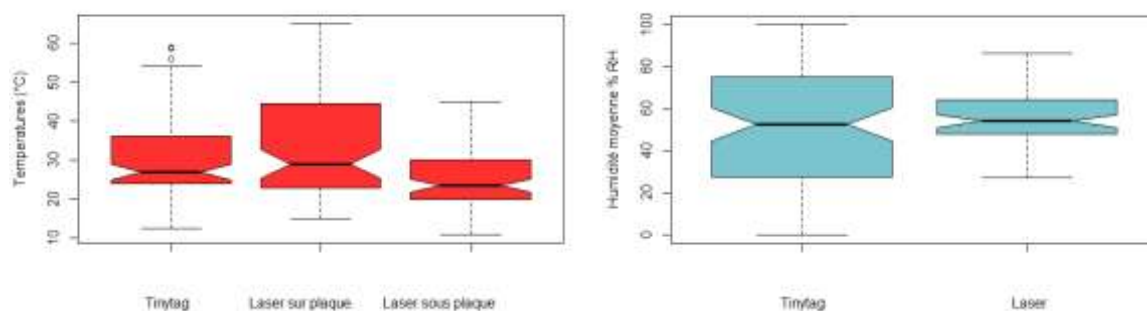
Méthode	<i>Lacerta bilineata</i>	<i>Podarcis muralis</i>	<i>Coronella austriaca</i>	<i>Hierophis viridiflavus</i>	<i>Zamenis longissimus</i>	<i>Natrix helvetica</i>	<i>Vipera aspis</i>	<i>Anguis fragilis</i>
49C	3	4	2	9	2	2	1	54
7C	1	3	0	0	0	0	1	3
7M	3	1	0	4	1	0	1	2
17T	21	9	0	0	0	0	2	2
5T	18	5	0	0	0	0	1	0

### 3.3. Comparaison des méthodes de mesures :

Comparer les températures et l'humidité relevées à l'aide du thermomètre à visée laser à celles enregistrées par les Tinytag. Tester les écarts entre les deux méthodes. Conclure.

#### Analyses statistiques

Le test apparié de Student (t-test, (R Development Core Team, 2011)évaluera les différences de prise de températures puis d'hygrométrie (données paramétriques (tests de normalité graphique et Shapiro-Wilk)) par thermomètre/hygromètre portatif à visée laser et par les enregistreurs Tinytag. Les données sont appariées, car la prise de données laser est presque simultanée ( $\pm 10$  minutes maximum) à une donnée de l'enregistreur TGP-4500Tinytag (c.-à-d. enregistrement continu et automatique toutes les 20 minutes).



**Figure 20** Température (rouge) et hygrométrie (bleu) enregistrées pendant les suivis avec enregistreurs Tinytag et thermomètres/hygromètres portatifs à visée laser. Suivi POPReptiles de 5 sites du Val Suzon 2015-2016. N = 89.

## Résultats

Les températures enregistrées par les TGP-4500Tinytagsont significativement différentes de celles enregistrées quasi simultanément par les thermomètres/hygromètres portatifs à visée laser.

Les températures enregistrées par les Tinytags sont en moyenne supérieures de 5.1 °C aux températures relevées sous les plaques par visée laser ( $t = 6.6031$ ,  $df = 87$ ,  $p\text{-value} = 3.058e-09$ ).  $IC_{95}$  des différences = [3.6 - 6.6].

Les températures enregistrées par les Tinytags sont en moyenne inférieures de 2.1 °C aux températures relevées sur les plaques par visée laser ( $t = -2.3564$ ,  $df = 83$ ,  $p\text{-value} = 0.02081$ ).  $IC_{95}$  des différences = [0.3 - 4.0].

*Pour informations:*

*Les températures sur plaque sont en moyenne supérieures de 7.5°C à la température sous plaque ( $t = -9.8042$ ,  $df = 83$ ,  $p\text{-value} = 1.614e-15$ ).  $IC_{95}$  des différences = [6.0 - 9.0].*

Il n'y a pas de différence significative entre les données hygrométriques des Tinytags et celles relevées par visée laser ( $t = -1.1397$ ,  $df = 66$ ,  $p\text{-value} = 0.2585$ ) (Figure 20).

## Conclusion

Les données issues des deux méthodes de relevé ne doivent pas être fusionnées pour des études d'influences des facteurs températures.

La grande variabilité des données d'hygrométrie ne permet pas de détecter une différence significative entre les méthodes de relevé. Mais il est probable qu'une différence existe. En effet, dès que la plaque est soulevée pour prendre la mesure laser, une circulation d'air semble rafraîchir la température d'environ 5.1°C par rapport aux conditions des enregistrements des Tinytags où les plaques ne sont pas soulevées et donc sans circulation d'air. De la même manière, l'hygrométrie doit être affectée par le bref soulèvement des plaques.

### 3.4. Amplitude de température et d'humidité observées *in situ* :

Calculer ou indiquer pour chaque espèce de reptile, les valeurs de température et d'humidité mini/moyenne/maxi à laquelle elle a été observée. Pour cela, choisir les valeurs de température des Tinytags ou du thermomètre portatif (ou les deux), suivant les conclusions de la question précédente.

Donner, quand c'est possible, un intervalle de confiance, ou expliquer pourquoi on ne peut pas le calculer. Tester si les différences de température moyenne de thermorégulation sont significativement différentes. Si c'est le cas, hiérarchiser les espèces. Comparer les valeurs observées à celles trouvées dans la bibliographie, traitées dans la question 2.5. Conclure.

## Méthodes

Les valeurs de températures obtenues par les enregistreurs Tinytags et les thermomètres/hygromètres à visée laser sont ici séparées (cf. ci-dessus 3.3). Les données (températures ambiantes, Tinytag, laser sur & sous-plaque et hygrométrie Tinytag & laser)

sont non-paramétriques et sont comparées entre espèces par le test de Kruskal-Wallis (rank sum test, (R Development Core Team, 2011). Si une différence significative est détectée, un test *posthoc* de Dunn (Z) permettra de détecter les paires différentes. Les effectifs étant très différents, les p-values seront ajustés par la méthode Benjamini-Hochberg pour éviter les résultats faux-positifs (Zar, 2010).

Intervalle de confiance :  $IC_{95} = [Q1-Q3]$  dans les tableaux de résultats.

## Résultats

Les températures ambiantes de détection des différentes espèces semblent différentes (Kruskal-Wallis chi-squared = 16.728, df = 7, p-value = 0.01924; Figure 21, Tableau 15). Cependant les tests *posthoc* par paires ne révèlent pas de différence significative après ajustement des p-values (Tableau 16).

Les températures sous les plaques enregistrées par les Tinytags lors des détections des différentes espèces ne semblent pas différentes (Kruskal-Wallis chi-squared = 4.0632, df = 6, p-value = 0.6681; N. B. Les effectifs sont très faibles pour plusieurs espèces, Tableau 17).

Les températures sous les plaques relevées par les thermomètres à visée laser lors des détections des différentes espèces ne semblent pas différentes (Kruskal-Wallis chi-squared = 11.213, df = 7, p-value = 0.1296; N. B. Les effectifs sont très faibles pour plusieurs espèces, Tableau 18).

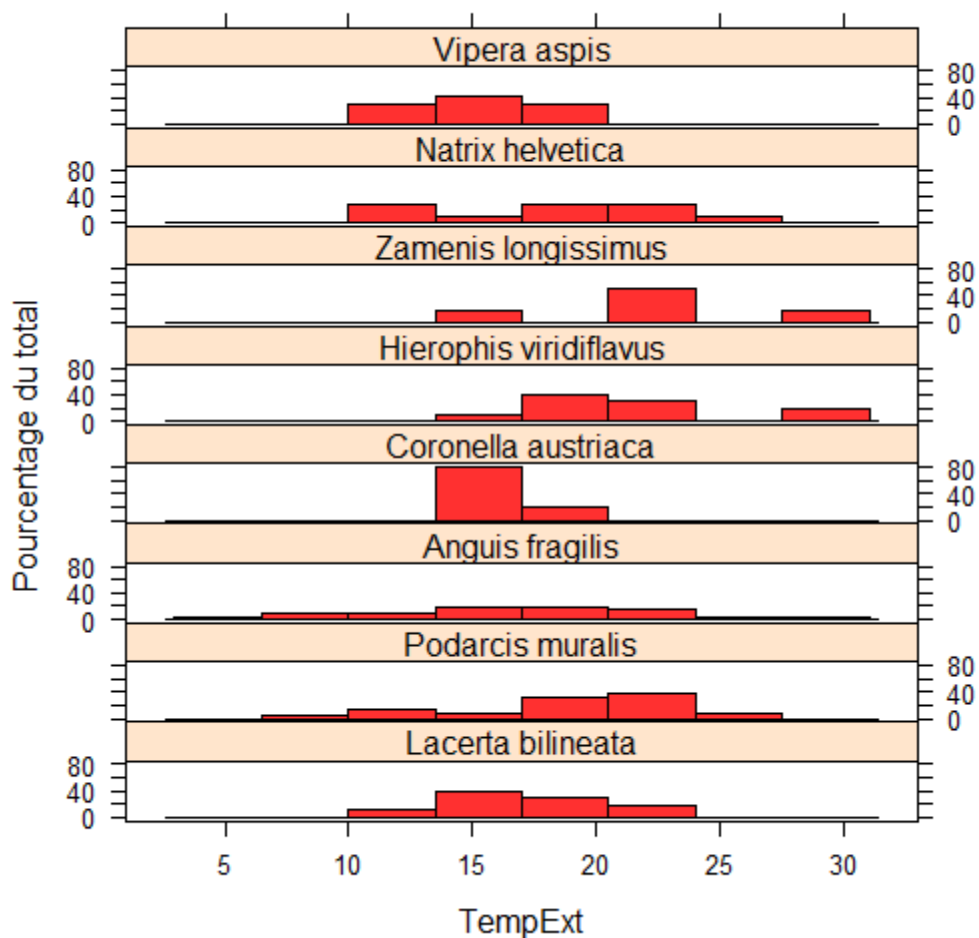
Les températures sur les plaques relevées par les thermomètres à visée laser lors des détections des différentes espèces ne semblent pas différentes (Kruskal-Wallis chi-squared = 13.981, df = 7, p-value = 0.05151; N. B. Les effectifs sont très faibles pour plusieurs espèces, Tableau 19).

