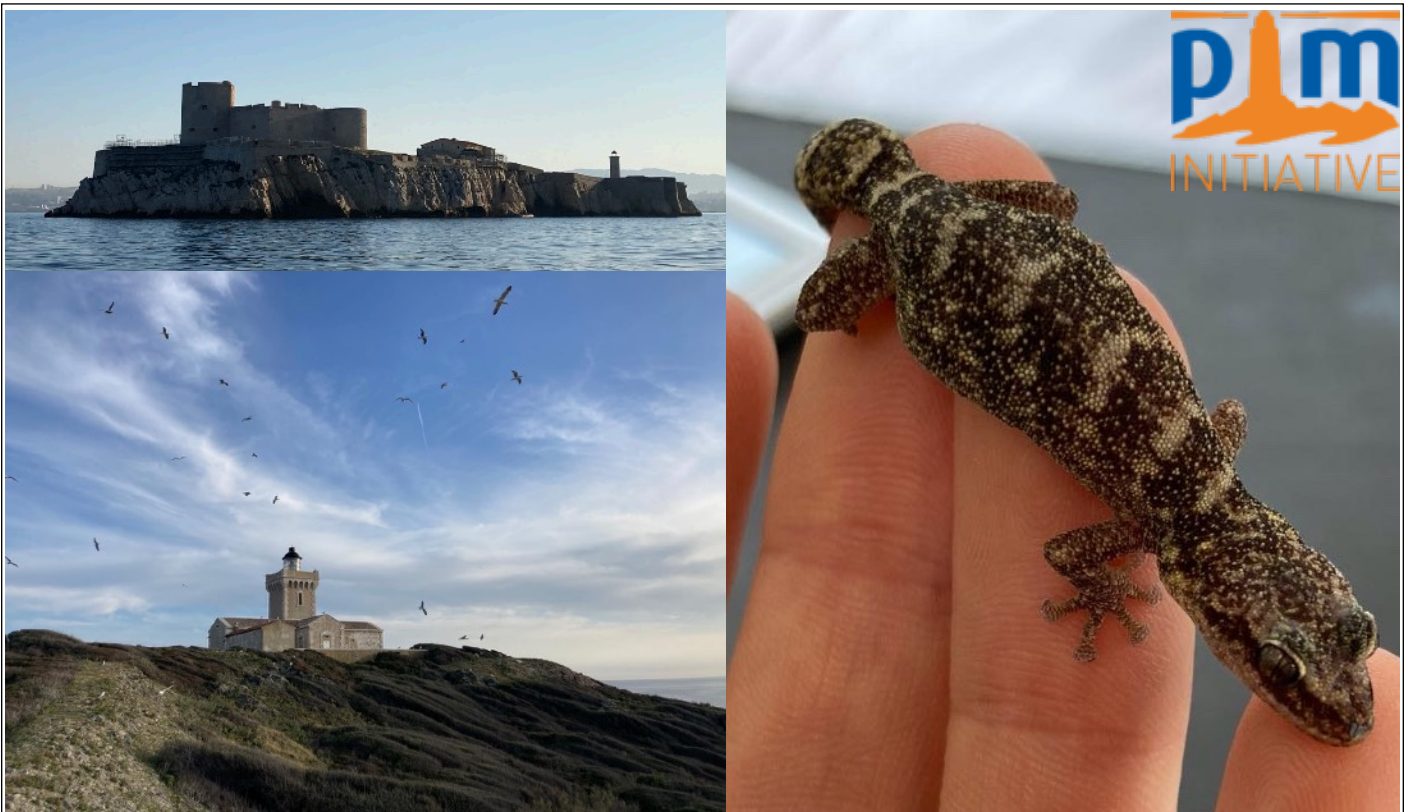




# MASTER 1 PNB : PATRIMOINE NATUREL ET BIODIVERSITÉ ANNÉE 2021-22

RAPPORT DE STAGE DE :

**QUESSADA JULIE**



## **STRUCTURE D'ACCUEIL : Initiative pour les Petites Iles de Méditerranée**

Responsable de Stage : *Madec Luc, Professeur à l'Université de Rennes 1*

Tuteurs de Stage : - *Rivière Vincent, Membre de conseil consultatif de l'Initiative PIM*

- *Guillaumet Alban, Assistant Professor of Vertebrate Ecology at Troy University (USA)*

Anne Marie Cortesero, Sébastien Dugravot et Frédéric Ysnel  
*Coresponsables du Master PNB*

## **Remerciements**

Tout d'abord, je tiens à remercier les membres de l'Initiative PIM pour leur accueil, au sein de l'équipe et sur l'île du Grand Rouveau, et leur confiance lors de cette étude. C'est avec un grand plaisir que je prolonge cette aventure avec eux.

Je tiens à remercier Vincent Rivière de m'avoir accordé à nouveau sa confiance, et pour la bienveillance, l'enthousiasme et la motivation dont il fait toujours preuve.

Je remercie Alban Guillaumet pour la patience et la pédagogie dont il a fait preuve tout au long de nos échanges, et pour le temps et l'énergie investis dans ce projet.

Je remercie aussi Marc Cheylan de m'avoir partagé son expertise sur cette espèce et de m'avoir accompagnée sur le terrain.

Et finalement, merci à mes amis et collègues de promotion pour le support émotionnel sans faille.

## I - Introduction

La mer Méditerranée est une des régions du monde les plus riches en milieux insulaires, avec plus de 10 000 îles et îlots (Médail, 2017), soit plus de 5% des 180 000 îles du monde (Weigelt *et al.*, 2013, Bellard *et al.*, 2014). Les îles, du fait de leurs conditions environnementales et biotiques particulières (petites populations, réseau trophique simplifié,...) et de leur isolement, sont souvent peuplées par des assemblages écologiques uniques avec de forts taux d'endémisme (Rodrigues *et al.*, 2004, Roberston *et al.*, 2011, Gros-Désormeaux, 2012, Médail, 2017). De plus, les îles et îlots forment des espaces privilégiés de reproduction et de repos pour les espèces marines (Nias *et al.*, 2010, Roberston *et al.*, 2011) et des zones de refuge pour la faune et la flore locale (Médail & Diadema, 2009, Roberston *et al.*, 2011, Gibson & McKenzie, 2012, Selwood & Zimmer, 2020) qui bénéficient de cet habitat naturellement isolé des perturbations du continent (Gibson & McKenzie, 2012, Stockwell *et al.*, 2015). Ce sont aussi des espaces refuges pour les espèces paléo-endémiques ayant disparu du continent (Nias *et al.*, 2010). Tout cela fait des milieux insulaires des zones riches et uniques à priorité de conservation (Rodrigues *et al.*, 2004, Gros-Désormeaux, 2012).

Le bassin Méditerranéen, qui est l'un des 36 hotspots de biodiversité terrestre (Médail & Myers, 2004, Conservation International), et ses nombreuses îles font aussi face à ces enjeux de conservation. Ces derniers sont accrus par des menaces historiques telles que l'exploitation très ancienne du milieu et le tourisme mais aussi par des menaces plus actuelles liées aux changements climatiques et environnementaux (Underwood *et al.*, 2009, Médail, 2017, Lefebvre *et al.*, 2019, Herrero *et al.*, 2021). Une des principales menaces pour la faune et la flore insulaires est le risque lié aux invasions biologiques (Hulme *et al.*, 2008, Brundu, 2013, Celesti-Grapow *et al.*, 2016, Ballouard *et al.*, 2021). Ces invasions sont la conséquence des activités humaines qui, via l'augmentation des échanges entre les continents et les îles, diminuent l'isolement des îles. Cette connexion entraîne souvent une forte perturbation de ces écosystèmes simplifiés, qui se traduit par un déclin des espèces indigènes causé par la compétition, la prédation ou l'apport de pathogènes par des espèces exotiques (Roberston *et al.*, 2011, Gros-Désormeaux, 2012).

Le Phyllodactyle d'Europe *Euleptes europaea* (Gené, 1839), famille des Sphaerodactylidae, fait partie des espèces caractéristiques des îles méditerranéennes. Cette espèce de gecko endémique de la région méditerranéenne, dont la répartition actuelle a souvent été qualifiée d'énigme biogéographique (Delaugerre & Cheylan, 1992, Dardun, 2003), aurait régressé des continents, avec pour conséquence une répartition morcelée et principalement insulaire (Delaugerre, 1981a, Delaugerre, 1981b, Renet *et al.*, 2008, Vacher &

Geniez, 2010, Fig. 2). En effet, hormis quelques stations continentales en Toscane (Italie), en Ligurie (Italie) et dans les Alpes-Maritimes (France), l'espèce n'est présente que sur les îles de la région ouest-méditerranéenne : Corse et Sardaigne et leurs îlots, archipel de la Galite (Tunisie), archipel Toscan (Italie) et îles de la côte provençale (France) (Delaugerre *et al.*, 2011). Le Phyllodactyle d'Europe est la plus petite espèce de geckos d'Europe (en moyenne 6-7cm de longueur, queue comprise, Arnold & Ovenden, 2014), facilement différenciable des autres geckos européens par l'absence de tubercules sur son dos. C'est une espèce insectivore, strictement nocturne et lucifuge, qui est active dès la tombée de la nuit jusqu'au début du jour. Rupicole, il exploite les fissures et microfissures des roches, des perriers ou des constructions (Dardun, 2003). Ces gîtes naturels sont d'importance majeure pour cette espèce poïkilotherme, qui profite de la chaleur emmagasinée par la roche pour réguler sa température corporelle (Delaugerre, 1984). Ces fissures pourraient aussi offrir un abri vis-à-vis des conditions météorologiques défavorables et des prédateurs diurnes (Delaugerre & Corti, 2020).

