

Étude de l'écologie thermique du Phyllodactyle d'Europe (*Euleptes europaea*, Gené, 1839) sur l'île du Grand Rouveau

Détermination des paramètres thermiques favorables
à l'occupation des gîtes artificiels



Présenté par Tom Lagraulet



Encadrante : Eva Tankovic (Initiative PIM)

Co-encadrante : Julie Quessada (AGIR écologique, SETE-CNRS)

Co-encadrant : Vincent Rivière (AGIR écologique)



Phyllodactyle d'Europe (*Euleptes europaea*)

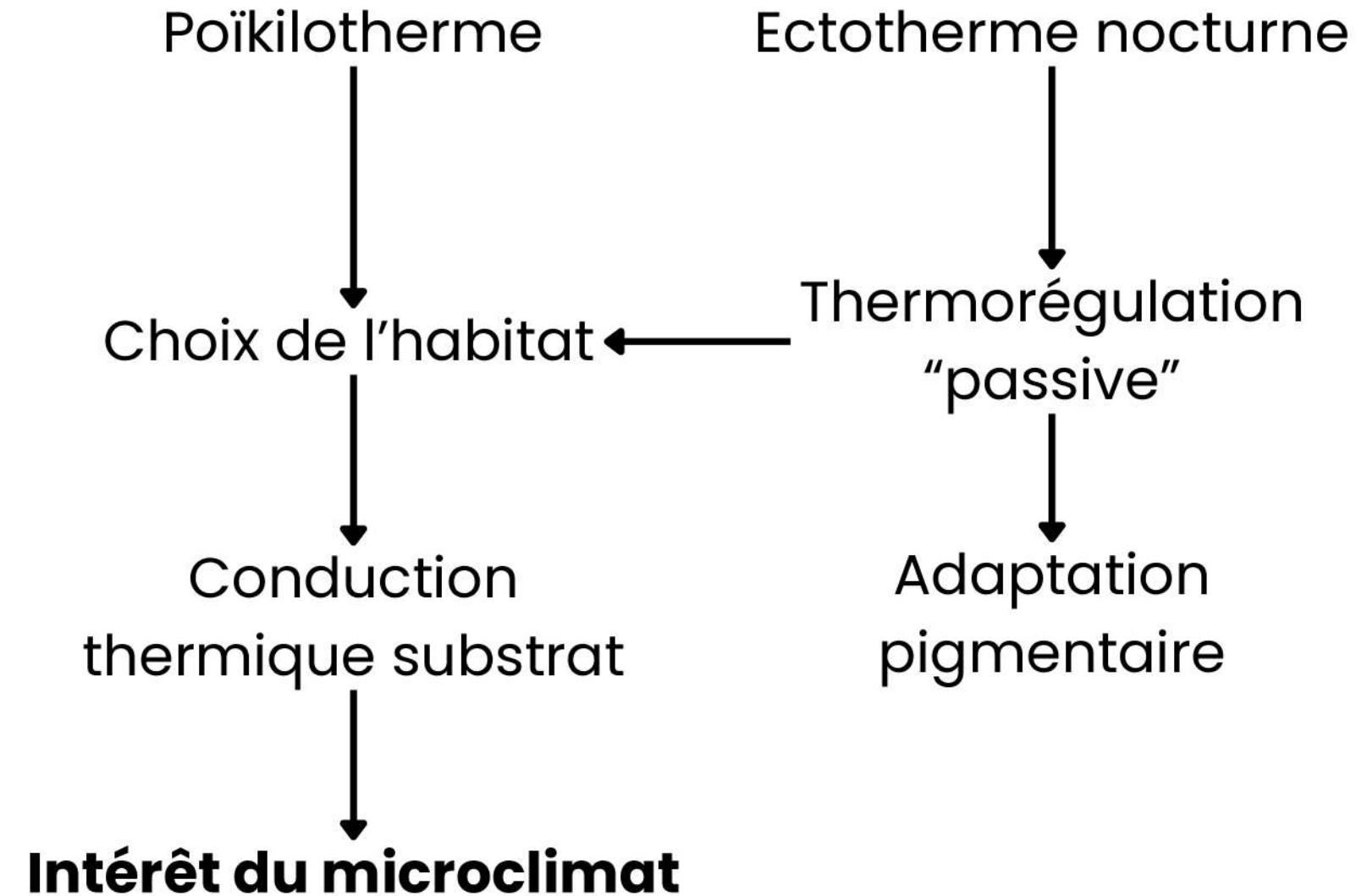
Écologie

- ~ 4 cm (SVL)
- Insectivore
- Rupicole
- Nocturne



Espèce discrète

Écologie thermique



© Salvadio et al. 2011

Aire de répartition

- Quasi-insulaire
- Relictuelle
- Centrée autour de la mer tyrrhénienne



Corse, les archipels de la côte provençale (Frioul, Riou, Embiez, Lérins) et dans les Alpes-Maritimes



Archipel toscan, Sardaigne, Sicile, Toscane et Campanie



Îles de l'archipel de la Galite



Aire de répartition du *Phyllodactyle* d'Europe
d'après Giacalone et al., 2024

Phyllodactyle d'Europe

Menaces & statuts

- Rénovation de bâti ancien & sécurisation de milieux rupestres
- Isolement des populations
- Introduction d'espèces allochtones
- Changement climatique



PACA



UE &
International

Annexe II
Directive
Habitat
(France)