L'hygrométrie sous les plaques enregistrées par les Tinytags lors des détections des différentes espèces ne semble pas différente (Kruskal-Wallis chi-squared = 5.2696, df = 6, p-value = 0.5097; N. B. Les effectifs sont très faibles pour plusieurs espèces, Tableau 20).

L'hygrométrie relevée par visée laser lors des détections des différentes espèces ne semble pas différente (Kruskal-Wallis chi-squared = 11.844, df = 7, p-value = 0.1058; N. B. Les effectifs sont très faibles pour plusieurs espèces, Tableau 21).

**Tableau 15 Températures (°C) ambiantes externes d'observations de reptiles relevées pendant les saisons de suivis POPReptiles du Val Suzon 2012-2016**

Spp	invalid	mean	SD	min	Q1	median	Q3	max
<i>Anguis fragilis</i>	26	16.9	5.9	4.0	13.3	17.3	20.9	28.0
<i>Coronella austriaca</i>	5	17.4	1.5	16.5	16.5	17.0	17.0	20.0
<i>Hierophis viridiflavus</i>	10	21.8	4.3	16.0	20.0	20.5	22.8	29.0
<i>Lacerta bilineata</i>	38	17.2	3.8	10.0	15.0	17.0	20.0	24.0
<i>Natrix helvetica</i>	11	18.5	4.5	13.0	14.0	20.0	21.0	27.0
<i>Podarcis muralis</i>	29	18.9	4.7	9.0	18.0	20.0	22.0	27.0
<i>Vipera aspis</i>	7	15.4	2.9	12.0	13.0	15.0	17.5	19.5
<i>Zamenis longissimus</i>	5	22.4	4.8	17.0	21.0	21.0	23.0	30.0



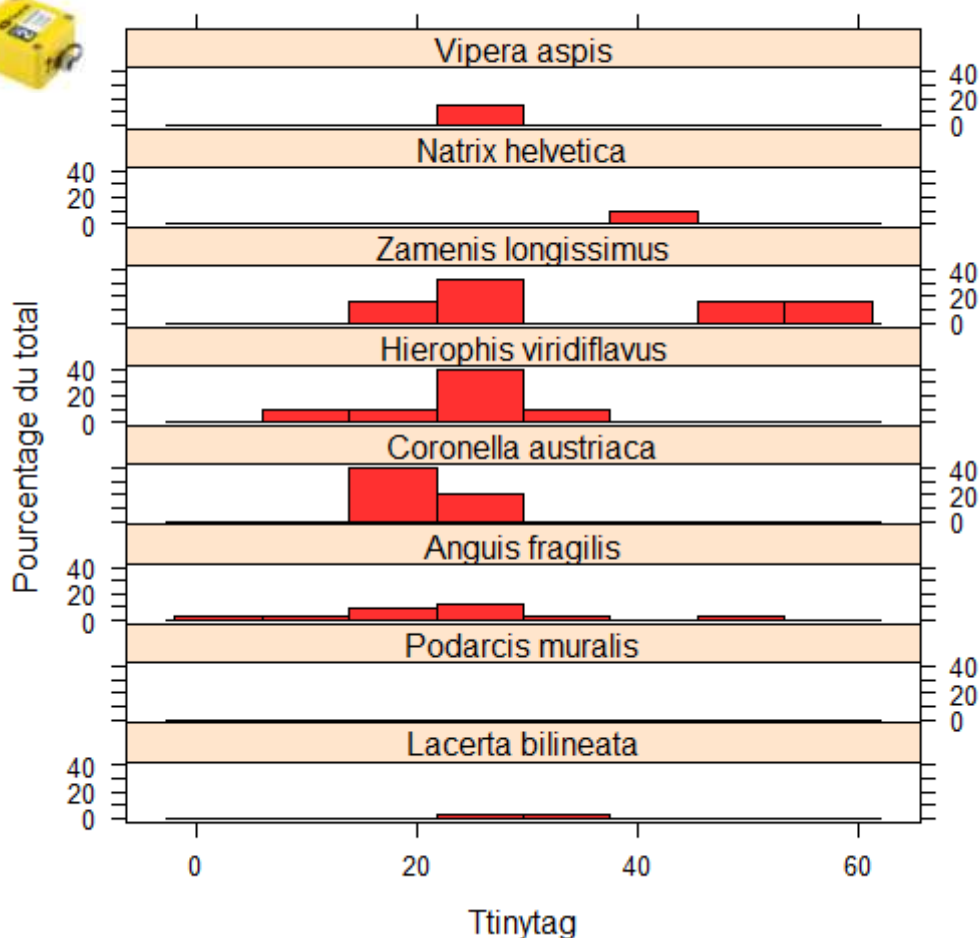
**Figure 21 Températures (°C) ambiantes externes d'observations de reptiles relevées pendant les saisons de suivis POPReptiles du Val Suzon 2012-2016**

**Tableau 16 Multiple comparaison (Kruskal-Wallis) de Dunn avec p-values ajustées par la méthode Benjamini-Hochberg des températures ambiantes externes d'observations de reptiles relevées pendant les saisons de suivis POPReptiles du Val Suzon 2012-2016**

Comparison	Z	P.unadj	P.adj
<i>Anguis fragilis</i> - <i>Coronella austriaca</i>	0.1865552	0.85200938	0.91754857
<i>Anguis fragilis</i> - <i>Hierophis viridiflavus</i>	-2.3772656	0.01744153	0.12209068
<i>Coronella austriaca</i> - <i>Hierophis viridiflavus</i>	-1.7813583	0.07485393	0.20959101
<i>Anguis fragilis</i> - <i>Lacerta bilineata</i>	0.1515289	0.87955855	0.91213479
<i>Coronella austriaca</i> - <i>Lacerta bilineata</i>	-0.1104278	0.91207014	0.91207014
<i>Hierophis viridiflavus</i> - <i>Lacerta bilineata</i>	2.5974465	0.00939198	0.08765843
<i>Anguis fragilis</i> - <i>Natrix helvetica</i>	-0.7057767	0.48032702	0.61132529
<i>Coronella austriaca</i> - <i>Natrix helvetica</i>	-0.6395624	0.52245715	0.63603479
<i>Hierophis viridiflavus</i> - <i>Natrix helvetica</i>	1.4435579	0.14886338	0.29772675
<i>Lacerta bilineata</i> - <i>Natrix helvetica</i>	-0.8540798	0.39306075	0.55028506
<i>Anguis fragilis</i> - <i>Podarcis muralis</i>	-1.5348069	0.12483126	0.29127293
<i>Coronella austriaca</i> - <i>Podarcis muralis</i>	-1.0441711	0.29640621	0.43680916
<i>Hierophis viridiflavus</i> - <i>Podarcis muralis</i>	1.2818176	0.19990664	0.34983661
<i>Lacerta bilineata</i> - <i>Podarcis muralis</i>	-1.8375444	0.06612957	0.23145351
<i>Natrix helvetica</i> - <i>Podarcis muralis</i>	-0.4537302	0.65002304	0.75836021
<i>Anguis fragilis</i> - <i>Vipera aspis</i>	1.2070206	0.22742423	0.37458108
<i>Coronella austriaca</i> - <i>Vipera aspis</i>	0.722185	0.47018077	0.62690769
<i>Hierophis viridiflavus</i> - <i>Vipera aspis</i>	2.8379527	0.00454039	0.12713096
<i>Lacerta bilineata</i> - <i>Vipera aspis</i>	1.1558334	0.24774932	0.38538783
<i>Natrix helvetica</i> - <i>Vipera aspis</i>	1.5880711	0.11227026	0.28577884
<i>Podarcis muralis</i> - <i>Vipera aspis</i>	2.2048281	0.02746616	0.1281754
<i>Anguis fragilis</i> - <i>Zamenis longissimus</i>	-2.1332183	0.03290682	0.13162728
<i>Coronella austriaca</i> - <i>Zamenis longissimus</i>	-1.7911203	0.07327399	0.22796351
<i>Hierophis viridiflavus</i> - <i>Zamenis longissimus</i>	-0.2868493	0.77422771	0.86713503
<i>Lacerta bilineata</i> - <i>Zamenis longissimus</i>	-2.2707803	0.02316028	0.12969759
<i>Natrix helvetica</i> - <i>Zamenis longissimus</i>	-1.4607124	0.14409439	0.31035714
<i>Podarcis muralis</i> - <i>Zamenis longissimus</i>	-1.2952009	0.19525092	0.36446838
<i>Vipera aspis</i> - <i>Zamenis longissimus</i>	-2.656816	0.00788825	0.11043546

**Tableau 17** Températures (°C) enregistrées par les TGP-4500 Tinytags lors d'observations de reptiles relevées pendant les saisons de suivis POPReptiles du Val Suzon 2013-2016