Ayant été qualifiée d'espèce pré-adaptée au milieu insulaire au vu de sa faible biomasse et sa capacité à survivre dans de très petites populations, c'est le vertébré que l'on retrouve sur les îlots aux conditions les plus « extrêmes » de Méditerranée (très petite surface, réseau trophique réduit, biomasse faible, Delaugerre & Corti, 2020). Cependant, sur les îles comme sur le continent, ce gecko est en déclin et fait l'objet d'extinctions locales (Dardun, 2003, Delaugerre, 2003, Salvidio & Delaugerre, 2003, Vacher & Geniez, 2010). Les causes de ces déclin ne sont pas connues mais pourraient résulter d'une combinaison de facteurs, parmi lesquels la prédation par le Rat noir *Rattus rattus* (Linnaeus, 1758) et par le chat haret ou domestique *Felis catus* Linnaeus, 1758 (Tranchant *et al.*, 2003, Vacher & Geniez, 2010, Delaugerre *et al.*, 2019), la restauration de batis anciens qui servent de refuge au Phyllodactyle (AGIR écologique, 2016, Renet & Monnet, 2021), la compétition avec la Tarente de Maurétanie *Tarentola mauritanica* (Linnaeus, 1758) (Renet & Monnet, 2021), l'introduction de nouveaux pathogènes apportés par la Tarente de Maurétanie (Delaugerre & Cheylan, 1992), l'abandon du pastoralisme entraînant une fermeture des milieux (Renet *et al.*, 2013), l'urbanisation (Renet *et al.*, 2013) et l'augmentation de la fréquence des feux de forêt (Delaugerre & Cheylan, 1992). Pour ces différentes raisons, l'espèce est classée en danger sur la liste rouge de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur (Marchand *et al.*, 2017).

Afin d'améliorer les connaissances sur le Phyllodactyle d'Europe et les méthodes de conservation de ses populations, différentes techniques de suivis ont été mises en place (Krebs *et al.*, 2015, Couturier *et al.*, 2020). Cependant, la difficulté d'accès de certaines îles, le caractère strictement nocturne de l'espèce et sa discrétion particulière entraînent de lourdes

contraintes logistiques pour le recherche de l'espèce en activité. Afin de remédier à ces contraintes, depuis 2014, des suivis par gîtes artificiels ont été mis en place d'abord sur l'île du Grand Rouveau (Var, France) puis sur l'île d'If depuis 2016 (Bouches-du-Rhône, France) (AGIR écologique, 2016, Cheylan *et al.*, 2016). *A priori*, ces suivis semblent être un succès. En effet, les premiers gîtes sont rapidement colonisés (en moins d'un mois) et les taux de colonisation des gîtes peuvent être assez importants (jusqu'à 76% sur If, Cheylan *et al.*, 2016, AGIR écologique, 2021).

Cependant, l'utilisation des gîtes artificiels par les individus n'est pas uniforme sur une même île et aucune étude n'a encore été réalisée sur l'origine de cette hétérogénéité des densités observées au sein des gîtes artificiels. Des connaissances plus approfondies sur ce sujet permettraient une meilleure compréhension des processus impliqués dans le choix et l'utilisation des gîtes par le *Phyllodactyle* d'Europe. Ces indications sur les préférences écologiques et sur les habitudes de vie de l'espèce aideraient à optimiser le protocole de suivi ainsi que les mesures de conservation en faveur de l'espèce.

Cette étude poursuit deux objectifs :

- 1) Identifier les variables environnementales telles que l'ensoleillement du gîte, l'exposition au vent, la distance à la mer ou encore la structure de la végétation alentour qui influencent le nombre d'individus occupant un gîte artificiel
- 2) Identifier les facteurs parmi les caractéristiques biologiques des individus, les conditions météorologiques et le dérangement qui influencent la présence ou l'absence quotidienne d'un individu au sein d'un gîte artificiel.

Afin de répondre à ces questions, les variables environnementales de tous les gîtes artificiels ont été relevées et des Modèles Linéaires Généralisés à effets Mixtes (GLMM) ont été réalisés afin de déterminer la combinaison de ces variables expliquant le mieux les variations d'effectifs maximum observés au sein des gîtes. Aussi, un protocole de Capture-Marquage-Recapture (CMR) a été mis en place sur trois gîtes sélectionnés et des Modèles Linéaires Généralisés (GLM) ont été réalisés afin de déterminer la combinaison de variables biologiques, météorologiques et de dérangement expliquant le mieux la probabilité de présence d'un individu au sein du gîte.

## **II - Matériel et méthodes**

### **1. Sites d'étude**

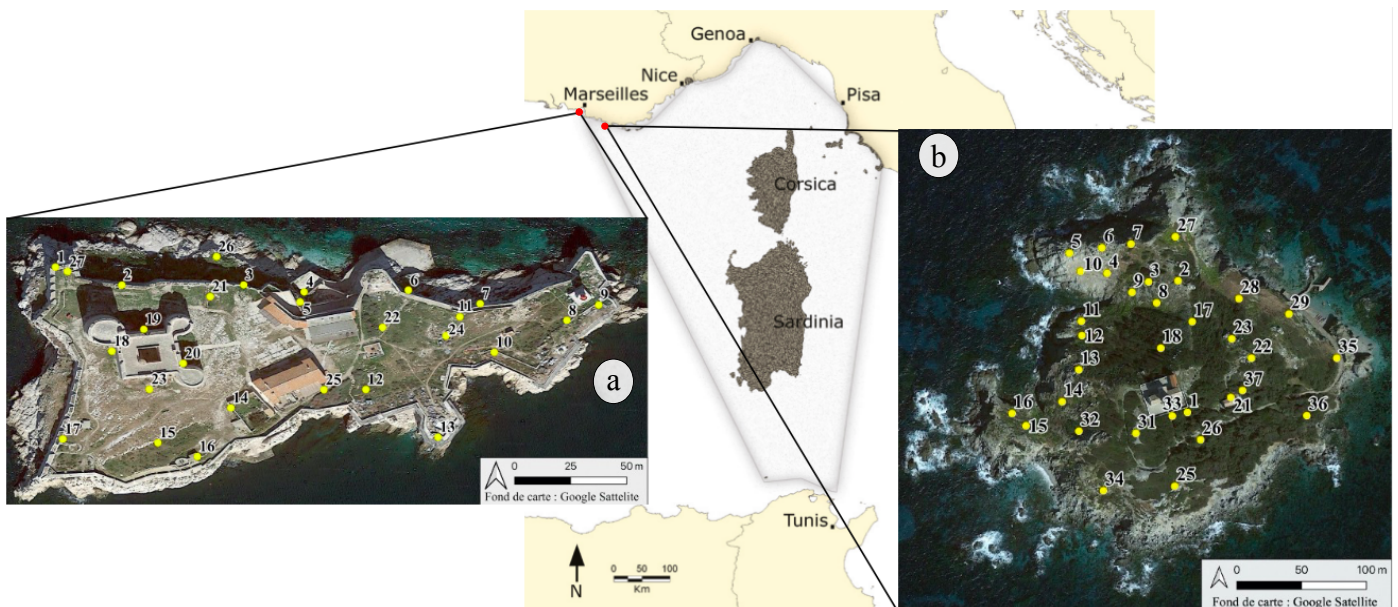
L'île du Grand Rouveau (N 43,08038°, E 5,76757°) se situe au sein de l'archipel des Embiez, au large de la ville de Six-Fours-Les-Plages (Var, France). D'une surface de 6,5 ha, la majeure

partie du foncier est la propriété du Conservatoire du Littoral et sa gestion est confiée à la ville de Six-Fours-Les-Plages, en association avec l'initiative pour les Petites Îles de Méditerranée (initiative PIM) (Rivière *et al.*, 2021).

Un suivi par gîtes artificiels de la population de *Phyllodactyle* d'Europe a démarré en 2014 sur cette île (Cheylan *et al.*, 2016), dans le but de suivre l'impact d'actions de gestion (arrachage de Griffes de sorcière (*Carpobrotus edulis* (L.) N.E.Br., 1926), dératisation) sur cette population. Aujourd'hui, 33 gîtes artificiels, formés chacun de 3 tuiles romaines superposées et recouvertes de pierres (Fig. 1), sont placés sur l'île. Ils ont été disposés empiriquement de manière à ce que les différents habitats de l'île soient concernés par ce suivi (Fig. 2.b). Depuis juillet 2014, un relevé des effectifs de *Phyllodactyle* sous chacun de ces gîtes a été réalisé à raison de 2 à 3 passages par an, avec au moins un passage au printemps et un en automne.



**Figure 1.** a) Gîte artificiel pour *Phyllodactyle* d'Europe laissé "ouvert" pour la photographie afin de visualiser la structure. b) Gîte artificiel entièrement recouvert de pierres, tel qu'il est pendant tout le suivi.



**Figure 2.** Répartition mondiale du *Phyllodactyle* d'Europe (en gris, Delaunoy *et al.*, 2011) et localisations des gîtes artificiels actuellement présents sur l'île d'If (a) et sur l'île du Grand Rouveau (b).