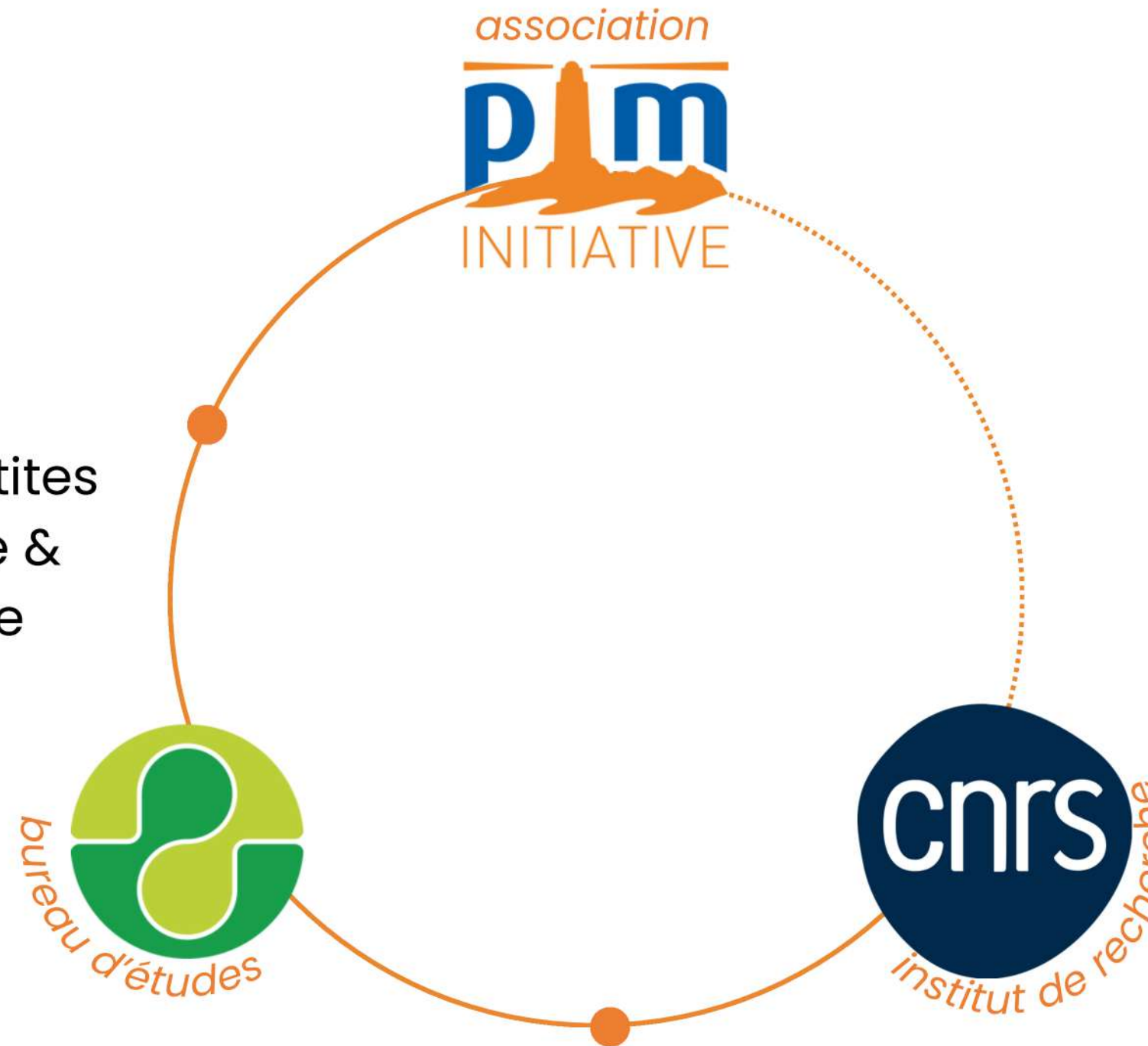
© Julie Quessada

Photographie d'un Phyllodactyle d'Europe adulte

Contexte de l'étude



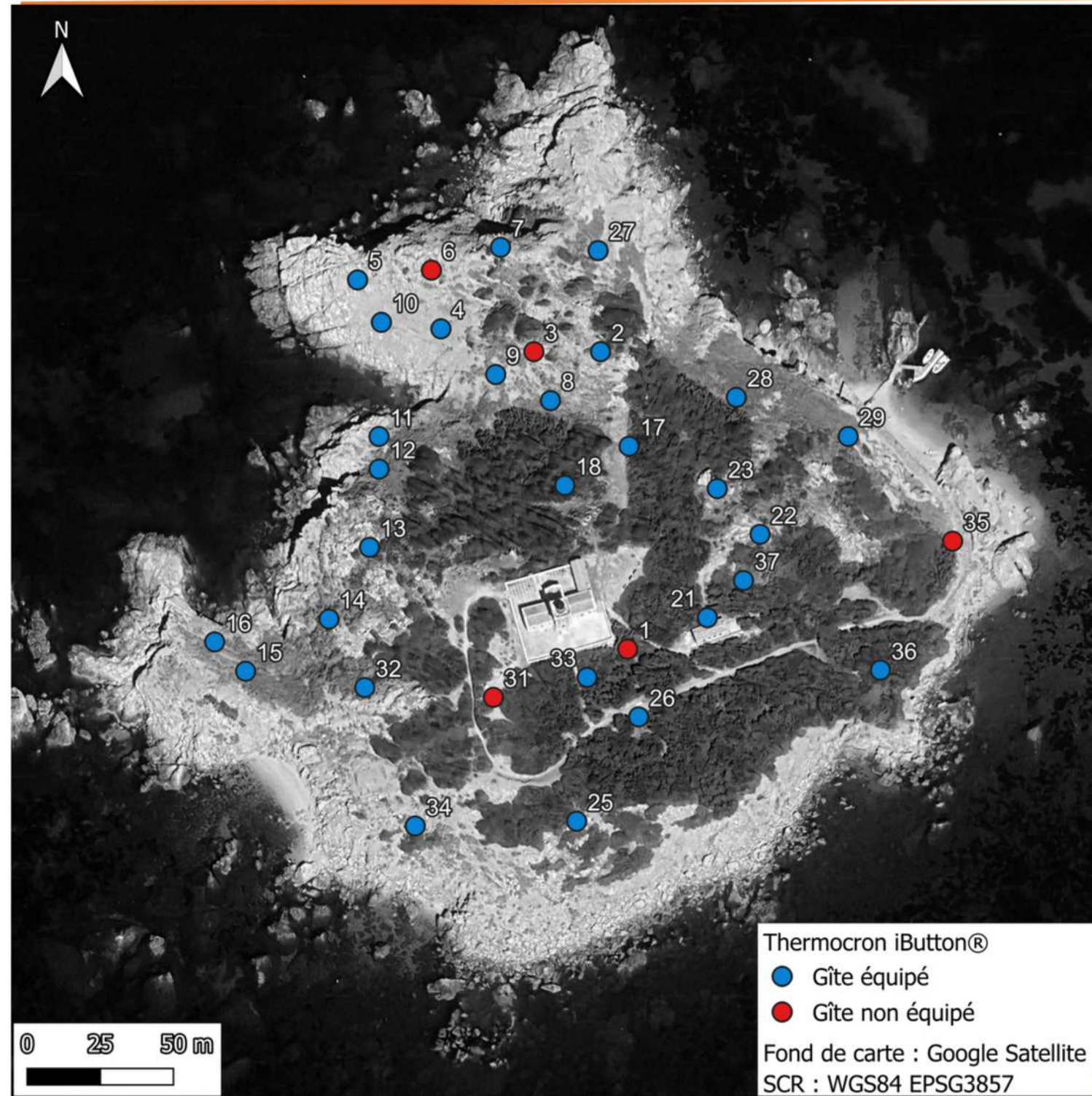
Collaboration
sur des mesures
de gestions sur les petites
îles de Méditerranée &
Suivis Phyllodactyle
d'Europe