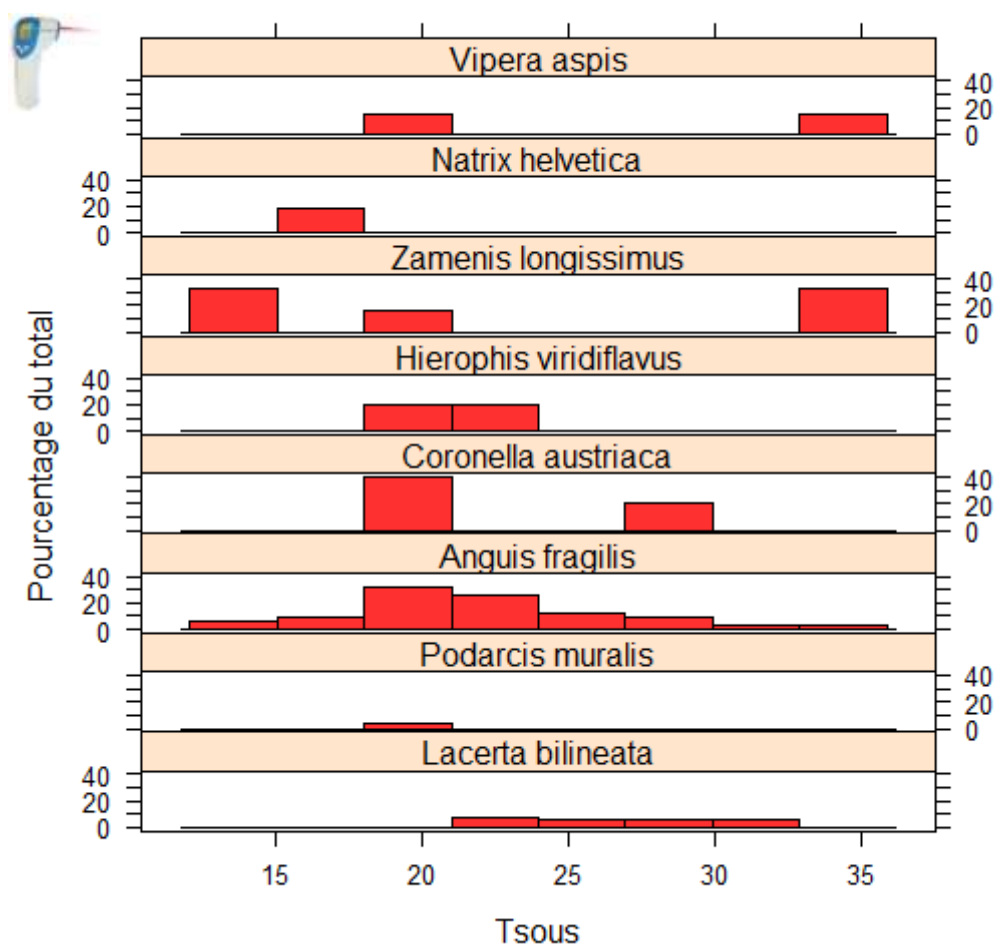
Spp	invalid	mean	SD	min	Q1	median	Q3	max
<i>Anguis fragilis</i>	11	21.8	12.4	0.4	17.3	22.6	26.2	48.3
<i>Coronella austriaca</i>	3	20.7	7.5	14.2	16.6	19.0	23.9	28.8
<i>Hierophis viridiflavus</i>	7	22.2	6.5	9.5	21.3	23.4	25.1	29.9
<i>Lacerta bilineata</i>	2	27.3	7.0	22.4	24.8	27.3	29.8	32.3
<i>Natrix helvetica</i>	1	44.5	NA	44.5	44.5	44.5	44.5	44.5
<i>Podarcis muralis</i>	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<i>Vipera aspis</i>	1	25.8	NA	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8
<i>Zamenis longissimus</i>	5	34.2	17.9	18.8	22.3	23.4	47.4	58.9



**Figure 22** Températures (°C) enregistrées par les TGP-4500 Tinytags sous les plaques lors d'observations de reptiles relevées pendant les saisons de suivis POPReptiles du Val Suzon 2013-2016

**Tableau 18** Températures (°C) sous les plaques relevées par visée laser lors d'observations de reptiles pendant les saisons de suivis POPReptiles du Val Suzon 2015-2016

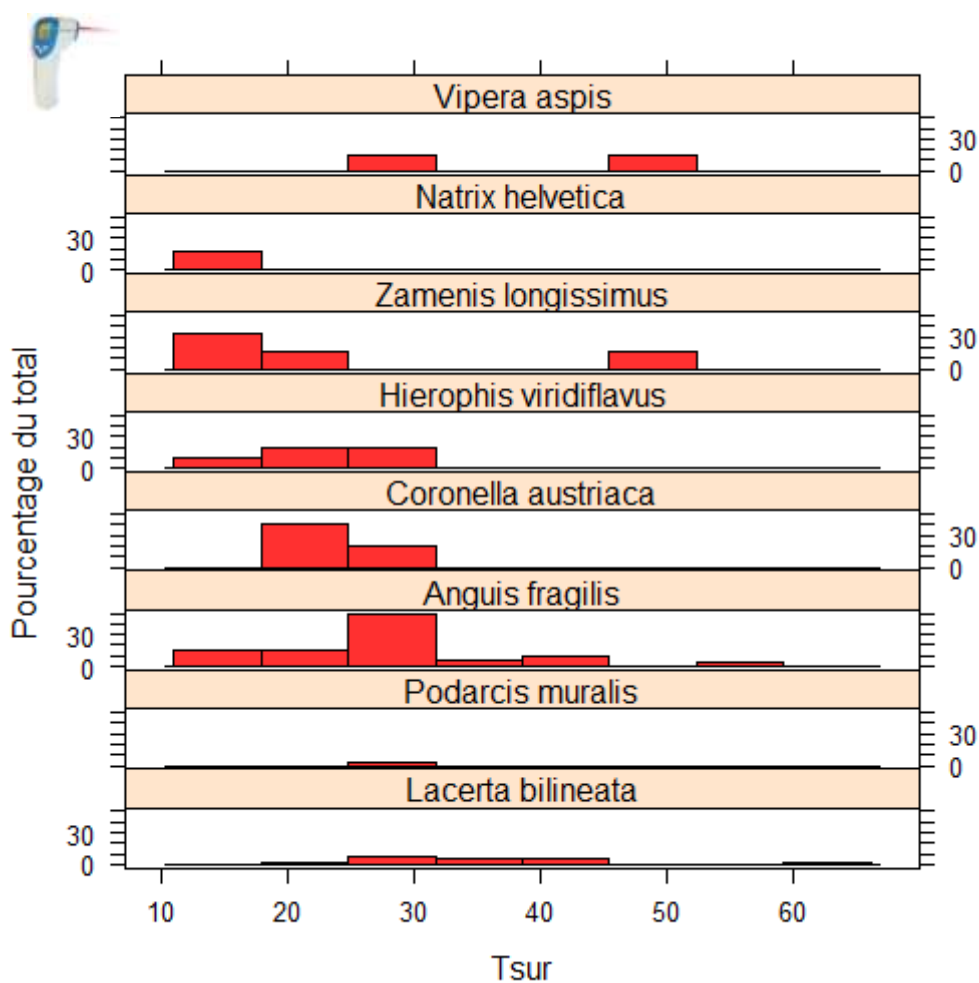
Spp	Nvalid	mean	SD	min	Q1	median	Q3	max
<i>Anguis fragilis</i>	32	22.2	4.8	13.0	19.0	22.0	25.0	35.0
<i>Coronella austriaca</i>	3	22.0	4.4	19.0	19.5	20.0	23.5	27.0
<i>Hierophis viridiflavus</i>	4	21.3	2.2	19.0	19.8	21.0	22.5	24.0
<i>Lacerta bilineata</i>	9	26.1	3.3	22.0	23.0	25.0	29.0	31.0
<i>Natrix helvetica</i>	2	16.5	0.7	16.0	16.3	16.5	16.8	17.0
<i>Podarcis muralis</i>	1	19.0	NA	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0
<i>Vipera aspis</i>	2	27.0	9.9	20.0	23.5	27.0	30.5	34.0
<i>Zamenis longissimus</i>	5	23.0	10.4	13.0	14.0	20.0	33.0	35.0



**Figure 23** Températures enregistrées par visée laser sous les plaques lors d'observations de reptiles relevées pendant les saisons de suivis POPReptiles du Val Suzon 2015-2016

**Tableau 19** Températures sur les plaques relevées par visée laser lors d'observations de reptiles pendant les saisons de suivis POPReptiles du Val Suzon 2015-2016

Spp	Nvalid	mean	SD	min	Q1	median	Q3	max
<i>Anguis fragilis</i>	32.0	27.1	8.9	13.0	23.5	26.0	30.0	53.0
<i>Coronella austriaca</i>	3.0	22.7	4.6	20.0	20.0	20.0	24.0	28.0
<i>Hierophis viridiflavus</i>	5.0	22.2	3.7	17.0	20.0	23.0	25.0	26.0
<i>Lacerta bilineata</i>	9.0	35.9	12.2	24.0	28.0	32.0	39.0	64.0
<i>Natrix helvetica</i>	2.0	16.5	0.7	16.0	16.3	16.5	16.8	17.0
<i>Podarcis muralis</i>	1.0	25.0	NA	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
<i>Vipera aspis</i>	2.0	37.5	17.7	25.0	31.3	37.5	43.8	50.0
<i>Zamenis longissimus</i>	4.0	25.0	14.9	15.0	16.5	19.0	27.5	47.0