L'île d'If (N 43,22729°, E 5,32584°), fait partie de l'archipel du Frioul, au large de Marseille (Bouche-du-Rhône, France), au cœur du Parc National des Calanques. En réponse au lancement des travaux de restauration des remparts du château d'If, des mesures de

compensation des dégâts occasionnés sur la population de Phyllodactyle d'Europe de cette île ont été mises en place. Un suivi à long terme de cette population via des gîtes artificiels a aussi été mis en place sur If depuis septembre 2016 (AGIR écologique, 2016) afin de suivre l'impact des travaux et l'efficacité des mesures de compensation. Il y a aujourd'hui 27 gîtes disposés sur l'île d'If (Fig. 2.a), dont les effectifs sont relevés 2 à 3 fois par an.

## **2. Protocole de terrain**

### **a) Variables environnementales et effectifs au sein des gîtes**

Plusieurs variables environnementales ont été relevées sur chaque gîte (respectivement en avril 2021 et avril 2022). Sur un rayon de 5m autour du gîte, 15 variables ayant potentiellement un impact sur le choix de gîte par le Phyllodactyle ont été mesurées (V. Rivière et V. Mouret com. pers., Dardun, 2003). Ces variables concernent le recouvrement des différentes strates de végétation (pourcentage du sol recouvert par la strate dont la hauteur maximale est située en dessous de 5cm, entre 5 et 15cm, entre 15 et 40cm ou au-delà de 40cm), les espèces végétales principales, les différents types de substrat (roche, terre, sable, pierre de construction, béton) et leur configuration (homogène, mosaïque, hétérogène), la présence ou l'absence d'habitat naturel ou anthropique, le nombre de nids de Goéland leucopnée (*Larus michahellis* Naumann, 1840), et la présence de *Podarcis sp.* (pour plus de détails, se référer à l'Annexe 1 qui contient la description de chaque variable).

Au niveau du gîte lui-même, les variables suivantes ont été mesurées. L'exposition aux vents majeurs de la région (N à ONO et ENE à ESE) a été estimée en fonction des obstacles pouvant protéger du vent pour ces deux directions (0 : présence d'obstacle protégeant entièrement du vent, 1 : obstacle éloigné, ne protégeant qu'une partie de la direction, ou perméable (ex : végétation peu dense), 2 : aucun obstacle). L'ensoleillement aux différentes orientations du soleil (est (E), sud-est (SE), sud (S), sud-ouest (SO) et ouest (O)) a également été estimé en fonction des obstacles pouvant faire de l'ombre pour les cinq orientations (0 : obstacle faisant une ombre complète pour cette orientation, 1 : obstacle éloigné, ne protégeant qu'une partie de la direction, ou produisant une ombre partielle (ex : végétation peu dense), 2 : aucun obstacle). Un pourcentage d'ensoleillement journalier du gîte a été calculé à partir de ces 5 données d'ensoleillement en les additionnant. La distance du gîte à la mer et du gîte artificiel le plus proche ont été mesurées sur QGIS 3.16 (QGIS Development Team, 2022).

### **b) CMR et occupation des gîtes**

Un protocole de Capture-Marquage-Recapture (CMR) a été réalisé sur l'île du Grand Rouveau. Tous les individus des gîtes 22, 23 et 37 (gîtes présentant les plus forts effectifs habituellement) ont été capturés lors du suivi du 15 avril 2022. Cela représentait respectivement 17, 36 et 21 individus. Chaque individu a été marqué individuellement à l'aide de feutres à eau et à pigments (marqueur edding 4040 CREATIVE) avec une combinaison unique de marques sur les pattes. Pour chaque individu marqué, différentes données ont été relevées : gîte de départ (gîte), poids de l'individu en grammes (poids), longueur de la pointe du museau au cloaque en millimètres (SNVL), classe d'âge (âge : adulte et subadulte réunis ou juvénile) et sexe lorsqu'il était possible de le déterminer. Tous les individus ont ensuite été remis dans leurs gîtes initiaux. Ces gîtes ont été relevés quotidiennement lors des 4 jours suivants, permettant de noter l'histoire de présence sous le gîte des différents individus. Les nouveaux arrivants au cours du protocole (n = 3) ont été marqués et mesurés puis remis dans leurs gîtes et inclus dans l'étude. Les températures enregistrées par une station météorologique de Sanary-sur-Mer (à 5km du Grand Rouveau, [meteociel.fr](http://meteociel.fr)) à 3h (température nocturne) et 13h (température diurne) de chaque journée du protocole ont été ajoutées aux données.

### **3. Analyses réalisées**

Toutes les analyses statistiques ont été réalisées sur R 4.0.4 (R Core Team, 2021).

#### **a) Variables environnementales et effectifs au sein des gîtes**

L'objectif était d'identifier les variables environnementales qui influencent l'effectif maximum observé au sein du gîte depuis le début du suivi (eff.max). Cette variable de réponse traduit la capacité d'accueil du gîte. A partir des 25 différentes variables environnementales relevées, deux approches d'analyse ont été comparées. La première consistait en l'utilisation d'analyses multivariées : Analyse en Composantes Principales (ACP, Hotelling, 1933) dans le cas d'une analyse avec des variables uniquement quantitatives et Analyse Factorielle des Données Mixtes (FAMD, Escofier, 1979) dans le cas d'une analyse combinant variables quantitatives et qualitatives. Toutes les variables numériques ont été centrées et réduites au préalable. Chaque groupe de variables thématique (substrat, conditions météorologiques du gîte, variables biotiques, histoire du gîte) a fait l'objet d'une analyse séparée. Pour chacune d'entre elles, 1 à 2 axes qui expliquaient le plus de variance et qui avaient un sens biologique clair ont été sélectionnés. Les coordonnées des différents gîtes pour les sept axes choisis ont ensuite été utilisés comme variables explicatives potentielles de l'effectif maximum observé.



Pour la seconde approche, une sélection de variables explicatives a été réalisée *a priori* à partir de considérations biologiques. Les variables retenues incluent l'île sur laquelle est situé le gîte (site), les 5 différents types de substrat, la structure du substrat (stru), les recouvrements des 4 strates de végétation (v0\_5, v5\_15, v15\_40, v40), l'exposition aux deux orientations de vent majeures (N\_ONO et ENE\_ESE), le pourcentage d'ensoleillement global du site, l'ensoleillement pour les 5 orientations du soleil (E, SE, S, SO, O), la distance à la mer (sea\_d), la présence de gîte naturel (nat\_g) et la distance du gîte artificiel le plus proche (arti\_g). Au total, 20 variables parmi le pool originel de 25 ont été retenues. Seules les variables concernant la présence d'espèces végétales précises ont été retirées.

Pour ces deux approches, la relation entre l'effectif maximum et les variables environnementales a été modélisée à l'aide de Modèles Linéaires Généralisés (GLM) en utilisant une distribution de loi binomiale négative (fonction `glm.nb`, package MASS 7.3-53). Cette distribution est adaptée aux variables discrètes issues de dénombrements avec beaucoup de données à faibles effectifs et quelques données à fort effectifs qui étirent la distribution, entraînant une sur-dispersion (Zuur *et al.*, 2009).

Pour chacune de ces approches, le modèle permettant d'expliquer au mieux les variations d'effectif maximum a été identifié par sélection de modèle « forward ». A partir d'un modèle nul (sans variable explicative), les variables explicatives ont été sélectionnées une à une jusqu'à arriver à un modèle où l'ajout de nouvelles variables n'expliquait pas plus les variations d'effectifs. Cette sélection a été faite en utilisant le critère AIC (Akaike Information Criterion, Akaike, 1974, fonction `stepAIC`, package MASS 7.3-53) et en autorisant toutes les interactions par paires de variables.

Le diagnostic de qualité du GLM sélectionné a été réalisé en utilisant la fonction « `qresid` » du package « `statmod` », transformant les résidus de manière à ce qu'ils deviennent normalement distribués afin de faciliter le diagnostic (Dunn & Smyth, 2018). Ensuite, l'indépendance a été évaluée en regardant la distribution spatiale des résidus, la normalité des résidus a été testée à l'aide d'un test de Shapiro-Wilk (1965), l'hypothèse d'homoscédasticité a été testée grâce à des tests de Levene (1960) et la fonction « `density` » a été utilisée pour comparer la distribution des effectifs maximums observés avec ceux prédits par le modèle.

## **b) CMR et occupation des gîtes**

Afin d'analyser les données obtenues durant la CMR, des Modèles Linéaires Généralisés Mixtes (GLMM) adaptés pour une variable de réponse binaire (présence-absence, modélisée en utilisant une distribution de Bernoulli et une transformation logit) et des mesures répétées

dans le temps ont été utilisés (fonction « glmmTMB » dans le package « glmmTMB »). L'objectif était de tester le rôle de variables explicatives potentielles sur la réponse présence/absence du Phyllocladus d'Europe dans le gîte artificiel. Les différentes variables étudiées étaient le gîte, le poids, l'âge, le nombre de jours consécutifs de dérangement du gîte (d.gîte), la température diurne, la température nocturne et la présence (ou l'absence) au jour précédent (pres-1), afin de prendre en compte une possible autocorrélation temporelle. Seules les données de recapture ont été analysées.