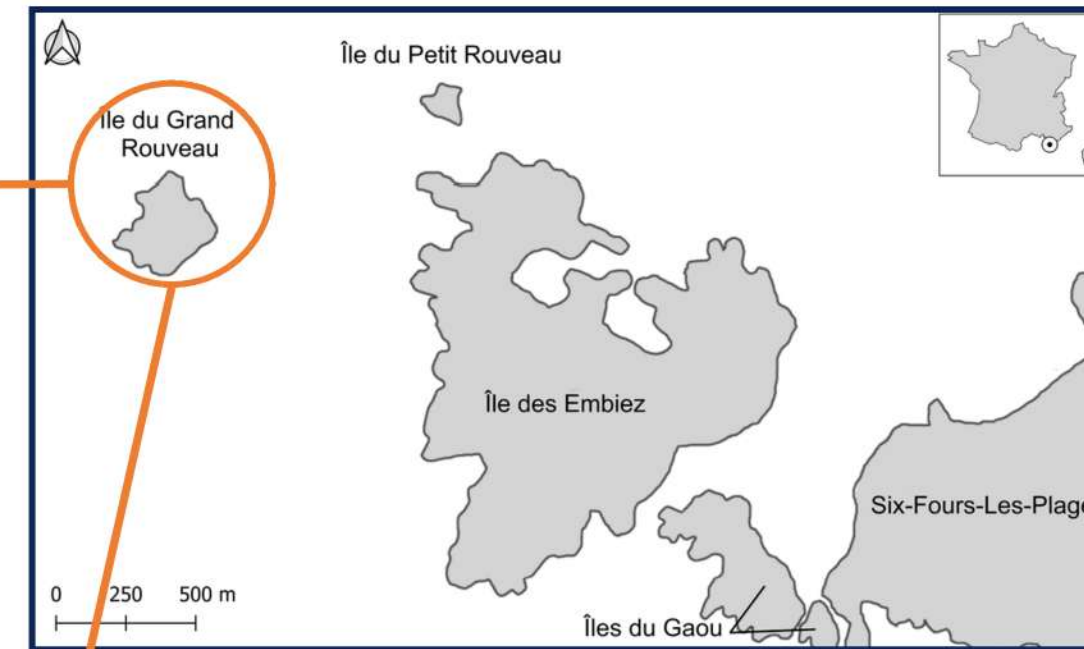
Thèse CIFRE par Julie Quessada

Dynamique et gestion des petites populations isolées : collecte et
intégration des données pour la conservation du Phyllodactyle d'Europe

Site d'étude



Carte de l'île du Grand Rouveau et de l'archipel des Embiez
(fond © plage.tv)



- *Propriété du Conservatoire du Littoral (2000)*
- *Site marin d'Importance Communautaire (2003)*
- *Natura 2000 - Embiez Cap Sicié (2003)*
- *ASPIM (2011)*

Île du Grand Rouveau

2013	Mise en place des premiers suivis <i>E. europaea</i> (gîtes)
2022	Première étude thermique (Quessada <i>et al.</i> , 2024)
2024	Installation de capteurs Thermocron iButton®

Protocole de suivi des gîtes artificiels



Retirer les pierres

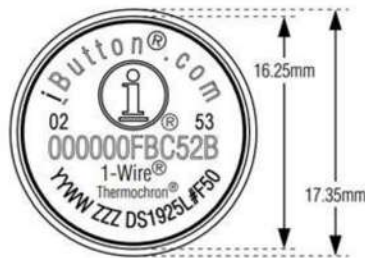


Capture des individus



Relevé de la classe d'âge, taille, du sexe, du poids et toutes autres remarques (oeufs, autotomie ...)

Photographie du dos pour la photo-identification



Relevé des données de températures au sein du gîte



Photographie d'un gîte fermé



Photographie d'un gîte ouvert

Protocole de suivi des gîtes artificiels



Retirer les pierres

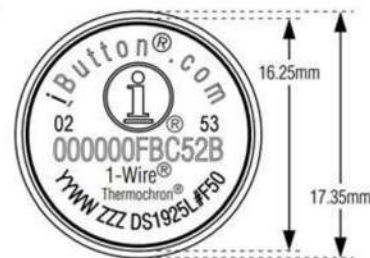


Capture des individus



Relevé de la classe d'âge, taille, du sexe, du poids et toutes autres remarques (oeufs, autotomie ...)

Photographie du dos pour la photo-identification



Relevé des données de températures au sein du gîte



Ouverture du gîte dans une caisse

Protocole de suivi des gîtes artificiels



Retirer les pierres

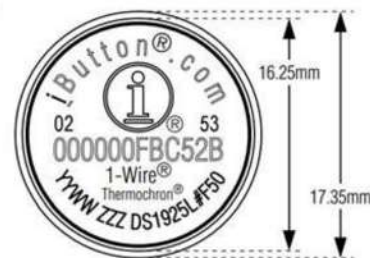


Capture des individus



Relevé de la classe d'âge, taille, du sexe, du poids et toutes autres remarques (oeufs, autotomie ...)

Photographie du dos pour la photo-identification



Relevé des données de températures au sein du gîte



Détermination des caractéristiques physiques



Photographie du patron dorsal

Protocole de suivi des gîtes artificiels



Retirer les pierres

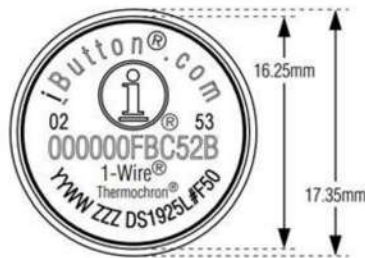


Capture des individus



Relevé de la classe d'âge, taille, du sexe, du poids et toutes autres remarques (oeufs, autotomie ...)