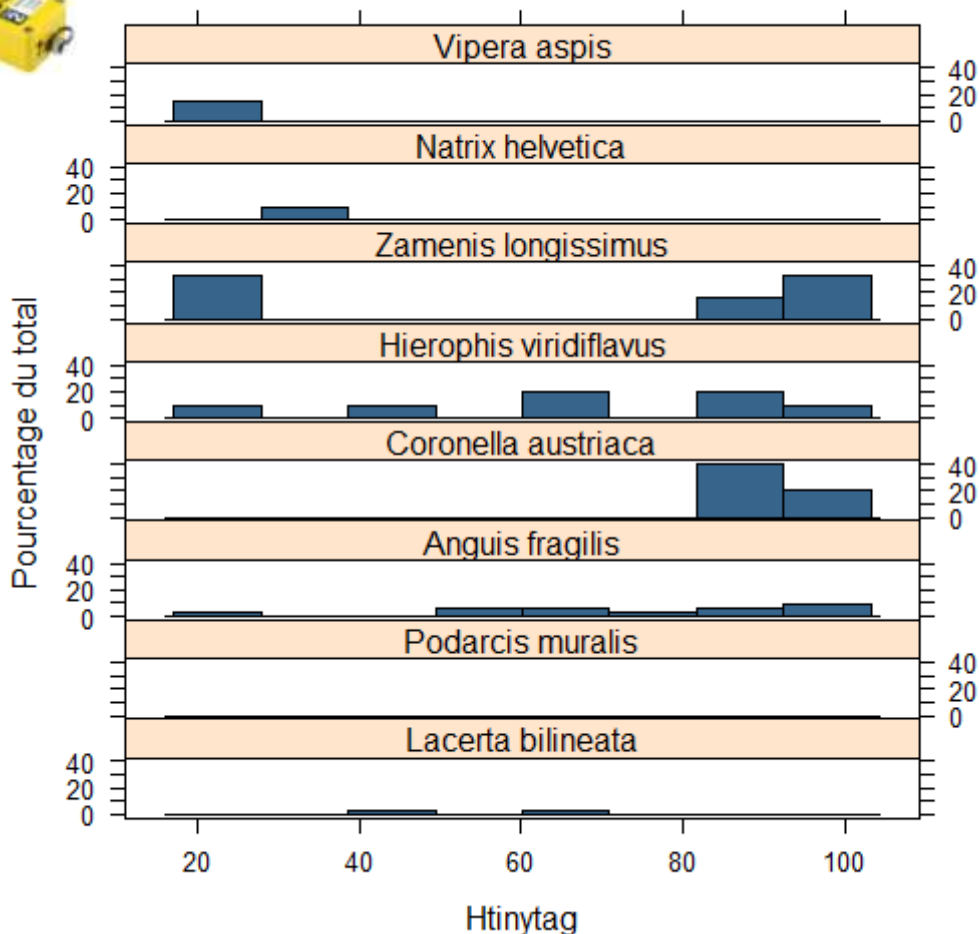


**Figure 24** Températures enregistrées par visée laser sur les plaques lors d'observations de reptiles relevées pendant les saisons de suivis POPReptiles du Val Suzon 2015-2016



**Tableau 20 Hygrométries enregistrées par les TGP-4500 Tinytags lors d'observations de reptiles relevées pendant les saisons de suivis POPReptiles du Val Suzon 2013-2016**

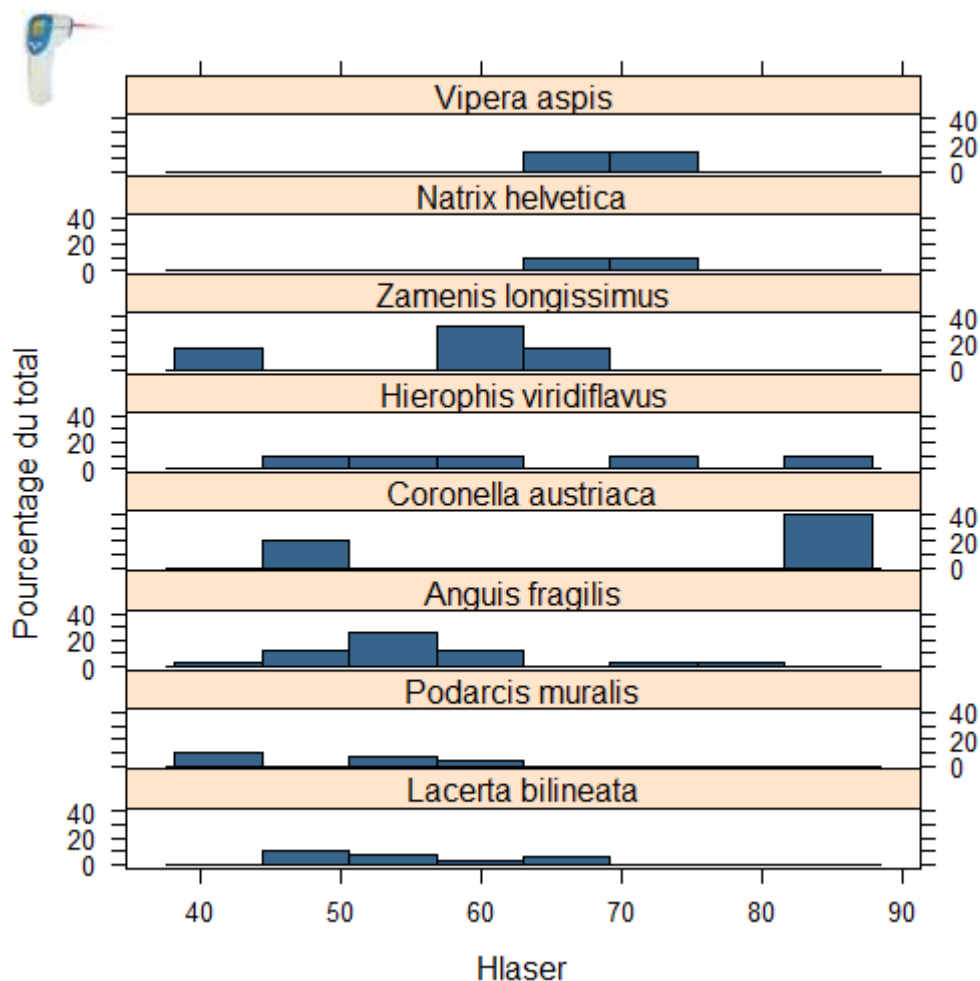
Spp	Nvalid	mean	SD	min	Q1	median	Q3	max
<i>Anguis fragilis</i>	11	74.9	23.2	24.9	60.9	77.2	94.7	100.0
<i>Coronella austriaca</i>	3	88.8	7.4	83.0	84.6	86.2	91.7	97.1
<i>Hierophis viridiflavus</i>	7	69.7	27.1	25.2	54.4	70.7	91.6	100.0
<i>Lacerta bilineata</i>	2	53.2	14.3	43.1	48.1	53.2	58.3	63.3
<i>Natrix helvetica</i>	1	35.0	NA	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0
<i>Podarcis muralis</i>	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<i>Vipera aspis</i>	1	25.2	NA	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2
<i>Zamenis longissimus</i>	5	64.7	38.6	20.3	25.4	84.9	92.7	100.0



**Figure 25 Températures enregistrées par les TGP-4500 Tinytags sous les plaques lors d'observations de reptiles relevées pendant les saisons de suivis POPReptiles du Val Suzon 2013-2016**

**Tableau 21 Hygrométries enregistrées par visée laser lors d'observations de reptiles relevées pendant les saisons de suivis POPReptiles du Val Suzon 2014-2016**

Spp	Nvalid	mean	SD	min	Q1	median	Q3	max
<i>Anguis fragilis</i>	19	55.8	8.9	41.0	51.0	55.0	59.0	80.0
<i>Coronella austriaca</i>	3	73.3	21.9	48.0	67.0	86.0	86.0	86.0
<i>Hierophis viridiflavus</i>	5	63.8	14.9	49.0	52.0	62.0	70.0	86.0
<i>Lacerta bilineata</i>	10	54.2	6.1	50.0	50.0	51.5	55.8	65.0
<i>Natrix helvetica</i>	2	68.0	4.2	65.0	66.5	68.0	69.5	71.0
<i>Podarcis muralis</i>	6	49.0	7.5	40.0	43.3	49.0	55.5	57.0
<i>Vipera aspis</i>	2	68.0	2.8	66.0	67.0	68.0	69.0	70.0
<i>Zamenis longissimus</i>	4	57.8	11.3	42.0	55.5	60.0	62.3	69.0



**Figure 26 Hygrométries enregistrées par visée laser lors d'observations de reptiles relevées pendant les saisons de suivis POPReptiles du Val Suzon 2014-2016**

## Conclusion

La grande amplitude de températures à laquelle sont observées certaines espèces (>20°C, cf. T°C min-max du Tableau 15) et les faibles effectifs d'observations de certaines espèces ne permettent pas d'estimer des plages de températures optimales d'observations et des différences entre espèces.

Un modèle linéaire généralisé testant les facteurs température ambiante, humidité ambiante, heure, présence de fourmis permettrait peut-être de déterminer les conditions de journées optimales d'observations (nombre d'espèces et nombre de squamates) dans les conditions du Val Suzon.

Voir partie 4.

## IV. PROPOSITIONS

### 4. Proposer des mesures d'amélioration du protocole :

#### 4.1. Proposer des mesures d'amélioration du protocole, dans l'optique de mieux repérer les espèces présentes (attractivité du dispositif et fréquences de passage) :

Après les analyses des parties 1, 2, 3 comme la partie "3.2. Efficacité comparative des matériaux :" l'efficacité des suivis par transects (chronophage), leur complémentarité par rapport aux plaques, et l'intérêt d'utiliser des plaques métalliques par rapport aux plaques caoutchouc est remis en question. Les suivis 2012-2013 ont-ils permis d'atteindre un recensement exhaustif des espèces de squamates sur la réserve? Une différence intersite est elle décelable? sont d'autres interrogations.