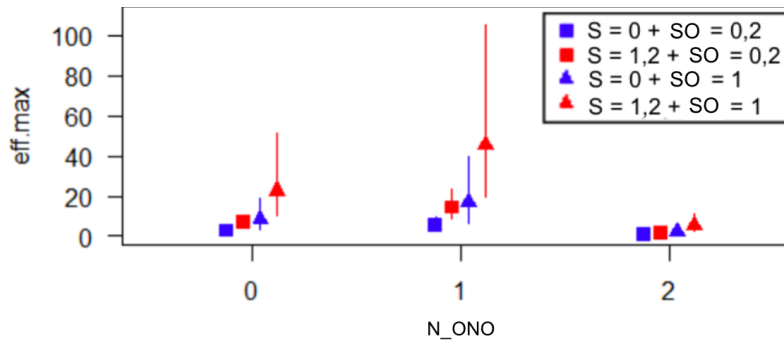
La sélection du modèle optimal a été réalisée en utilisant la stratégie top-down (Zuur *et al.*, 2009) qui est adaptée aux modèles mixtes. Afin d'identifier la partie aléatoire du modèle, un premier modèle a été estimé incluant tous les effets fixes. A partir de ce modèle, quatre structures d'effets aléatoires possibles sont testées à l'aide d'estimateurs RELM (REstricted Maximum Likelihood, Bolker *et al.*, 2009, Zuur *et al.* 2009) : différente ordonnée à l'origine pour chaque individu (1 |ind), pente aléatoire qui dépend du nombre de jours de dérangement (0 + d.gîte |ind), ordonnée à l'origine et pente qui sont corrélées (1 + d.gîte |ind) et ordonnée à l'origine et pente qui ne sont pas corrélées (1 |ind) + (0 + d.gîte |ind). Le modèle avec le meilleur effet aléatoire a été sélectionné par critère AICc (Akaike Information Criterion corrigé pour les petits effectifs, Bolker *et al.*, 2009, Hervé, 2014). En conservant cet effet aléatoire, le modèle avec les variables explicatives et les interactions deux à deux les plus pertinentes a ensuite été sélectionné. Cette sélection a été faite en fonction de l'AICc par méthode « forward » de sélection (expliqué en II.3.a) et en utilisant des estimateurs ML (Maximum Likelihood), plus pertinents dans le cas de comparaisons de modèles avec des effets fixes différents (Pinheiro & Bates, 2004, Millar, 2011). Finalement, le meilleur modèle est présenté en utilisant des estimateurs REML afin d'avoir une estimation plus fiable des différents paramètres (Zuur *et al.*, 2009).

Le diagnostic de validité de ce modèle a été réalisé à l'aide d'une approche adaptée aux modèles GLMM qui est implémentée dans le package DHARMA de R (Hartig, 2022). Au lieu des résidus classiques, la méthode utilise des résidus simulés (fonction « simulateResiduals ») qui sont bornés entre 0 et 1. Si le modèle a été spécifié correctement, les résidus ainsi calculés devraient suivre une distribution uniforme (Hartig, 2022). En plus de l'inspection visuelle des résidus, ont été testés : (i) la conformité de la distribution, du nombre de valeurs aberrantes et de la dispersion des résidus simulés par rapport aux attentes en utilisant respectivement les fonction « testUniformity », « testOutliers » et « testDispersion » et (ii) l'hypothèse d'homoscédasticité grâce à des tests de Levene.

### III - Résultats

#### 1. Variables environnementales et effectifs au sein des gîtes

La seconde approche, basée sur les variables d'origine, s'est révélée plus pertinente pour expliquer la capacité maximale du gîte (eff.max) : AIC = 300,21 versus AIC = 325,31 pour l'approche basée sur des axes d'analyses multivariées. Le meilleur modèle contient les variables N\_ONO, S et SO (Tab. 1, Fig. 3).



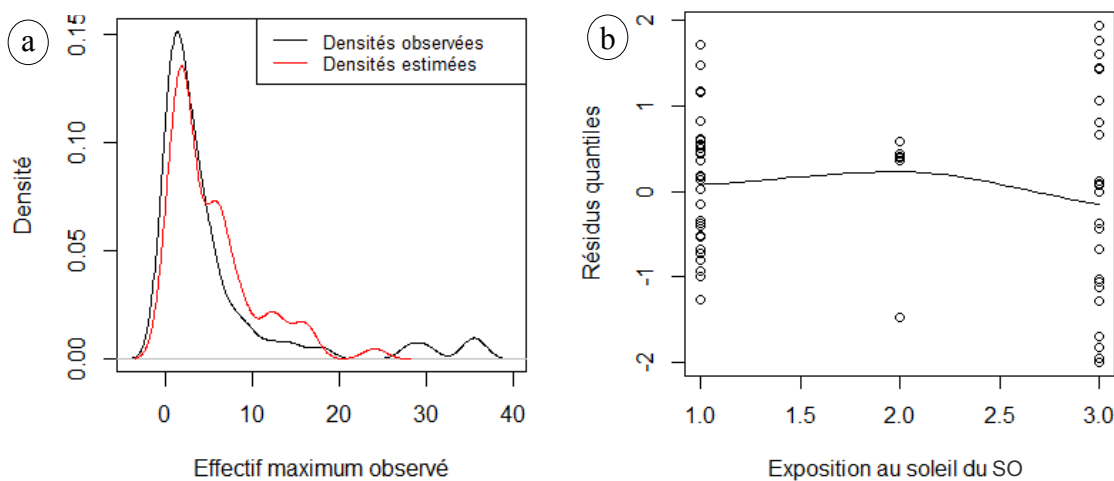
**Figure 3.** Taille des effets et intervalles de confiance à 95% pour le meilleur modèle expliquant eff.max, après avoir regroupé un certain nombre de modalités ayant des coefficients proches pour une représentation plus aisée: S = 1,2 correspond à S = 1 ou S = 2, SO = 0,2 correspond à SO=0 ou SO=2.

N\_ONO a un effet négatif significatif pour sa modalité 2 (coef = -1,39,  $P < 0,0001$ ) et, à l'inverse, un effet positif significatif pour sa modalité 1 (coef = 0,67,  $P = 0,02$ ). Ainsi, un gîte complètement exposé au vent de N à ONO aura un effectif maximal plus faible qu'un gîte complètement protégé du vent pour cette orientation, mais une exposition modérée ou partielle semble favorable. Ensuite, S a un effet positif significatif, pour ses deux modalités (modalité 1 : coef = 1,12,  $P < 0,001$  et modalité 2 : coef = 1,17,  $P = 0,001$ ). Donc un gîte exposé au soleil du sud, que ce soit totalement ou partiellement, aura statistiquement un effectif maximal plus grand qu'un gîte totalement à l'ombre pour cette orientation. Enfin, SO a aussi un impact positif sur eff.max pour la modalité 1 (coef = 1,00,  $P = 0,01$ ). Ce qui indique qu'un gîte avec une exposition modérée au sud-ouest a un effectif maximum observé plus important qu'un gîte complètement à l'ombre pour cette orientation.

**Tableau 1.** Coefficients et significativité des différentes modalités des variables sélectionnées pour le meilleur modèle expliquant les effectifs maximaux de *Phyllodactyle* d'Europe observés au sein des gîtes artificiels. Les coefficients donnés pour chaque modalité reflètent l'effet de cette modalité en comparaison avec l'effet de la modalité 0, incluse dans l'intercept. (Seuils de significativité : '\*\*\*\*' : 0, '\*\*\*' : 0,001, '\*\*' : 0,01, '\*' : 0,05, '.' : 0,1.)

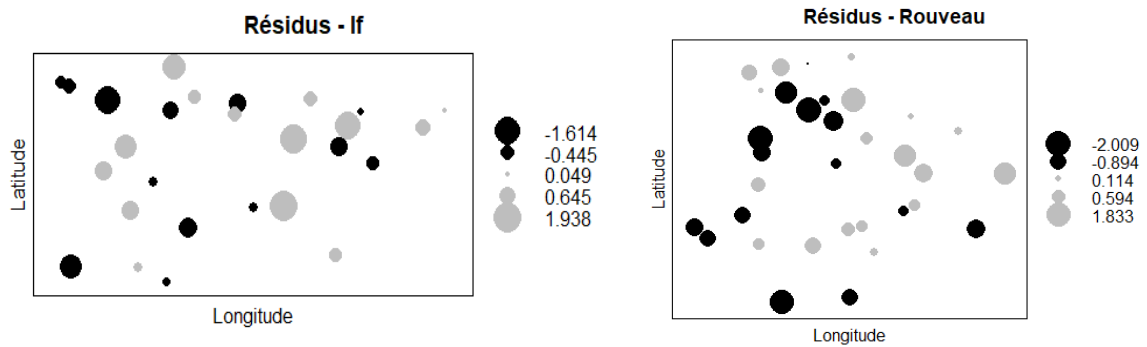
Variable / modalité	Coefficient	Erreur standard	z	p	
(Intercept)	0,9830	0,2296	4,281	1,86e-05	***
Vent N-ONO / 1	0,6752	0,2920	2,312	0,0208	*
Vent N-ONO / 2	-1,3865	0,2993	-4,632	3,62e-06	***
Soleil S / 1	1,1243	0,3335	3,371	0,0007	***
Soleil S / 2	1,1960	0,3729	3,207	0,0013	**
Soleil SO / 1	1,0011	0,4030	2,484	0,0130	*
Soleil SO / 2	-0,3529	0,3713	-0,950	0,3419	

L'hypothèse que les résidus quantiles suivent une loi normale ne peut être rejetée (test Shapiro,  $W = 0,98$ ,  $P = 0,49$ ) et la distribution des résidus paraît relativement homogène sur l'ensemble des valeurs prédites. Les densités des valeurs de  $y$  prédites par le modèle sont proches de celles des valeurs de  $y$  observées (Fig. 4.a), indiquant une bonne prédiction de la réalité par le modèle, avec néanmoins une difficulté à expliquer les quelques valeurs d'effectifs les plus hautes. En revanche, le test de Levene sur la variable SO est significatif ( $F = 9,99$ ,  $ddl = 2,57$ ,  $P < 0,01$ , Fig. 4.b), ce qui indique une non-homogénéité des variances des résidus quantiles entre les différentes modalités de SO. Toutefois, un modèle identique mais autorisant des différences de dispersion entre les différentes modalités de SO, donne des résultats presque identiques, suggérant que cette violation n'affecte pas les conclusions (non présenté).