Photographie du dos pour la photo-identification



Relevé des données de températures au sein du gîte



Relevé des données thermiques

Protocole de suivi des températures



Macroclimatiques

Fréquence d'acquisition : 1 donnée/heure



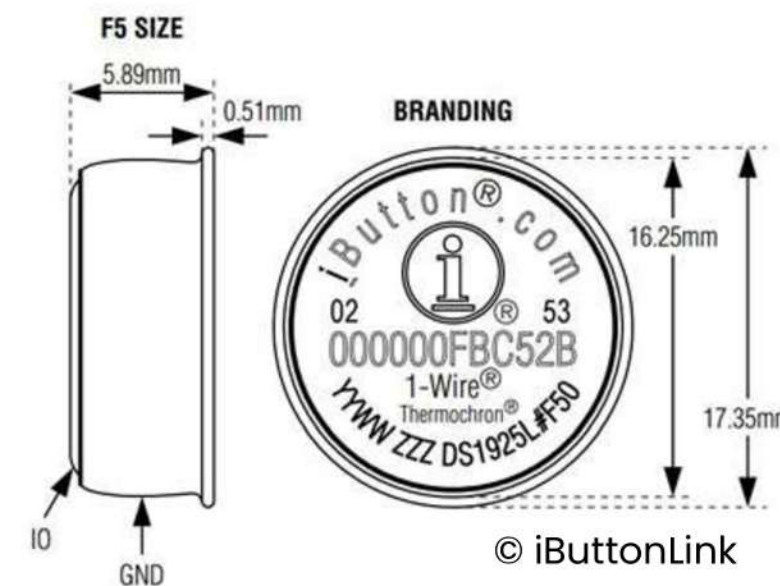
© Lascar Electronics

Sonde Lascar Electronics EL-USB-1

Microclimatiques

Installation des capteurs dans les 28 gîtes : 08/2024

Fréquence d'acquisition : 1 donnée/heure



© iButtonLink

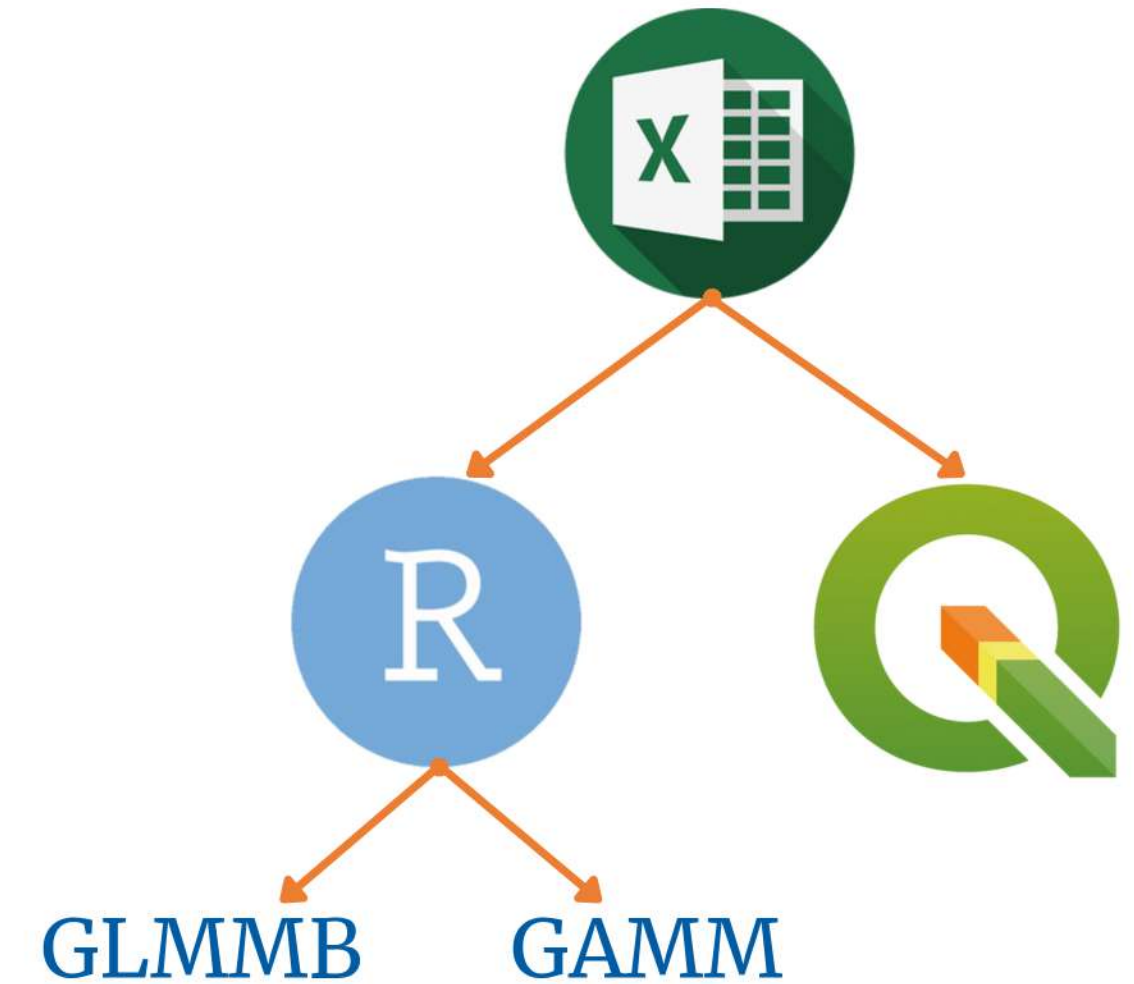


© Christophe Chellaperman

Schéma d'un capteur Thermochron® – Hygrochron™ iButton® et son lecteur

Traitement et analyses des données

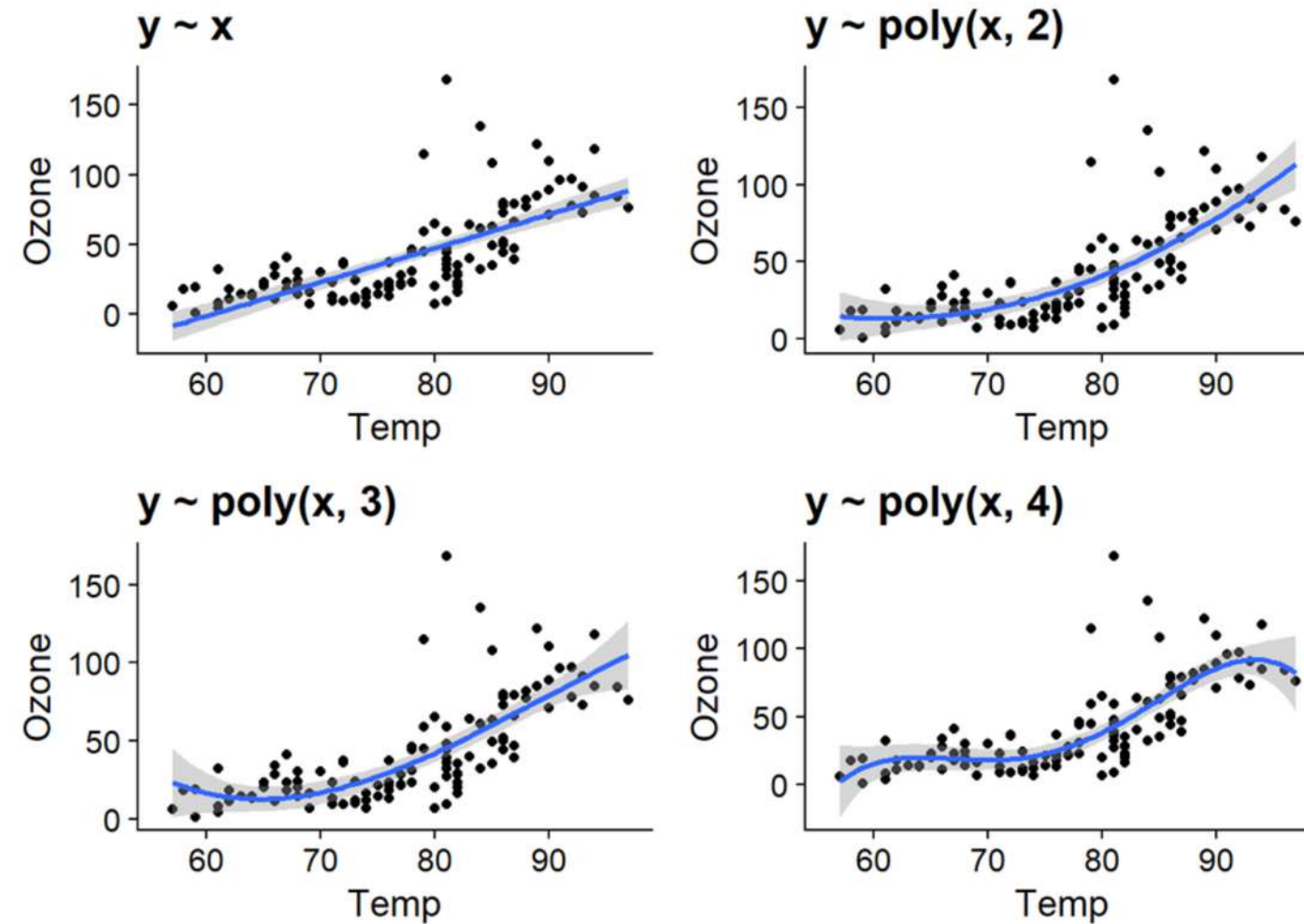
- Effectifs : 140 observations (28 x 5)
- Macroclimatiques : 7500 données
- Microclimatiques : 210 000 données