Par ailleurs, afin d'optimiser les suivis, il est nécessaire de tester les paramètres vent, pluie, soleil, température, année, etc. sur la détectabilité des animaux à vue et avec plaques. Pour éviter de sortir à certaines heures ou conditions météorologiques par exemple.

Les analyses suivantes permettraient de répondre à ces questions:

##### 4.1.1 Représentativité de la diversité spécifique avec les différentes méthodes de suivis:

###### Méthode

Le nombre d'espèces recensées et les courbes de richesse cumulée par les 17 transects et les 49 plaques caoutchouc seront comparées. Les apports des 7 plaques métalliques seront ajoutés à l'analyse pour apprécier leur représentativité avec 7 fois moins de plaques que les plaques caoutchouc. Les courbes de richesse cumulée permettent d'estimer le nombre d'espèces inventoriées effectivement et le nombre d'espèces sur site théorique si les suivis continuaient (c.-à-d. par extrapolation avec un échantillonnage infini). Les courbes seront obtenues avec la fonction 'specaccum' du logiciel de statistiques R (R Development Core Team, 2011). Elles donnent une bonne estimation de la biodiversité spécifique d'une zone et la représentativité de l'effort d'échantillonnage. La richesse cumulée extrapolée sera estimée par méthode de ré-échantillonnage aléatoire (Palmer, 1990) (bootstrap, jackknife de degré 1 et 2 et méthode de Chao ; ces 4 méthodes d'estimation prennent en compte différemment les occurrences d'espèces rares et l'importance du nombre de répliques

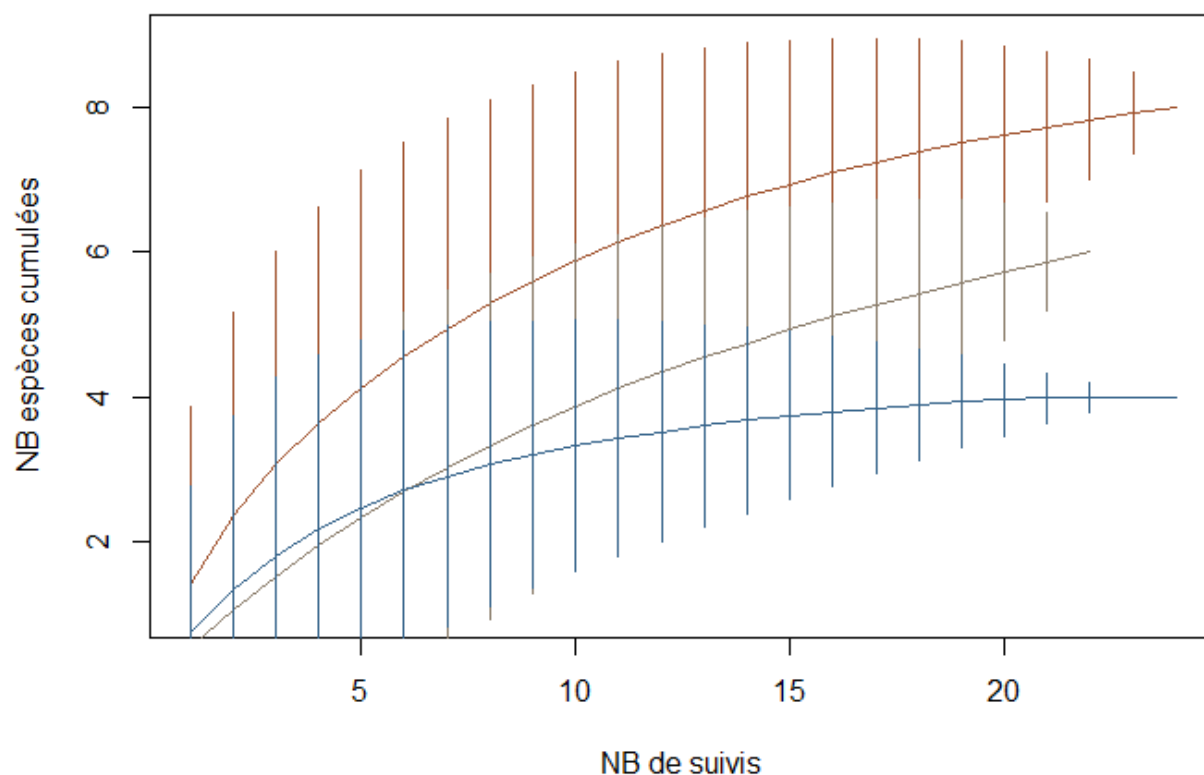
(Chao, 1987; Colwell & Coddington, 1994) avec la fonction 'specpool' de R. La différence de diversité inventoriée avec les trois méthodes pourra être appréciée.

## Résultats

Les transects ne permettent d'inventorier que 4 espèces de reptiles (*Anguis fragilis*, *Lacerta bilineata*, *Podarcis muralis*, *Vipera aspis*) (Figure 27). Une quinzaine de suivis sur les sites semblent permettre d'atteindre l'exhaustivité de ce qu'il est possible d'inventorier par cette méthode. L'extrapolation de la richesse cumulée n'estime pas à plus de quatre espèces inventoriées via les transects (Tableau 22).

Les suivis des 49 plaques caoutchouc permettent d'inventorier 8 espèces (Figure 27). L'exhaustivité serait atteinte après 40 suivis sur les sites. L'extrapolation estime à 9-10 espèces inventoriées via ce réseau de plaques (Tableau 22).

Les suivis des 7 plaques métalliques permettent d'inventorier 6 espèces (Figure 27). L'exhaustivité serait atteinte après 40 suivis. L'extrapolation estime à 8-10 espèces inventoriées via ce réseau de plaques sept fois moins important (Tableau 22).



**Figure 27** Courbe de richesse cumulée (diversité en reptiles) par suivis des 49 plaques caoutchouc (courbe marron), des 7 plaques métalliques (grise) et des 17 transects (bleue). Suivi POPReptiles de 18 sites du Val Suzon 2012-2016. Les barres verticales= SD. écart-type

**Tableau 22** Nombre d'espèces recensées et estimation du nombre d'espèces par extrapolation (méthode chao, jackknife de degré 1 & 2 et bootstrap  $\pm$ SD) basée sur 24 suivis POPReptiles avec toutes les 49 plaques caoutchouc, les 7 métalliques et tous les transects. Val Suzon 2012-2016

	NB spp identifiées	chao	jack1	jack2	bootstrap
<b>49 plaques caoutchouc</b>	8	8.96 $\pm$ 1.8	9.91 $\pm$ 1.3	10	9.02 $\pm$ 0.9
<b>7 plaques métalliques</b>	6	10.30 $\pm$ 6.9	8.86 $\pm$ 1.6	10.7	7.2 $\pm$ 0.9
<b>17 transects</b>	4	4 $\pm$ 0	4 $\pm$ 0	4	4.24 $\pm$ 0.5

## Discussion

Les plaques permettent d'estimer la diversité à 8-10 espèces de reptiles sur les sites. Une ou deux espèces supplémentaires pourraient être observées avec les plaques, parmi lesquelles potentiellement: *Lacerta agilis* (Lézard des souches), *Zootoca vivipara* (Lézard vivipare) et *Vipera berus* (Vipère péliade) qui englobent la RNR-Forêt d'Exception dans leur aire de répartition.

L'exhaustivité de l'inventaire serait atteinte après 40 suivis du réseau de plaques caoutchouc.

Certaines espèces sont difficilement détectables. Par exemple Kéry conclut que les sites de prospection doivent être visités au moins 12 fois sans détection de l'espèce pour *Vipera aspis*, 34 fois pour *Coronella austriaca*, et 26 fois pour *Natrix helvetica*, avant de pouvoir affirmer, avec 95% de probabilité de ne pas se tromper, que le site est inoccupé par l'espèce (Kery, 2002). C'est peut-être le cas sur la RNR-Forêt d'Exception avec la vipère péliade très difficilement détectable ailleurs (Graitson & Naulleau, 2005).

Les suivis à vue sur les 17 transects parcourus à 2km/h ne permettraient pas d'observer d'autres espèces déjà inventoriées par les plaques. De plus, le nombre d'espèces observables est deux fois moindre qu'avec les plaques: 4 espèces. L'extrapolation n'en estime pas plus. Cependant, certaines espèces ont plus facilement tendance à être observées à vue, par exemple les lézards verts et lézards des murailles (Tableau 14, Tableau 23); conclusion similaire à d'autres études comparatives (Marchand, 2012; Jayaneththi & Holloway, 2015; Le Galliard, Le Bris & Clobert, 2003; Graitson & Naulleau, 2005). Plusieurs serpents comme les coronelles et les couleuvres d'Esculape ne sont inventoriés qu'avec les plaques dans cette étude, fait confirmé par d'autres (Graitson & Naulleau, 2005; Guiller, 2009; Graitson, 2004).

## Conclusion

Les suivis à vue le long de transects parcourus à 2km/h ne permettent pas d'observer d'espèces supplémentaires que ce qu'apportent les suivis de plaques. Les suivis à vue sont donc complémentaires des suivis de plaques, mais ce suivi ne doit pas se faire au détriment des plaques.