**Figure 4.** Diagnostic de la qualité du modèle expliquant le mieux les effectifs maximaux de *Phylodactyle* d'Europe observés au sein des gîtes artificiels. a) Densités des valeurs d'effectif maximal observées et estimées ( $N = 60$ ). b) Vérification de la répartition des résidus quantiles en fonction des groupes d'exposition au soleil du sud-ouest.

Par ailleurs, l'existence d'une autocorrélation spatiale des résidus, particulièrement nette au Grand Rouveau, suggère que l'hypothèse d'indépendance n'est pas valide (Fig. 5). Par conséquent, un modèle identique mais prenant en compte l'auto-corrélation spatiale a été estimé *a posteriori* (fonction « *glmmfields* » du package « *glmmfields* »). Les coefficients obtenus sont similaires à ceux obtenus précédemment (non présenté), suggérant que nos résultats sont robustes à cette violation, même s'il convient de noter que l'effet de la modalité de variable  $N\_ONO / 1$  n'est plus significatif au seuil de 5%.



**Figure 5.** Représentation dans l'espace géographique des résidus du modèle expliquant la capacité maximale du gîte, permettant un diagnostic visuel de l'auto-corrélation spatiale. A gauche sur l'île d'If et à droite sur celle du Grand Rouveau

## 2. CMR et occupation des gîtes

L'effet aléatoire sélectionné pour le modèle d'occupation des gîtes ( $0 + d.g\grave{a}te |ind$ ) permet une variation de la réponse au dérangement entre les individus. Les variables explicatives retenues sont la présence au jour précédent, la température nocturne, l'âge et le nombre de jours de dérangement du gîte ( $AICc = 312,8$ , Tab. 2). La probabilité de présence dans le gîte augmente avec la présence le jour précédent (coef = 1,09) et diminue avec la température de la nuit précédente (coef = -0,12), l'âge de l'individu (juvénile versus adultes et sub-adultes : coef = 2,09) et le nombre de jour de dérangement (coef = -0,63).

**Tableau 2.** Coefficients et significativité des différentes variables sélectionnées pour le meilleur modèle expliquant la probabilité de présence au sein du gîte artificiel pour un individu de *Phyllodactyle* d'Europe. (Seuils de significativité : '\*\*\*\*' : 0, '\*\*\*' : 0,001, '\*\*' : 0,01, '\*' : 0,05, '.' : 0,1)

Variable	Coefficient	Erreur standard	z	P	
(Intercept)	2,2614	1,7168	1,317	0,1878	
Présence J-1	1,0931	0,8519	1,283	0,1995	
Température nocturne	-0,1249	0,0549	-2,276	0,0228	*
Âge - Juvénile	2,0856	1,1534	1,808	0,0708	.
Dérangement gîte	-0,6338	0,3722	-1,703	0,0886	.

L'hypothèse que la distribution des résidus simulés est uniforme ne peut être rejetée (test de Kolmogorov-Smirnov pour un échantillon:  $D = 0,04$ ,  $P = 0,78$ ). Aussi, le nombre de valeurs aberrantes n'est pas exceptionnel (DHARMA bootstrapped outlier test,  $P = 1$ ). En revanche, la dispersion est plus faible qu'attendu (dispersion = 0.73,  $P < 0,0001$ ), ce qui a pour conséquence principale une diminution de la puissance statistique (Hartig, 2022). Cette puissance atténuée pourrait expliquer, au moins en partie, que certaines des variables incluses dans le modèle final (après sélection par  $AICc$ ) ne sont pas significatives (Tab. 2). Pour chacun des effets fixes, à l'exception de présence J-1, les hypothèses que la distribution des résidus simulés au sein de chaque modalité est uniforme, et que les différentes modalités ont

des variances homogènes ne peuvent être rejetées ( $P > 0,3$ ). En revanche pour présence J-1, chacune de ces deux hypothèses sont rejetées ( $P < 0,01$ ).

Etant donné que présence J-1 est non-significatif ( $P = 0,20$ ), le modèle final a été comparé à un modèle sans présence J-1. La différence d'AIC est inférieure à 2 (= 1,9) et en l'absence de présence J-1, toutes les variables explicatives sont significatives ( $p < 0,05$ ) et aucune des hypothèses concernant la validité du modèle n'est rejetée (non présenté). Cela suggère donc que les conclusions quant au rôle des variables explicatives dist.gîte, température nocturne, et âge sont robustes par rapport aux violations constatées lorsque présence J-1 est inclus.

## **IV - Discussion**

### **1. Variables environnementales et effectifs au sein des gîtes**

#### **a) Importance de la qualité thermique du gîte**

Le premier objectif de cette étude était de déterminer les variables environnementales ayant un effet sur le succès des gîtes artificiels pour le *Phyllodactyle* d'Europe. Il en ressort que, à l'instar de nombreux autres reptiles (voir par exemple Huey, 1982), les variables les plus importantes lors de la sélection de l'habitat sont celles ayant un impact direct sur la température des gîtes et des individus (soleil et vent). En effet, pour les poïkilothermes nocturnes comme le *Phyllodactyle* d'Europe qui ne pratiquent pas l'insolation directe, la thermorégulation dépend uniquement du choix de gîte et de la position que prend l'individu dans ce gîte (Huey, 1982, Webb & Shine, 1998a, Kearney & Predavec, 2000). Ainsi, de nombreuses espèces de reptiles nocturnes vont réguler leur température la journée sous des roches et dans leurs gîtes, comme observé chez *Hemidactylus turcicus* (Hitchcock & McBrayer, 2006), *Hoplocephalus bungaroides* (Webb & Shine, 1998a) et *Christinus marmoratus* (Kearney & Predavec, 2000). Cette capacité à réguler sa température corporelle même au sein du gîte hors de la période d'activité a aussi été démontrée chez le *Phyllodactyle*, qui arrive à conserver une température corporelle supérieure à la température atmosphérique même lorsqu'il est inactif (Delaugerre, 1984).

#### **b) Effet complexe de l'ensoleillement**

Deux des trois variables ayant des effets significatifs sur la capacité d'accueil des gîtes concernent leur ensoleillement. Plus précisément, l'ensoleillement au sud semble le plus favorable, étant certainement l'orientation la plus efficace, et donc suffisante à elle-seule, pour réchauffer le gîte. Aussi, plusieurs études montrent que les reptiles nocturnes faisant leur thermorégulation dans des gîtes journaliers arrivent à leur température optimale l'après-midi,

du fait de l'inertie thermique du rocher qui entraîne une absorption plus lente de la chaleur (Webb & Shine, 1998a, Kearney, 2002). Mais, contrairement à ce qui pourrait être attendu, l'exposition complète au sud-ouest et l'exposition à l'ouest ne semblent pas particulièrement sélectionnées. Dans ce cas, une exposition forte du gîte en après-midi et fin de journée, surtout lors de fortes chaleurs, pourrait entraîner une surchauffe au sein du gîte qui risquerait d'atteindre des températures dépassant celles optimales voire tolérables pour l'espèce (Walls, 1983, Kearney, 2002, Edgar *et al.*, 2010). Il a notamment été observé chez le gecko nocturne *Christinus marmoratus* que les rochers ombragés sont davantage sélectionnés, particulièrement en été (Kearney, 2002). Même observation chez le serpent *Hoplocephalus bungaroides* qui utilise moins les rochers fins exposés au soleil en été (Webb & Shine, 1998b). Ces résultats pourraient concorder avec la tendance négative observée pour l'exposition complète au sud-ouest.

### **c) Impact du mistral**

Le vent de nord à ouest-nord-ouest est un autre facteur important lors de la sélection des gîtes par le Phyllodactyle d'Europe. Ce vent, le mistral, se traduit généralement par des vents forts, froids et secs (Guenard *et al.*, 2005). Il est donc compréhensible qu'une exposition totale à ce vent soit un facteur limitant pour l'installation du Phyllodactyle dans un gîte artificiel. En effet, chez les reptiles, une exposition aux vents forts, surtout dans les habitats ouverts, entraîne une réduction de la température corporelle des individus et de la température du substrat par convection, ce qui induit une baisse de l'efficacité de la thermorégulation et une diminution de la qualité thermique de l'habitat (Logan *et al.*, 2015, Ortega *et al.*, 2017). Dans le cas du Phyllodactyle, le gîte peut apporter un abri à la dessiccation, en le protégeant du vent direct et en maintenant une certaine humidité (Edgar *et al.*, 2010). Cependant les gîtes n'échappent pas au refroidissement induit par le vent, entraînant un refroidissement des individus à l'intérieur, refroidissement qui ne peut être compensé pendant la période d'activité nocturne. Le fait que seule l'exposition totale au mistral ait un effet significatif négatif correspond avec ce qui a été observé chez *Sphenodon punctatus*, dont le vent empêchait l'activité seulement au-delà d'une certaine vitesse (37km/h, Walls, 1983).