➡ Création des variables nécessaires aux modèles
Packages R utilisés : dplyr, tidyr, ggplot2, brms, bayesplot, loo, mgcv & itsadug



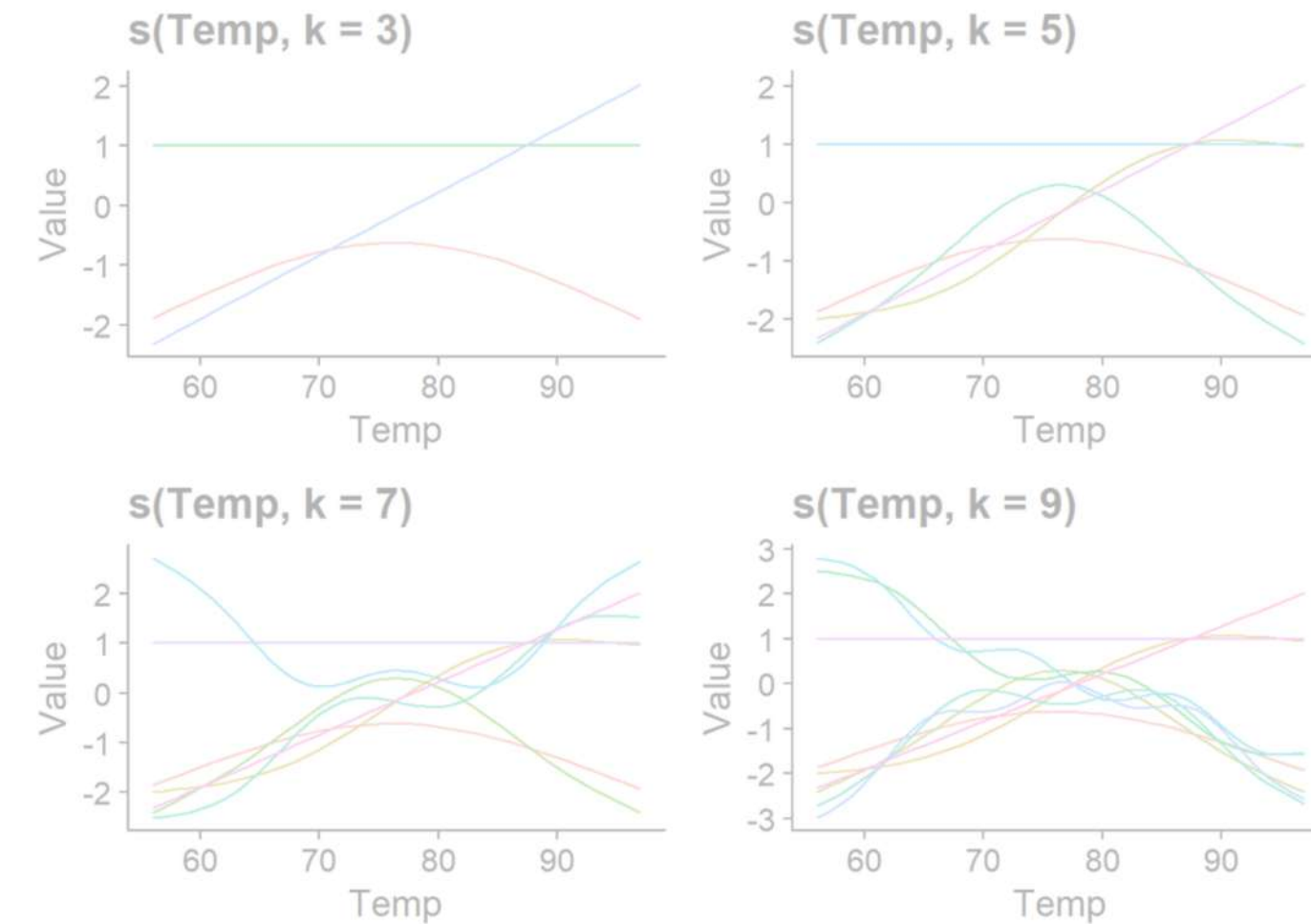
Modèle Additif Généralisé Mixte (GAMM) – Théorie