Il serait conseillé donc de privilégier le nombre de plaques à inspecter plutôt que la longueur des transects dans le cas de sites à faible densité de reptiles comme le Val Suzon. Les

transects peuvent se limiter au parcours nécessaire pour rejoindre les plaques, mais pas plus. Le compromis temps/apport au suivi étant plutôt favorable aux plaques.

Grâce aux suivis 2012-2016, le nombre d'espèces de squamates est estimé théoriquement à 8-10 espèces. Soit potentiellement 2 espèces de plus de ce qui a réellement été comptabilisé. Cette exhaustivité du recensement (plateau de la courbe de richesse cumulée) serait atteinte avec au moins 6 jours de suivi supplémentaire chaque année, pendant au moins 3 ans.

**Tableau 23 Observations de *Lacerta bilineata* par la méthode des transects (tableau haut) et plaques (bas) sur les 17 sites pendant les saisons de suivi POPReptiles 2012-2016**

NB	22	32	46	48	51	114	126	128	135	202	208	212	16-1	16-2	26-27	31-32	ETAU	Total général
0	5	13	10	14	22	13	21	21	4	11	18	8	5	5	19	5	5	199
1										3	2	3						8
2											2	3			1			6
3												6						6
5												1						1
7												1						1
<b>Total général</b>	<b>5</b>	<b>13</b>	<b>10</b>	<b>14</b>	<b>22</b>	<b>13</b>	<b>21</b>	<b>21</b>	<b>4</b>	<b>14</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>20</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>221</b>

Nb	22	31	32	46	48	51	114	126	128	135	202	208	212	16-1	16-2	26-27	31-32	ETAU	Total général
0	15	5	72	83	66	47	115	67	63	24	38	69	117	15	15	93	15	15	934
1									1		2		4						7
<b>Total général</b>	<b>15</b>	<b>5</b>	<b>72</b>	<b>83</b>	<b>66</b>	<b>47</b>	<b>115</b>	<b>67</b>	<b>64</b>	<b>24</b>	<b>40</b>	<b>69</b>	<b>121</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>93</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>941</b>

#### 4.1.2 Différences intersites :

##### Méthode

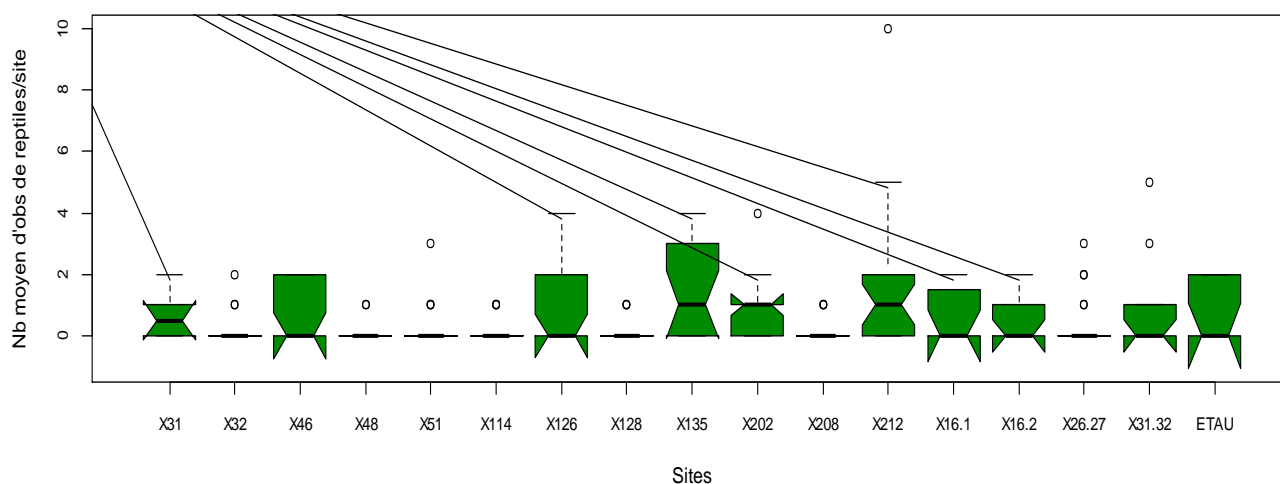
Le nombre moyen d'observation par sites ou probabilités d'occurrence sur les sites sont issues de données non paramétriques (tests de normalité graphique et Shapiro-Wilk). Le test de rang de Kruskal-Wallis est utilisé pour vérifier s'il existe une différence entre les sites (échantillons indépendants), suivi d'un test *posthoc* de Mann-Whitney entre les groupes s'il existe une différence significative montrée précédemment.

Le logiciel R est utilisé pour les analyses statistiques (R Development Core Team, 2011).

##### Résultats

Le nombre moyen d'observations entre les sites est différent (Kruskal-Wallis chi-squared = 47.05, df = 16, p-value = 6.689e-05, Figure 28). Ces différences concernent très peu de sites:

202 et 2012 (p-values < 0.05 avec sites 12, 48, 51, 114, 128, 208, 26-27). Mais le site 212 comporte 6 plaques à insolation.



**Figure 28** Fréquence d'observations de reptiles pour les 17 sites. Suivis POPReptiles, Val Suzon 2012-2016. Les sites 202 et 212 sont significativement différents avec certains sites avec les plus faibles occurrences d'animaux

## Conclusion

La probabilité d'observation de reptiles semble varier entre les sites. Peu de squamates sont observés sur certains sites (ex. 12, 48, 51, 114, 128, 208, 26-27). Ceci peut s'expliquer soit par la faible densité de reptiles, ou un milieu favorable.

## 4.1.3 Influences sur la détectabilité des reptiles:

### Méthode

Des modèles linéaires généralisés (MGL-GLM, R Development Core Team, 2011) permettront de tester les détections (nombre d'animaux contactés) sur chaque transect PUIS sur chaque plaque en fonction des paramètres soleil (0-1), pluie (0-1), vent (nul=0, 1, 2, 3, 4, 5), température (°C), heure du suivi. L'hypothèse étant que les détections sont faibles avec pluie, vent fort, et au zénith (12-14h).

### Résultats

Les détections à vue sur transect ou sur plaques ne semblent pas influencées par les facteurs météo ou d'heure (cf. extraction R en annexe).

### Discussion



Les suivis POPReptiles 2013-2016 ont été majoritairement et logiquement faits en évitant les conditions défavorables de détection. Ainsi, avec les données obtenues, les conditions défavorables de détectabilité sont rendues silencieuses, car peu représentées dans le jeu de données (fort vent, pluie, heures trop chaudes et trop froides).

## **4.2. Proposer un protocole pour mieux connaître la répartition des espèces (nombre de sites nécessaires pour comparer les fréquentations d'une ou plusieurs espèces par type d'habitat) :**

Plusieurs études démontrent qu'en France métropolitaine, la technique de suivi des plaques favorise la détection d'au moins 16 espèces de squamates sur les 37 espèces potentielles (Nys & Besnard, 2017). Il s'agit de *Anguis fragilis*, *Chalcides striatus*, de quatre Lacertidés : *Lacerta agilis*, *Lacerta bilineata*, *Zootoca vivipara*, *Podarcis muralis*, et de dix serpentes : *Hierophis viridiflavus*, *Coronella austriaca*, *Coronella girondica*, *Rhinechis scalaris*, *Zamenis longissimus*, *Natrix helvetica*, *Natrix maura*, *Malpolon monspessulanus*, *Vipera aspis* et *Vipera berus*.

Cette liste incluant les 3 espèces potentiellement inventoriées sur la RNR-Forêt d'Exception *Lacerta agilis* (Lézard des souches), *Zootoca vivipara* (Lézard vivipare) et *Vipera berus* (Vipère péliade), il n'est pas nécessaire de compléter le suivi avec d'autres méthodes de détection de reptiles (clôture de dérivation, piège à fosse, entonnoir, cf. Nys & Besnard, 2017).

Les suivis POPReptiles peuvent viser trois objectifs différents avec 3 protocoles différents (Lourdais & Miaud, 2016)

POPReptile 1 : inventaires simples (p13 du protocole POPReptiles)

Objectif : Inventorier les espèces sur un site.

Protocole léger, flexible et facile à réaliser.

Exemple : 1 à 5 transects placés sur une aire donnée. Il est mené sur 2 ans et permet de déterminer la présence, la probabilité de détection et le nombre de contacts réalisés. En multipliant le nombre de suivis à l'échelle nationale (présence/absence), il sera possible de mieux connaître la répartition des espèces, mais aussi d'identifier les habitats et les milieux importants pour la conservation des reptiles.

**C'est le protocole POPReptiles du Val Suzon 2013-2016**

POPReptile 2 : suivis temporels (p14)

Objectif : Inventorier les espèces sur un site et suivre leur évolution dans le temps.

Ce protocole est équivalent au précédent, mais répété dans le temps (chaque année).

Il permet de déterminer l'évolution, au cours du temps, de la présence, de la probabilité de détection et du nombre de contacts réalisés. En multipliant le nombre de suivis temporels (présence/absence), il sera possible d'établir des tendances nationales.

Ce suivi long peut être intéressant en cas de changement ou d'évolution de l'habitat des espèces ou d'espèces en limites d'aire de répartition sous effet des changements climatiques (exemple: densité d'une espèce en limite septentrionale de répartition qui augmente,

favorisée par l'augmentation des températures). Ce protocole ne semble pas correspondre à des enjeux de gestion ou de connaissance au Val Suzon.

### POPReptile 3 : habitats & gestion (p15)

Objectif : Répondre à des questions identifiées par un gestionnaire

Il s'agit de comparer différents habitats ou des modes de gestions contrastés.

Ce protocole est plus conséquent (nombre de transects > 10) et sa conception nécessite une réflexion au "cas par cas".