### **d) Difficultés de prédiction des valeurs extrêmes de densité**

Le modèle sélectionné pour expliquer les effectifs maximaux observés dans les gîtes peine à prédire les effectifs au-delà d'une certaine densité ; il tend à sous-estimer les densités dans les gîtes fréquentés par le plus grand nombre d'individus (Fig. 4.a) et l'incertitude, traduite par

l'amplitude des intervalles de confiance, augmente fortement quand les densités estimées dépassent approximativement 15 individus (Fig. 3). La différence entre les valeurs observées et prédites pourrait être liée au comportement grégaire du *Phyllodactyle*, dont les individus ont tendance à se regrouper au sein des gîtes naturels ou artificiels (jusqu'à 35 individus observés sous un même gîte sur If, Delaugerre & Cheylan, 1992, Delaugerre & Corti, 2020).

## **2. CMR et occupation des gîtes**

### **a) Absence de déplacements**

Le protocole de CMR réalisé sur trois gîtes n'a démontré aucun déplacement entre les ceux-ci. Les gîtes utilisés pour ce protocole sont relativement espacés : de 21 à 41 mètres. Cependant, M. Delaugerre parle de dispersions sur plus de 50 mètres de linéaire rocheux chez le *Phyllodactyle* d'Europe (Delaugerre & Corti, 2020). Mais ici la présence d'une végétation arbustive dense et de reliefs tend à augmenter la distance réelle à parcourir entre les gîtes. Il est donc difficile d'estimer si cette distance réelle est en deçà des 50 mètres cités. Il semble aussi important de noter que ce protocole de CMR a été réalisé tôt dans la saison (du 14 au 18 avril 2022). Or des déplacements tels que ceux à effectuer entre les gîtes étudiés sont plus probables en été, puisque les températures plus importantes permettent à l'espèce de s'affranchir du milieu rocheux et de se déplacer dans la végétation (Delaugerre & Cheylan, 1992). Aussi, de longs déplacements à cette période de l'année semblent de faible intérêt. Il serait intéressant de réitérer ce protocole en période estivale afin de confirmer ou d'infirmer l'absence d'échanges entre ces gîtes et de mieux comprendre les changements saisonniers de déplacement chez cette espèce.

### **b) Impact du dérangement**

Le dérangement produit au niveau des gîtes lors du protocole de CMR est en moyenne négativement corrélé à la probabilité de présence des individus. En effet, le contrôle des gîtes nécessite un démontage complet, entraînant une exposition des individus au jour, ainsi qu'une manipulation des individus pendant leur période d'inactivité. Néanmoins ce protocole de CMR reste un événement rare et localisé (seulement 3 gîtes concernés) et ne devrait donc pas avoir d'impact à long terme sur l'occupation des gîtes par le *Phyllodactyle*.

### **c) Effet de la présence J-1 : fidélité au gîte ou inactivité nocturne ?**

La probabilité de présence d'un individu dans le gîte s'avère plus importante lorsque cet individu était déjà présent dans ce gîte le jour précédent. Cela pourrait être expliqué de deux



manières : 1) les individus sont généralement fidèles à leur gîte et tendent à y revenir d'une nuit à l'autre ou 2) les individus ne sont pas actifs toutes les nuits et donc sont présents plusieurs jours de suite. Le premier cas n'est pas rare chez les geckos, qui peuvent être fidèle à leur gîte, comme observé chez *Gonatodes vittatus* (Quesnel *et al*, 2002) ou encore chez *Hoplodactylus chrysosireicus* et *Hoplodactylus duvaucelii* (Flannagan, 2000). La fidélité au gîte par le Phyllodactyle pourrait être estimée plus précisément par la mise en place d'un protocole de CMR sur plus long-terme, avec de la photo-identification des individus, qui semble fonctionner chez cette espèce (Monnet *et al.*, 2022). La seconde hypothèse nécessiterait une étude de la fréquence d'activité du Phyllodactyle, possiblement via un enregistrement vidéo d'un des gîtes artificiels sur plusieurs nuits afin de suivre les sorties et entrées d'individus marqués au préalable.

#### **d) Influence des températures extérieures sur l'occupation des gîtes**

La probabilité de présence au sein des gîtes diminue quand la température de la nuit précédente augmente. Cela est en accord avec l'idée expliquée en IV.1, qui suggère une dépendance des gîtes artificiels plus importante lorsque les températures sont plus basses. De plus, des températures plus importantes pendant les nuits les plus chaudes permettent à l'espèce de se déplacer plus librement, en s'affranchissant du milieu rocheux (Delaugerre & Cheylan, 1992). Ainsi, lors des nuits les plus chaudes, les individus seraient plus à même de s'éloigner des gîtes artificiels, ce qui pourrait expliquer leur départ, ce phénomène pouvant être accentué en cas de dérangements répétés.

#### **e) Importance des gîtes pour les juvéniles**

Pour finir, les juvéniles semblent plus dépendants des gîtes, ou fidèles à ceux-ci, que les autres individus. Cette utilisation plus importante des gîtes artificiels par les juvéniles a été observée chez le gecko *Oedura lesueurii*, pour qui 80% individus occupant les gîtes artificiels étaient des juvéniles (Webb & Shine, 2000). Il est intéressant de noter qu'en présence du Rat noir (*Rattus rattus*) sur une île, la classe d'âge la plus impactée est celle des juvéniles, dont les effectifs observés sont plus faibles que lorsque le rat est absent (Krebs *et al*, 2015). Une étude des effets sur les populations de Phyllodactyle, et particulièrement sur le taux de survie des juvéniles, de la mise en place de ces gîtes artificiels sur des îles occupées par le Rat noir serait pertinente. Cela pourrait être fait via un comparatif entre une île envahie par le Rat noir et une île où il est absent ou sur un île où la dératisation est partielle (comme c'est envisagé sur l'île de Gargalo) afin de s'affranchir des variations de conditions et de populations entre îles.

## Bibliographie

- AGIR écologique, 2016. Restauration du mur d'escarpe du Château d'If (Marseille, 13). Dossier scientifique accompagnant la demande de dérogation pour la capture, l'enlèvement, la destruction, la perturbation intentionnelle de spécimens de Phyllodactyle d'Europe, *Euleptes europaea* (Gené, 1839) (Rapport d'étude). Centre des Monuments Nationaux.
- AGIR écologique, 2021. Compte-rendu de suivi du Phyllodactyle d'Europe, *Euleptes europaea* (Gené, 1839) – Année 5 (2020) – Château d'If (Marseille, 13) (Rapport d'étude). Centre des Monuments Nationaux.
- Akaike, H., 1974. A new look at the statistical model identification. *IEEE Trans. Automat. Contr.* 19, 716–723.
- Arnold, N., Ovenden, D., 2014. Le guide herpéto: 228 amphibiens et reptiles d'Europe, Nouvelle édition. ed, Guide Delachaux.
- Ballouard, J.-M., Kauffman, C., Besnard, A., Ausanneau, M., Amiguet, M., Billy, G., Caron, S., Fosseries, G., Ferrari, T., Mariani, V., Garnier, G., Maxime, L., Dorr, F., Geoffroy, D., Bonnet, X., 2021. Recent Invaders in Small Mediterranean Islands: Wild Boars Impact Snakes in Port-Cros National Park. *Diversity* 13, 498.
- Bellard, C., Leclerc, C., Courchamp, F., 2014. Impact of sea level rise on the 10 insular biodiversity hotspots: Sea level rise and insular hotspots. *Global Ecology and Biogeography* 23, 203–212.
- Bolker, B.M., Brooks, M.E., Clark, C.J., Geange, S.W., Poulsen, J.R., Stevens, M.H.H., White, J.-S.S., 2009. Generalized linear mixed models: a practical guide for ecology and evolution. *Trends in Ecology & Evolution* 24, 127–135.
- Brundu, G., 2013. Invasive Alien Plants in Protected Areas in Mediterranean Islands: Knowledge Gaps and Main Threats, in: Foxcroft, L.C., Pyšek, P., Richardson, D.M., Genovesi, P. (Eds.), *Plant Invasions in Protected Areas*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 395–422.
- Celesti-Grapow, L., Bassi, L., Brundu, G., Camarda, I., Carli, E., D'Auria, G., Del Guacchio, E., Domina, G., Ferretti, G., Foggi, B., Lazzaro, L., Mazzola, P., Peccenini, S., Pretto, F., Stinca, A., Blasi, C., 2016. Plant invasions on small Mediterranean islands: An overview. *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology* 150, 1119–1133.