Modélisation par fonction polynomiale

Modélisation linéaire polynomiale

- temps calculs rapides
- rarement bien ajustée

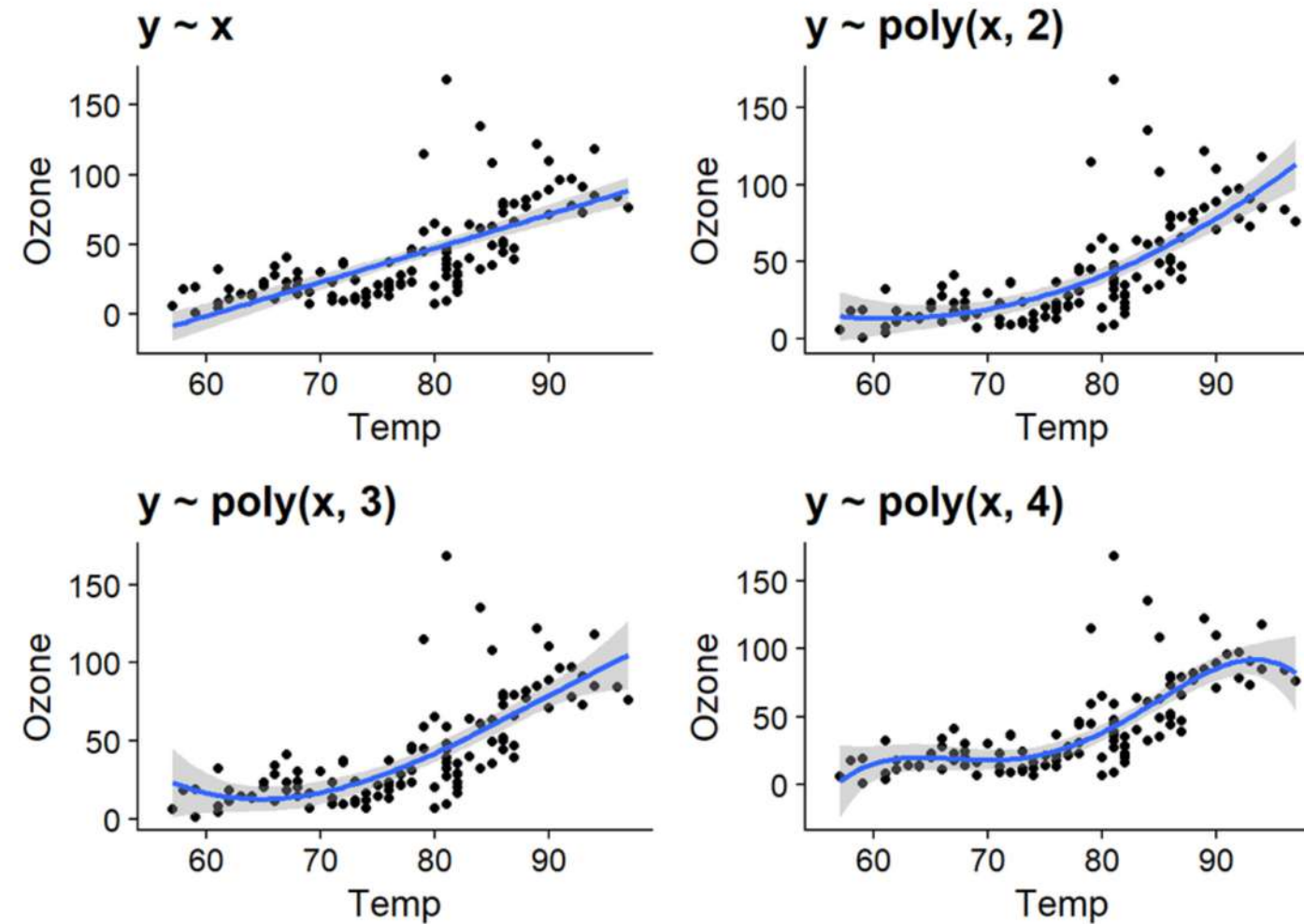


Modélisation par combinaison de fonctions

Modélisation non-linéaire (GAMM)

- combinaison fonctions de base (k)
- ajustement plus flexible
- temps calculs longs
- modèles complexes

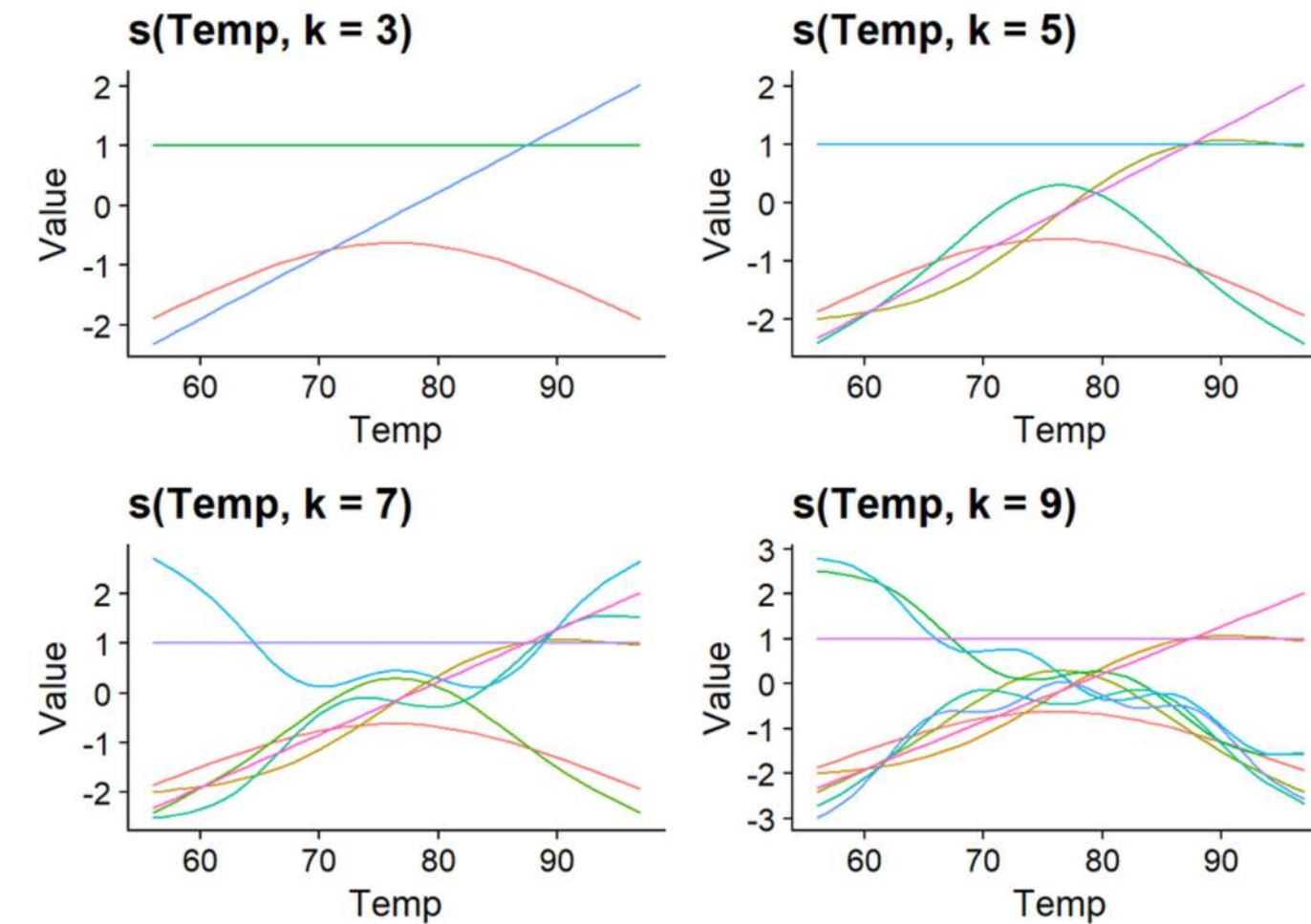
Modèle Additif Généralisé Mixte (GAMM) – Théorie