Il permet de comparer l'occurrence, la probabilité de détection ou l'abondance relative à une échelle locale.

Le maintien d'une diversité d'habitats (pelouses calcaires, ouvertes, etc.) favorable à une biodiversité peut être un enjeu au Val Suzon. Pour répondre à une question type: existe-t-il une différence de peuplements de reptiles en fonction des habitats ? Et donc la nécessité du maintien de ces habitats?, ce protocole serait adapté.

Dans ce cas les possibles recommandations sont:

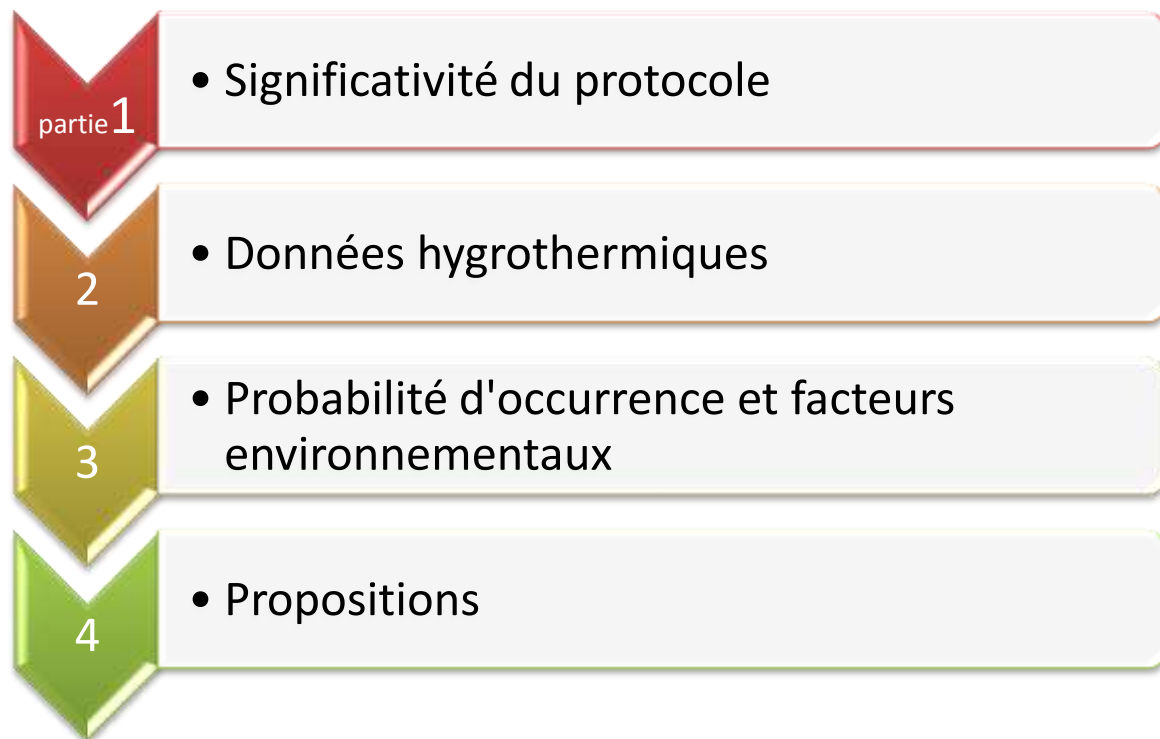
- Réduire le nombre de sites à 10-12 ,
- en répartissant les sites en groupes d'habitats équilibrés ( $\geq 3$ ), (ex. pelouses calcaires, etc. avec au moins trois sites par habitat); attention aux écotones et à l'homogénéité de la structure de la végétation par habitat.
- en densifiant le nombre de plaques/sites (5-7), avec le même nombre par site pour simplifier les analyses statistiques,
- dont une plaque métallique/site, possiblement.
- Limiter les suivis à vue aux déplacements entre les plaques et réduire la longueur des tronçons parcourus à 2 km/h.

Des différences d'utilisation d'habitat spécifiques semblent détectables avec les données 2012-2016.

Certains habitats semblent être plus fréquentés que d'autres pour certaines espèces. Par exemple le Lézard vert occidental qui se retrouve préférentiellement sur les sites 202, 208, 212. (Tableau 23). Ces différences de densité par habitat étant connues chez cette espèce qui semble apprécier les écotones et milieux ouverts (Pernat *et al.*, 2017; Louchet, 2013; Sacchi *et al.*, 2011).

Une analyse d'occupation de site ('site occupancy' ou N-mixture method) permettra de tester la différence d'occupation des habitats pour les espèces fréquemment observées. Attention aux espèces cryptiques avec données rares (ex. Vipère, Couleuvre à collier et d'Esculape) pour lesquelles il sera difficile de faire des analyses fiables (Nys & Besnard, 2017).

### III CONCLUSION



1. Mesure de l'efficacité du protocole à partir des données d'observations sur les 56 plaques :

Il n'y a pas de différence interannuelle dans les données d'observation. Le nombre de suivis a permis d'inventorier 8 espèces. L'exhaustivité de l'inventaire est presque atteinte (plateau de la courbe de richesse cumulée). Les extrapolations estiment à 1-2 espèces supplémentaires inventoriables.

2. Analyse des données de température et d'humidité relative des enregistreurs :

Les enregistreurs mettent en évidence une très grande variabilité dans les conditions de températures et d'humidité sous les plaques, et donc une probable variabilité dans leur attractivité pour les squamates.

Il existe une différence de conditions hygrothermiques entre les plaques caoutchouc et métalliques et entre certains sites.

3. Analyse du croisement des données « espèces observées » et « température/hygrométrie » :

Les plaques métalliques semblent attirer plus d'espèces de reptiles et en inventorier plus rapidement. Cependant, les plaques caoutchouc ont aussi permis

de contacter les mêmes espèces sur d'autres sites. La conclusion que les plaques métalliques sont plus efficaces n'est pas permise.

Ces données ne permettent pas de mettre en évidence une différence d'attractivité des températures entre espèces, les plages thermiques de détection sont assez larges.

Les mesures au thermomètre à visée laser et au capteur TGP-4500 Tinytag ne sont pas équivalentes et ne peuvent être mélangées. Les données laser sont moins représentatives de la réalité.

#### 4. Proposer des mesures d'amélioration du protocole :

Le protocole pourrait être optimisé en réduisant le nombre de sites (sites à regrouper en type d'habitat), en concentrant le nombre de plaques/site (N=6), en réduisant le nombre et les longueurs des transects pour suivi à vue. Il est plus simple de se dispenser des enregistrements hygrothermiques ici peu informatifs pour les questions de répartition des espèces et de comparaison de la fréquentation des sites.

Les suivis POPReptiles 2013-2016 ont bien évité les conditions défavorables d'observations. Il faudra toujours veiller à suivre aléatoirement l'ordre des suivis sur les sites pour ne pas confondre un effet site avec un effet heure de suivi.

## IV REMERCIEMENTS

Ce rapport technique est financé par l'ONF gestionnaire de la RNR-Forêt d'Exception du Val Suzon, l'UE et la Région BFC. Merci aux relecteurs et experts pour leurs apports éclairés.

## V RÉFÉRENCES

- Barré, B. & Savier, H.-P. 2016. Inventaire des Reptiles : Val Suzon - Réserve Naturelle Régionale et Forêt d'Exception – 2012-2016. ONF.
- Caron, J., Renault, O. & Le Galliard, J.-F. (2010) 'Proposition d'un protocole standardisé pour l'inventaire des populations de reptiles sur la base d'une analyse de deux techniques d'inventaire', *Bulletin de la Société herpétologique de France*, 134, pp. 3-25.
- Chao, A. (1987) 'Estimating the population size for capture-recapture data with unequal catchability', *Biometrics*, pp. 783-791.
- Colwell, R. K. & Coddington, J. A. (1994) 'Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation', *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 345(1311), pp. 101-118.
- Graitson, E. (2004) 'Résultats d'un inventaire des reptiles par la méthode des "Plaques Refuges" en Région Wallonne', *Natura Mosana*, 56(4), pp. 73-83.
- Graitson, E. & Naulleau, G. (2005) 'Les abris artificiels: un outil pour les inventaires herpétologiques et le suivi des populations de reptiles', *Bulletin de la Société herpétologique de France*, 115, pp. 5-22.
- Guiller, G. (2009) 'Déclin et biologie d'une population de *Zamenis longissimus* (Laurenti, 1768)(Serpentes, Colubridae) en Loire-Atlantique', *Bull. Soc. Herpetol. Fr*, 132, pp. 85-114.
- Jayaneththi, H. & Holloway, B. (2015) *Bevorzugte Unterschlüpfe für Reptilien in Surrey, England [Refuge preferences of reptiles in Surrey, England]*.
- Kery, M. (2002) 'Inferring the absence of a species: a case study of snakes', *The Journal of wildlife management*, pp. 330-338.
- Kéry, M. & Schmidt, B. (2008) 'Imperfect detection&its consequences for monitoring for conservation', *Community Ecology*, 9(2), pp. 207-216.
- Le Galliard, J.-F., Le Bris, M. & Clobert, J. (2003) *Timing of locomotor impairment and shift in thermal preferences during gravidity in a viviparous lizard*.
- Le Hénanff, M. (2006) Étude comparative de courbes de performance chez *Elaphe longissima* et *Coluber viridiflavus*. Master 1, Poitiers, Poitiers. 27p.
- Lelièvre, H., Le Hénanff, M., Blouin-Demers, G., Naulleau, G. & Lourdais, O. (2010) 'Thermal strategies and energetics in two sympatric colubrid snakes with contrasted exposure', *Journal of Comparative Physiology B*, 180(3), pp. 415-425.
- Lelièvre, H., Blouin-Demers, G., Pinaud, D., Lisse, H., Bonnet, X. & Lourdais, O. (2011) 'Contrasted thermal preferences translate into divergences in habitat use and