- Cheyland, M., Rivière, V., Cheyland, A., 2016. Mise en place d'un suivi à long terme de la population de Phyllodactyle d'Europe, *Euleptes europaea* sur l'île du Grand Rouveau. Initiative PIM.
- Conservation International. BIODIVERSITY HOTSPOTS - Targeted investment in nature's most important places. Conservation.org.  
<https://www.conservation.org/priorities/biodiversity-hotspots> (consulté le 24/05/22).
- Couturier, T., Debize, E., Le Mire Pecheux, L., Geoffroy, D., Moussay, C., Jailloux, A., Besnard, A., 2020. Suivi des tendances de l'occupation de l'espace par une espèce rare et cryptique : l'Eulepte d'Europe *Euleptes europaea* dans les Parcs nationaux des Calanques et de Port-Cros. (Rapport méthodologique, protocole version 1). Coopération OFB-CEFE.
- Dardun, J. Y., 2003. Problématiques de conservation du Phyllodactyle d'Europe *Euleptes europaea* sur les îles de Marseille (archipel du Frioul et de Riou) (Rapport Dess). Université de Corse, Faculté des sciences et techniques.
- Delaugerre, M. J. 1981a. Le point sur la répartition géographique de *Phyllodactylus europaeus* Gené. Bull. Soc. Herp. Fr. 18, 14–16.
- Delaugerre, M. J., 1981b. Sur l'histoire naturelle de *Phyllodactylus europaeus* Gené, 1838 (Gekkonidae Sauria Reptiles). Port-Cros : Etude d'une population naturelle. Trav. sci. Parc nation, Port-Cros 147–175.
- Delaugerre, M. J., 1984. Sur l'écologie thermique des geckos *Phyllodactylus europaeus*, *Hemidactylus turcicus* et *Tarentola mauritanica* : rythmes d'activité, températures et activité, répartition altitudinale. Travaux scientifiques du Parc Naturel Régional de la Corse 3, 96–127.
- Delaugerre, M. J., 2003. Le phyllodactyle d'Europe sur l'île de Port-Cros. Synthèse et mise à jour des carnets de terrains des recherches conduites entre 1975 et 1985. Parc National de Port-cros 24.
- Delaugerre, M. J., Cheyland, M., 1992. Atlas de répartition des batraciens et reptiles de Corse.
- Delaugerre, M. J., Corti, C., 2020. Tiny but “strong”: the European Leaf-toed gecko, *Euleptes europaea*, a terrestrial vertebrate able to survive on tiny islets. Israel J. Ecol. Evol. 66, 223–230.
- Delaugerre M. J., Ouni, R., Nouira, S., 2011. Is the European Leaf-toed gecko *Euleptes europaea* also an African? Its occurrence on the Western Mediterranean landbridge islets and its extinction rate. Herpetology Notes. 4, 127-137.

- Delaugerre, M. J., Sacchi, R., Biaggini, M., Lo Cascio, P., Ouni, R., Corti, C., 2019. Coping with aliens : how a native gecko manages to persist on Mediterranean islands despite the Black rat? *Acta Herpetologica* 89–100.
- Dunn, P.K., Smyth, G.K., 2018. *Generalized Linear Models With Examples in R*, Springer Texts in Statistics. Springer New York, New York, NY.
- Edgar, P., Baker, J., Foster, J., 2010. *Reptile habitat management handbook*. Amphibian and Reptile Conservation, Bournemouth.
- Escofier, B., 1979. Traitement simultané de variables qualitatives et quantitatives en analyse factorielle. *Cahiers de l'analyse des données* 4, 137–146.
- Flanagan, H.J., 2000. *Conservation Biology of the goldstripe gecko (Hoplodactylus chrysosireticus) and interactions with Duvaucel's gecko (Hoplodactylus duvaucelii) on Mana Island, Cook Strait, New Zealand*. (Doctoral dissertation). Massey University, Palmerston North, New Zealand.
- Gibson, L.A., McKenzie, N.L., 2012. Identification of biodiversity assets on selected Kimberley islands: background and implementation. *Rec West Aust Mus Sup* 81, 1.
- Gros-Désormeaux, J.-R., 2012. *La biodiversité dans des territoires insulaires, approche théorique et perspectives de développement*. Développement durable.
- Guenard, V., Drobinski, P., Caccia, J.-L., Campistron, B., Bench, B., 2005. An Observational Study of the Mesoscale Mistral Dynamics. *Boundary-Layer Meteorol* 115, 263–288.
- Hartig, F., 2022. DHARMa: residual diagnostics for hierarchical (multi-level/mixed) regression models. [cran.r-project](https://cran.r-project.org/web/packages/DHARMa/vignettes/DHARMa.html).  
<https://cran.r-project.org/web/packages/DHARMa/vignettes/DHARMa.html> (consulté le 20/05/22).
- Herrero, A., Ruiz-Benito, P., Andivia, E., Madrigal-González, J., Villar-Salvador, P., Ratcliffe, S., Zavala, M.A., 2021. Mediterranean Pine Forest Distribution: Assessing Vulnerability and Resilience Under Climate Change, in: Ne'eman, G., Osem, Y. (Eds.), *Pines and Their Mixed Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin, Managing Forest Ecosystems*. Springer International Publishing, Cham, 251–277.
- Hervé, M., 2014. *Aide-mémoire de statistique appliquée à la biologie*. Constr Son Étude Anal Résultats à l'aide du logiciel R, 5, 218.
- Hitchcock, M. A., McBrayer, L. D., 2006. Thermoregulation in nocturnal ectotherms: seasonal and intraspecific variation in the Mediterranean gecko (*Hemidactylus turcicus*). *Journal of Herpetology* 40, 185-195.
- Hotelling, H., 1933. Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *Journal of Educational Psychology* 24, 417–441.

- Huey, R. B., 1982. Temperature, physiology, and the ecology of reptiles. *Biology of the Reptilia*, 25-91
- Hulme, P. E., Brundu, G., Camarda, I., Dalias, P., Lambdon, P., Lloret, F., Médail, F., Moragues, E., Suehs, C., Traveset, A., Troumbis, A., Vilà, M., 2008. Assessing the risks to Mediterranean islands ecosystems from alien plant introductions, in: *Plant Invasions: Human Perception, Ecological Impact and Management*. Backhuys publ, Leiden, 39–56.
- Kearney, M., 2002. Hot rocks and much-too-hot rocks: seasonal patterns of retreat-site selection by a nocturnal ectotherm. *Journal of Thermal Biology* 27, 205–218.
- Kearney, M., Predavec, M., 2000. Do nocturnal ectotherms thermoregulate ? A study of the temperate gecko *Christinus marmoratus*. *Ecology* 81, 2984–2996.
- Krebs, E., Abba, A., Gillet, P., Eudeline, R., Gauthier, J., Le Quilliec, P., Lorvelec, O., Martinerie, G., Vidal, E., Buisson, E., 2015. Réponses des populations de reptiles à l'éradication du rat noir (*Rattus rattus*) sur l'île de Bagaud (parc national de Port-Cros, Var, France). *Revue d'Ecologie, Terre et Vie* 70, 99–109.
- Lefebvre, G., Redmond, L., Germain, C., Palazzi, E., Terzago, S., Willm, L., Poulin, B., 2019. Predicting the vulnerability of seasonally-flooded wetlands to climate change across the Mediterranean Basin. *Science of The Total Environment* 692, 546–555.
- Logan, M.L., Fernandez, S.G., Calsbeek, R., 2015. Abiotic constraints on the activity of tropical lizards. *Funct Ecol* 29, 694–700.
- Marchand, M. A., Roy, C., Renet, J., Delauge, J., Meyer, D., Hayot, C., 2017. Liste rouge régionale des amphibiens et reptiles de Provence-Alpes-Côte d'Azur. Publication du Conservatoire des Espaces Naturels
- Médail, F., 2017. The specific vulnerability of plant biodiversity and vegetation on Mediterranean islands in the face of global change. *Reg Environ Change* 17, 1775–1790.
- Médail, F., Diadema, K., 2009. Glacial refugia influence plant diversity patterns in the Mediterranean Basin. *Journal of Biogeography* 36, 1333–1345.
- Médail, F., Myers, N., 2004. Mediterranean Basin, in: *Hotspots Revisited: Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions*, Cemex Books on Nature. CEMEX, Mexico, 144–147.
- Millar, R.B., 2011. Maximum likelihood estimation and inference: with examples in R, SAS, and ADMB, 1. publ. ed, *Statistics in practice*. Wiley, Chichester.
- Monnet, C., Dokhelar, T., Renet, J., 2022. Rapid colour changes in a tiny threatened gecko do not impede computer-assisted individual recognition (preprint). *Ecology*.

- Nias, R.C., Burbidge, A.A., Ball, D., Pressey, R.L., 2010. Island arks: the need for an Australian national island biosecurity initiative. *Ecological Management & Restoration* 11, 166–167.
- Ortega, Z., Mencía, A., Pérez-Mellado, V., 2017. Wind constraints on the thermoregulation of high mountain lizards. *Int J Biometeorol* 61, 565–573.
- Pinheiro, J.C., Bates, D.M., 2004. Mixed-effects models in S and S-PLUS, Nachdr. ed, Statistics and computing. Springer, New York Berlin Heidelberg.
- QGIS Development Team, 2022. QGIS Geographic Information System. QGIS Association.
- Quesnel, V.C., Seifan, T., Werner, N., Werner, Y.L., 2002. Field and captivity observations of the lizard *Gonatodes vittatus* (Gekkonomorpha: Sphaerodactylini) in Trinidad and Tobago. *Living World, Journal of the Trinidad and Tobago Field Naturalists' Club* 8–18.
- R Core Team, 2021. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing.
- Renet, J., Gerriet, O., Jardin, M., Magne, D., 2008. Les populations de phyllodactyle d'Europe *Euleptes europaea* Gené, 1839 Reptilia Sauria Gekkonidae dans les Alpes-Maritimes : premiers éléments sur leur répartition et leur écologie. *Faune de Provence* 117–126.
- Renet, J., Gerriet, O., Kulesza, V., Delaugerre, M., 2013. Le Phyllodactyle d'Europe *Euleptes europaea* (Gené, 1839) (Reptilia, Squamata, Sphaerodactylidae) - Les populations continentales françaises ont-elles un avenir ? *Bull. Soc. Herp. Fr.* 189–198.
- Renet, J., Monnet, C., 2021. Etat des lieux des populations d'Eulepte d'Europe en région PACA : Vers l'élaboration d'une stratégie conservatoire régionale en faveur de l'espèce. Conservatoire d'espaces naturels de Provence-Alpes-Côte d'Azur.
- Roberston, P., Bainbridge, I., de Soye, Y., 2011. Priorities for conserving biodiversity on european islands. Presented at the Convention on the conservation of European wildlife and natural habitats, European Council, Strasbourg.
- Rodrigues, A.S.L., Akçakaya, H.R., Andelman, S.J., Bakarr, M.I., Boitani, L., Brooks, T.M., Chanson, J.S., Fishpool, L.D.C., Da Fonseca, G.A.B., Gaston, K.J., Hoffmann, M., Marquet, P.A., Pilgrim, J.D., Pressey, R.L., Schipper, J., Sechrest, W., Stuart, S.N., Underhill, L.G., Waller, R.W., Watts, M.E.J., Yan, X., 2004. Global Gap Analysis: Priority Regions for Expanding the Global Protected-Area Network. *BioScience* 54, 1092.