Modélisation par fonction polynomiale

Modélisation linéaire polynomiale

- temps calculs rapides
- rarement bien ajustée



Modélisation par combinaison de fonctions

Modélisation non-linéaire (GAMM)

- combinaison fonctions de base (k)
- ajustement plus flexible
- temps calculs longs
- modèles complexes

Modèle Additif Généralisé Mixte (GAMM)

$$\Delta T \sim f(\text{temps}):attractivité + f(\text{heure}):attractivité + (1 | \text{jour})$$

- Approche fréquentiste
- Non-linéaire
- Loi normale
- Auto-corrélation des données

Variable	Signification	Valeurs
<i>temps</i>	Nombre de jours depuis le début du suivi	0 à 314
<i>heure</i>	Heure du relevé	1 à 24
<i>attractivité</i>	Niveau d'attractivité des gîtes	Nulle, Faible, Forte
<i>Ts</i>	Température de la sonde (°C)	[-0,3 ; 25]
<i>Tm</i>	Température moyenne des gîtes d'une même classe d'attractivité (nulle, faible, forte) (°C)	] 5 ; 39 [
ΔT	Différence de température entre <i>Tm</i> et la température de la sonde <i>Ts</i> (<i>Tm</i> - <i>Ts</i>) (°C)	] -1 ; 18 [

Modèle Linéaire Généralisé Mixte Bayésien (GLMMB) – Théorie

- Approche **probabiliste**
- Robuste (petits jeux données)
- Quantification directe de l'incertitude

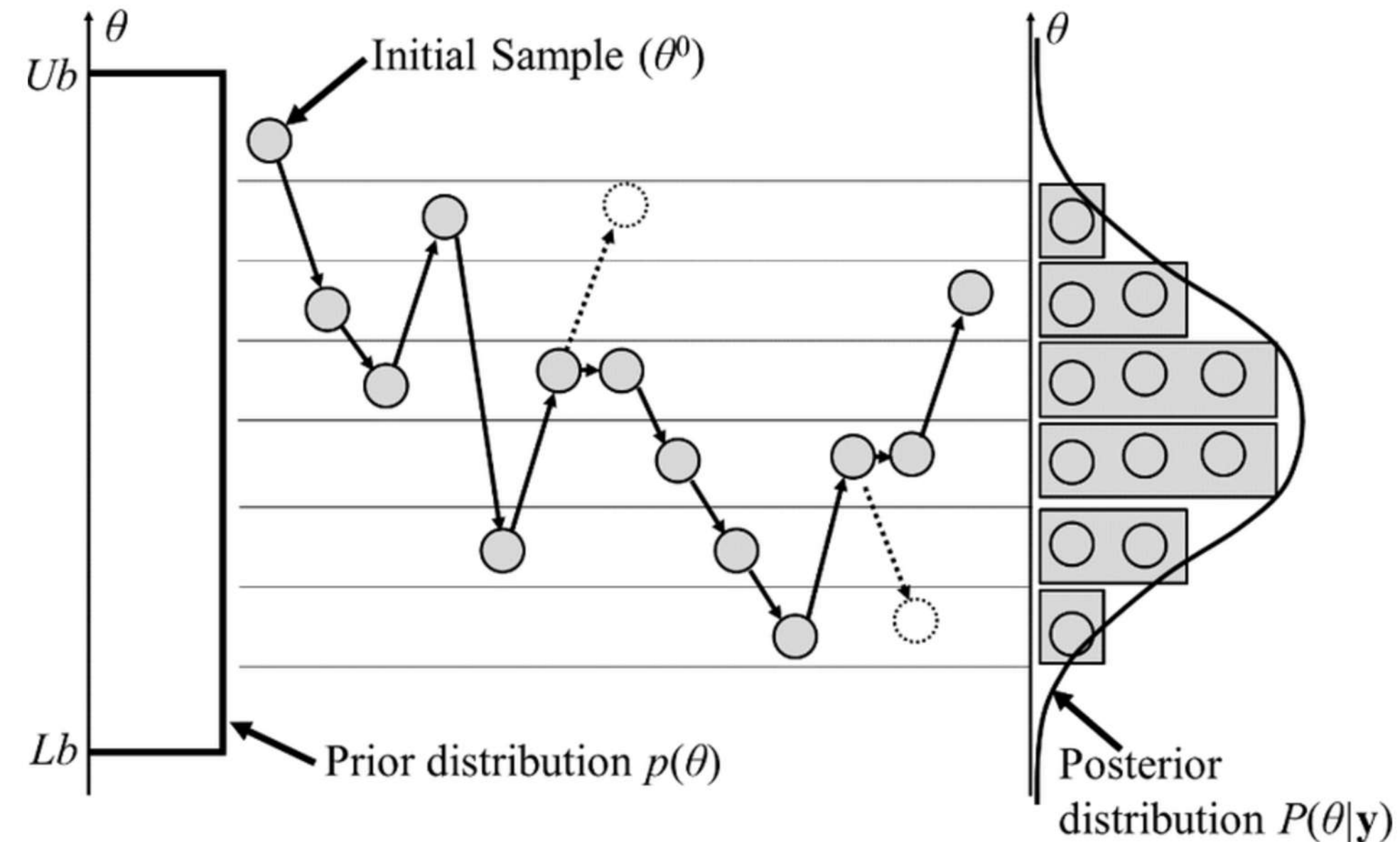


Schéma d'une Markov Chain Monte-Carlo

Modèle Linéaire Généralisé Mixte Bayésien (GLMMB)

$$\text{effectif} \sim T_{\text{max}} + T_{\text{max}}^2 + Q_{\text{max}} + (1 \mid \text{id_gite})$$

- Approche probabiliste & linéaire
- Loi négative binomiale
- 3 chaînes de Markov
- 2000 itérations
- 1 effet aléatoire du gîte

Variable	Signification	Valeurs
<i>date</i>	Date du jour du relevé	-
<i>id_gite</i>	Identifiant du gîte	2 à 37
<i>effectif</i>	Nombre d'individus au sein du gîte le jour du relevé	0 à 45
<i>Tmax</i>	Température maximale au sein du gîte la veille du jour du relevé (°C)	] 12 - 42 [
<i>Qmax</i>	5% des températures les plus hautes, au sein du gîte, sur l'ensemble du suivi (°C)	] 26 - 36 [