- realized performance in two sympatric snakes', *Journal of Zoology*, 284(4), pp. 265-275.
- Louchet, J. (2013) *Intérêt du lézard vert occidental (Lacerta bilineata) comme bio-indicateur des pelouses calcaires*. Master1, uB, Dijon.
- Lourdais, O. & Miaud, C. (2016) 'Protocoles de suivi des populations de reptiles de France, POPReptiles', *Société Herpétologique de France*, pp. 26.
- Marchand, M.-A. (2012) *Une méthode de suivi standardisée des communautés de reptiles squamates*. Master2, EPHE, EPHE.
- Nys, S. & Besnard, A. (2017) 'Les méthodes d'échantillonnage et de suivi de l'Herpétofaune', *Bulletin de la Société Herpétologique de France* 164, pp. 55-86.
- Ortega, Z. & Pérez-Mellado, V. (2017) *The effect of thermal requirements on microhabitat selection and activity of Podarcis lilfordi (Squamata: Lacertidae)*.
- Palmer, M. W. (1990) 'The estimation of species richness by extrapolation', *Ecology*, 71(3), pp. 1195-1198.
- Pernat, A., Sellier, Y., Préau, C. & Beaune, D. (2017) 'Effet du pâturage sur le lézard vert occidental (*Lacerta biblineata* Daudin, 1802) en milieu de landes', *Bulletin de la Société Herpétologique de France*, 161, pp. 8.
- R Core Team (2011) *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Available at: <http://www.R-project.org>.
- Sacchi, R., Marchesi, M., Gentili, A., Pellitteri-Rosa, D., Scali, S. & Borelli, A. (2011) 'Western green lizards (*Lacerta bilineata*) do not select the composition or structure of the ecotones in Northern Italy', *North-western Journal of Zoology*, 7(2), pp. 213-221.
- Savier, H.-P. 2017. Inventaire des reptiles du Val Suzon – Période 2012-2016. Cahier des charges pour l'analyse statistique des données. Office national des forêts - Inventaire des reptiles - RNR-FE du Val Suzon.
- Truter, C., Van Wyk, J. & le Fras Nortier Mouton, P. (2014) *An evaluation of daily, seasonal & population-level variation in the thermal preference of a group-living lizard, Ouroborus cataphractus (Sauria: Cordylidae)*.
- Zar, J. H. (2010) *Biostatistical Analysis*. 5th edn. Upper Saddle River: Prentice Hall, p. 944.

## VI Annexes

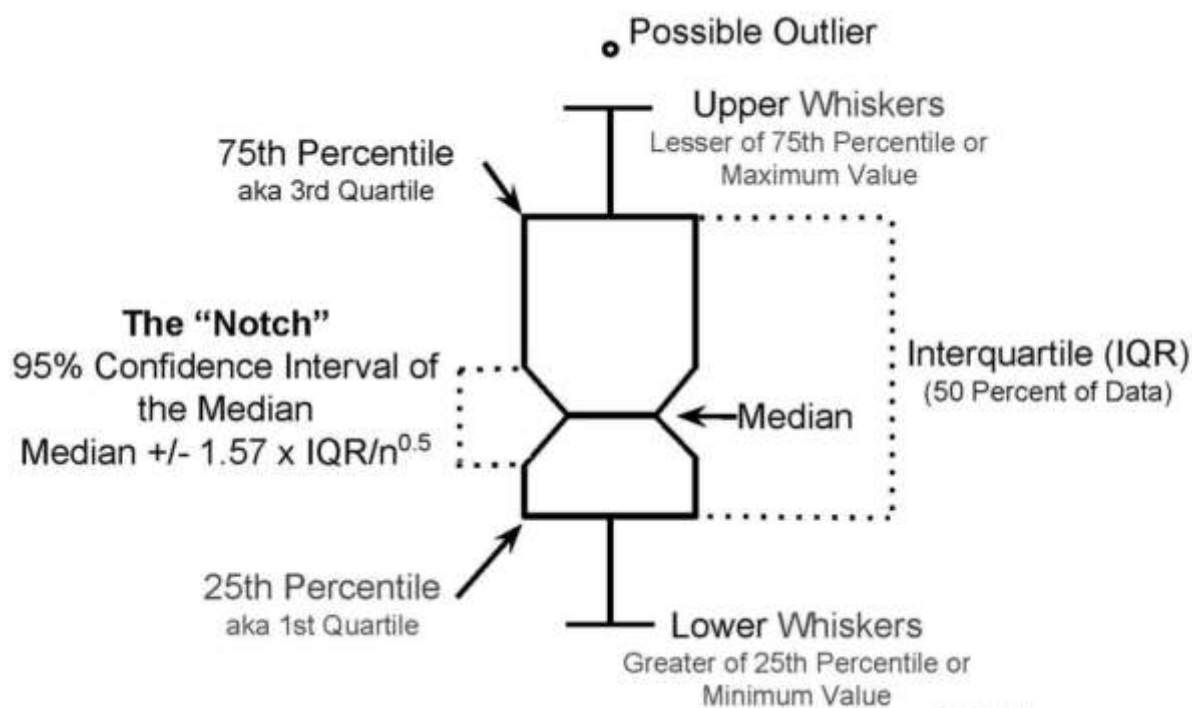


Figure 29 Interprétations d'une boîte à moustache (boxplot R)

**Extractions brutes des résultats de modélisation des effets pluie, soleil, vent, heure d'observation sur la probabilité de détection des reptiles aux Val Suzon: pas d'effet.**

Extraction R pour les transects :

DevianceResiduals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.8187	-0.4532	-0.2137	0.0000	9.2836

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	0.2238008	1.1610274	0.193	0.847
Heure0	-0.0004297	1.5564825	0.000	1.000
Heure10	0.0545212	1.1191501	0.049	0.961
Heure11	0.2808914	1.1244027	0.250	0.803
Heure12	0.6366196	1.1316570	0.563	0.574
Heure13	0.8053575	1.1704531	0.688	0.492
Heure14	0.3701426	1.1426426	0.324	0.746
Heure15	0.1921587	1.1374596	0.169	0.866
Heure16	0.5016983	1.1527696	0.435	0.664
Heure17	0.5243960	1.3502947	0.388	0.698

Heure18	0.0155750	1.3502813	0.012	0.991
Heure8	0.0118004	1.1493198	0.010	0.992
Heure9	0.5219056	1.1231454	0.465	0.643
Temp	-0.0176421	0.0174867	-1.009	0.314
Pluie	-0.4306117	0.4267750	-1.009	0.314
Soleil	0.1819670	0.1914533	0.950	0.343
Vent	0.0357138	0.1061974	0.336	0.737

(Dispersion parameter for gaussian family taken to be 1.204977)

Null deviance: 219.66 on 188 degrees of freedom  
 Residual deviance: 207.26 on 172 degrees of freedom  
 (32 observations deleted due to missingness)  
 AIC: 589.79

Number of Fisher Scoring iterations: 2

Extraction R pour les plaques :

DevianceResiduals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.38475	-0.15942	-0.12178	-0.06954	2.90270

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	-0.089999	0.246792	-0.365	0.7155
Heure0	-0.047549	0.335429	-0.142	0.8873
Heure10	0.155943	0.240401	0.649	0.5167
Heure11	0.138350	0.240831	0.574	0.5658
Heure12	0.043437	0.241933	0.180	0.8576
Heure13	-0.046583	0.248335	-0.188	0.8513
Heure14	0.084249	0.243622	0.346	0.7296
Heure15	0.135842	0.242984	0.559	0.5763
Heure16	0.104068	0.245432	0.424	0.6717
Heure17	0.301305	0.248902	1.211	0.2265
Heure18	0.064068	0.268048	0.239	0.8112
Heure8	0.057023	0.249857	0.228	0.8195
Heure9	0.126679	0.240606	0.526	0.5987
Temp	0.004897	0.003278	1.494	0.1357
Pluie	0.025757	0.084684	0.304	0.7611
Soleil	-0.022627	0.034918	-0.648	0.5172
Vent	0.037755	0.021268	1.775	0.0763

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for gaussian family taken to be 0.1680228)



Null deviance: 130.54 on 772 degrees of freedom  
Residual deviance: 127.03 on 756 degrees of freedom  
(168 observations deleted due to missingness)  
AIC: 833.72

Number of Fisher Scoring iterations: 2

## VII Glossaire et abréviations

Écart type : (SD= Standard Déviation = écart-type) mesure de la dispersion autour de la moyenne.

Ecotone: zone de transition écologique entre deux écosystèmes. En écologie du paysage, il correspond à une lisière.

Hygrométrie : mesure du taux d'humidité de l'air (proportion d'eau à l'état gazeux présente dans l'air).

IC<sub>95</sub>: Indice de Confiance à 95%

Lacertiliens : ou Sauriens, sous-ordre de l'ordre des squamates. Rassemblant les lézards terrestres, arboricoles et serpentiformes.

RNR: Réserve Naturelle Régionale

SD: Standard Déviation = écart-type

Serpentes : sous-ordre de squamate, reptiles carnivores au corps cylindrique et allongé, dépourvus de membres apparents, plus rarement appelés Ophidiens.

Squamata/squamate: les squamates ou saurophidiens, reptiles à écailles, sont un vaste ordre de reptiles qui comprend tous les lézards, serpents et amphibènes.