- Salvidio, S., Delaugerre, M., 2003. Population dynamics of the european leaf-toed gecko (*Euleptes europaea*) in NW Italy: implications for conservation. *Herpetological Journal* 81–88.
- Selwood, K.E., Zimmer, H.C., 2020. Refuges for biodiversity conservation: A review of the evidence. *Biological Conservation* 245, 9.
- Shapiro, S.S., Wilk, M.B., 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* 52, 591–611.
- Stockwell, M.P., Bower, D.S., Bainbridge, L., Clulow, J., Mahony, M.J., 2015. Island provides a pathogen refuge within climatically suitable area. *Biodivers Conserv* 24, 2583–2592.
- Tranchant, A., Vidal, E., Kayser, Y., 2003. Premières données sur le régime alimentaire du chat haret *Felis catus* en situation micro-insulaire méditerranéenne. *Revue d'Ecologie, Terre et Vie, Société nationale de protection de la nature* 58, 411–418.
- Underwood, E.C., Viers, J.H., Klausmeyer, K.R., Cox, R.L., Shaw, M.R., 2009. Threats and biodiversity in the mediterranean biome. *Diversity and Distributions* 15, 188–197.
- Vacher, J.-P., Geniez, M., 2010. Les reptiles de France, Belgique, Luxembourg et Suisse : Cahier d'identification. Cartes de distribution, Publications scientifiques du muséum. Biotopie Éditions, Mèze, 544
- Walls, G.Y., 1983. Activity of the tuatara and its relationships to weather conditions on Stephens Island, Cook Strait, with observations on geckos and invertebrates. *New Zealand Journal of Zoology* 10, 309–317.
- Webb, J K, Shine, R., 1998a. Using thermal ecology to predict retreat-site selection by an endangered snake species. *Biological Conservation* 86, 233–242.
- Webb, J, K., Shine, R., 1998b. Thermoregulation by a Nocturnal Elapid Snake (*Hoplocephalus bungaroides*) in Southeastern Australia. *Physiological Zoology* 71, 680–692.
- Webb, J.K., Shine, R., 2000. Paving the way for habitat restoration: can artificial rocks restore degraded habitats of endangered reptiles? *Biological Conservation* 92, 93–99.
- Weigelt, P., Jetz, W., Kreft, H., 2013. Bioclimatic and physical characterization of the world's islands. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 110, 15307–15312.
- Zuur, A.F., Ieno, E.N., Walker, N., Saveliev, A.A., Smith, G.M., 2009. Mixed effects models and extensions in ecology with R, *Statistics for Biology and Health*. Springer New York, New York, NY.

**Annexe 1.** Récapitulatif des variables relevées pour chaque gîte artificiel, avec les explications précises de leurs significations et leurs gammes de valeurs

Nom de la variable	Signification	Valeurs
Id	Identifiant du gîte	1 à x
Site	Site de suivi où est le gîte	If / Rouveau
eff.max	Effectif maximum observé au sein du gîte	0 à x
Sea_d	Distance du bord de mer le plus proche (QGIS 3.16)	0 à x
v0_5	% de recouvrement de la strate de végétation de 0 à 5cm, sur un rayon de 5m	0 à 100 %
v5_15	% de recouvrement de la strate de végétation de 5 à 15cm, sur un rayon de 5m	0 à 100 %
v15_40	% de recouvrement de la strate de végétation de 15 à 40cm, sur un rayon de 5m	0 à 100 %
v40	% de recouvrement de la strate de végétation de plus de 40cm, sur un rayon de 5m	0 à 100 %
Sable	% de substrat sableux, sur un rayon de 5m	0 à 100 %
Roche	% de substrat rocheux, sur un rayon de 5m	0 à 100 %
Terre	% de substrat terreux, sur un rayon de 5m	0 à 100 %
Béton	% de béton (concrete), sur un rayon de 5m	0 à 100 %
Pierre de construction	% de pierre de construction, sur un rayon de 5m	0 à 100 %
Stru	Structure du sol, configuration des différents types de substrat	0 : Homogène, un unique substrat 1 : Hétérogène, grands patchs 2 : Mosaïque, petits patchs mélangés
Goel	Nombre de nids de goéland, sur un rayon de 5m	0 à x
Pod.sp	Présence connue de <i>Podarcis</i> ( <i>P. siculus</i> sur If et <i>P. muralis</i> sur le Rouveau) sur le gîte	0 / 1
Nat_g	Présence de gîte naturel (roche plus ou moins fissurée), dans un rayon de 5m	0 / 1
Ant_g	Présence de gîte anthropique (bâtiment avec fissures/pierres, rempart), dans un rayon de 5m	0 / 1
Arti_g	Distance du gîte artificiel le plus proche, en mètres	0 à x
E SE S SO O	Ensoleillement pour chaque orientation du soleil	0 : gîte totalement à l'ombre pour cette orientation 1 : ombre relative pour cette orientation 2 : plein soleil pour cette orientation
sun.pc	Pourcentage total d'ensoleillement (somme des différentes orientation x 10)	0 à 100 %
O_ONO ENE_ESE	Exposition au vent, pour les deux orientations majeures dans cette région	0 : Gîte complètement protégé du vent 1 : Gîte moyennement protégé du vent 2 : Gîte complètement exposé au vent
Gen.esp	Présence importante de cette espèce végétale, sur un rayon de 5m	0 / 1



*Titre* : Sélection et occupation journalière des gîtes artificiels par un spécialiste des îles méditerranéennes, le Phyllodactyle d'Europe, *Euleptes europaea* (Gené, 1839)

*Résumé* :

Le Phyllodactyle d'Europe, *Euleptes europaea*, est un gecko méditerranéen nocturne et rupicole en déclin, y compris dans ses bastions insulaires. Afin d'étudier l'effet de mesures de gestion et d'aménagement sur les îles du Grand Rouveau et d'If, des suivis de populations par gîtes artificiels y ont été mis en place. Les objectifs de cette étude étaient de mettre en évidence : (1) les variables environnementales (ensoleillement, vent, végétation et substrat) ayant un impact sur nombre maximum d'individus observé et (2) les variables météorologiques (températures diurne et nocturne), biologiques (sexe, âge et poids) et de dérangement qui influencent l'utilisation quotidienne des gîtes par les phyllodactyles. Les variables environnementales de chaque gîte ont été relevées en 2021 et 2022 et un protocole de capture-marquage-recapture a été réalisé pendant cinq jours sur l'île du Grand Rouveau en 2022. Les effectifs maximaux au sein des gîtes apparaissent déterminés par la qualité thermique du gîte via l'exposition au mistral et à l'ensoleillement et non par la structure de l'habitat et la végétation alentour. La présence au sein du gîte apparaît positivement liée à la présence au sein du gîte le jour précédent, et négativement liée à la température de la nuit précédente, à l'âge de l'individu et au nombre de jours de dérangement. Ces résultats apportent des indications sur les facteurs qui régissent le choix et l'utilisation des gîtes par l'espèce et ouvrent des perspectives quant à l'utilisation des gîtes artificiels pour le suivi et la conservation du phyllodactyle.

*Mots-clés* : déplacements, endémisme, fidélité au gîte, poïkilotherme, thermorégulation

---

*Title* : Selection and daily occupancy of artificial retreat-site by a mediterranean island specialist, the European leaf-toad gecko, *Euleptes europaea* (Gené, 1839)

*Abstract* :

The European leaf-toad gecko, *Euleptes europaea*, is a nocturnal and rock-dwelling mediterranean gecko in decline, even in its island bastions. In order to study the effects of management and amenagment measures on Grand Rouveau et If islands, population monitorings through artificial retreat-sites was implemented on those islands. The objectives of this study were to highlight : (1) environmental variables (sunshine, wind, vegetation and substrate) that have an impact on the maximum number of individuals observed and (2) the meteorological (nocturnal and diurnal temperatures), biological (sex, age and weight) and disturbance variables that influence the daily use of the retreat-sites by the European leaf-toad gecko. The environmental variables of each retreat-site were measured in 2021 and 2022 and a capture-mark-recapture protocol was carried out for five days on the Grand Rouveau island in 2022. Maximum number inside the retreat-sites appears to be determined by the thermal quality of the retreat-site through Mistral and sunlight exposure and not by the structure of the habitat and the nearby vegetation. Presence in the retreat-site appears positively related to presence in the retreat-site the previous day, and negatively related to the temperature of the previous night, the age of the individual and the number of days of disturbance. These results provide insights into the factors governing the choice and use of retreat-sites by the species and open perspectives on the use of artificial retreat-sites for monitoring and conservation of the European leaf-toad.

*Key-words* : movement, endemism, retreat-site fidelity, poikilotherm, thermoregulation