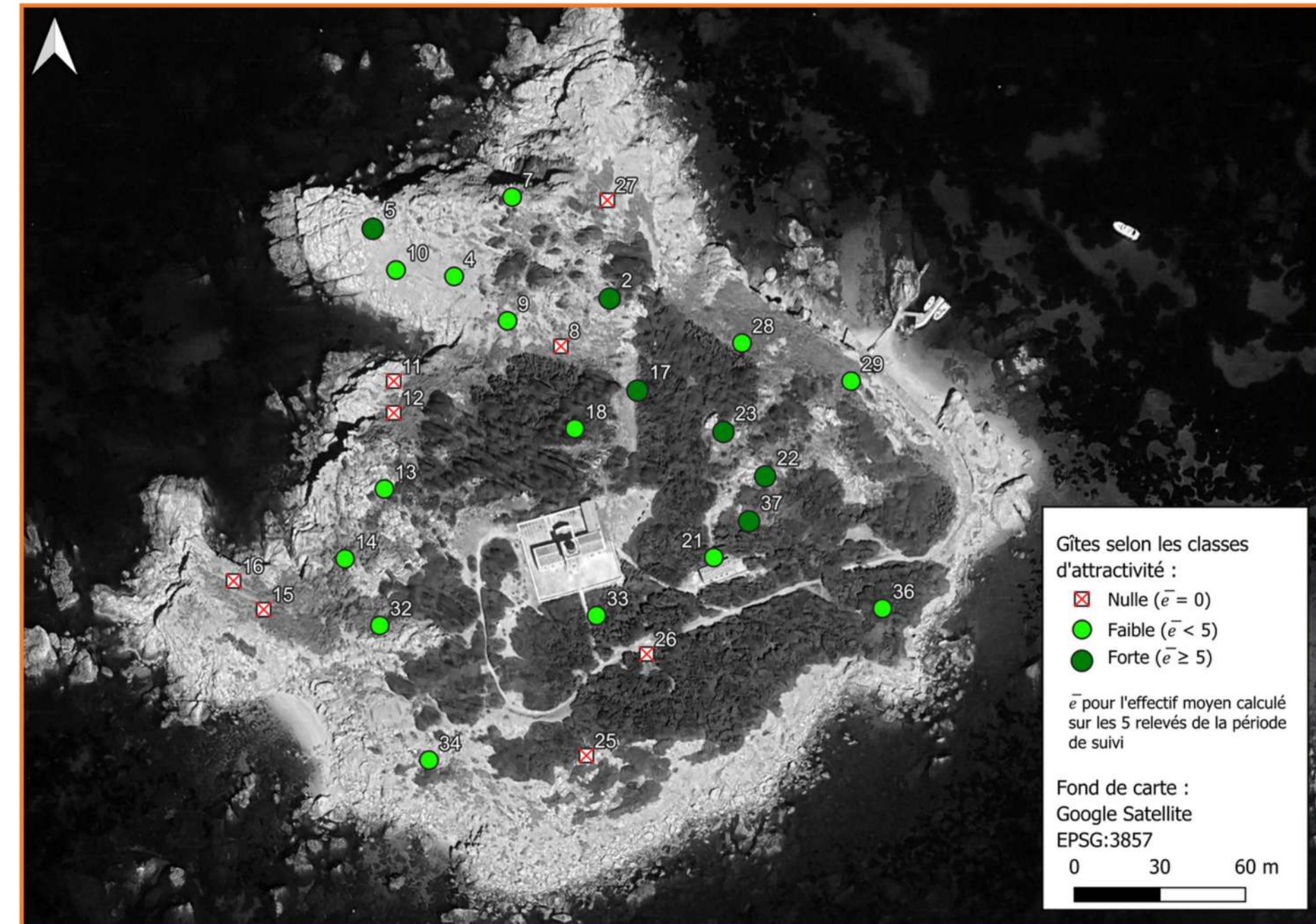
Résultats du suivi des effectifs

Occupation hétérogène

Hétérogénéité des effectifs moyens $\bar{e}$ sur les 5 relevés :

- n°23 ($\bar{e} = 27,4 \pm 14,2$; max = 45) ●
- n°5 ($\bar{e} = 26 \pm 3,5$; max = 29) ●
- n°13 ($\bar{e} = 1,2 \pm 1,3$; max = 3) ●
- n°33 ($\bar{e} = 1 \pm 1$; max = 2) ●
- n°8 ($\bar{e} = 0$) ●
- n°15 ($\bar{e} = 0$) ●

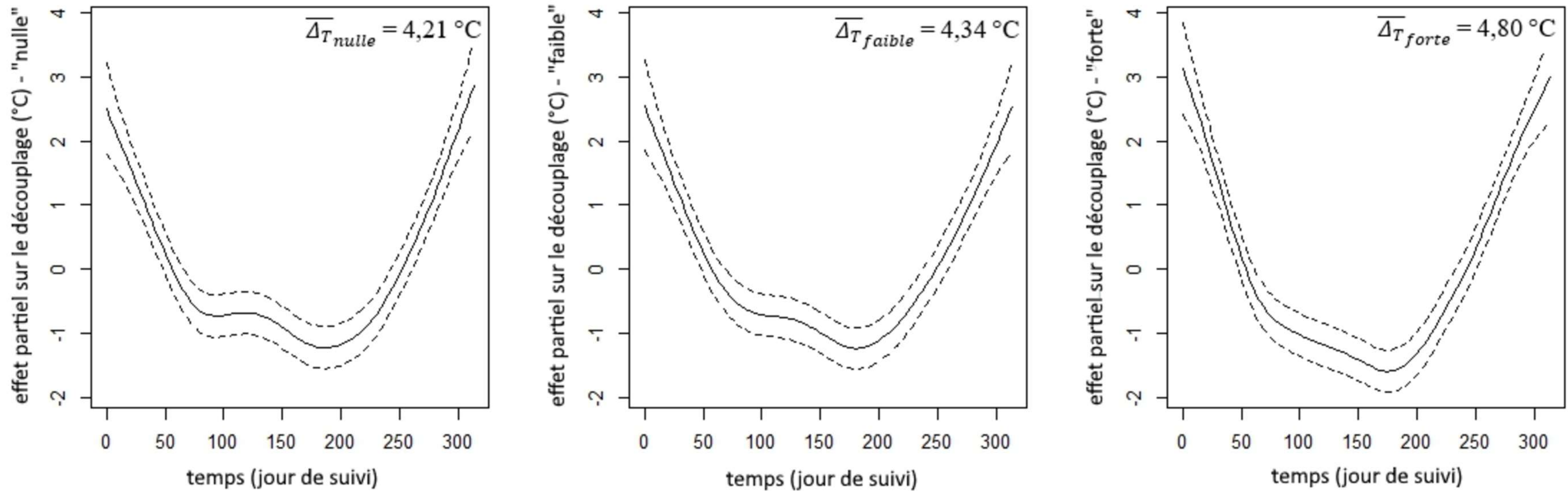
Création des classes d'attractivité
Nulle $\bar{e} = 0$; Faible $\bar{e} < 5$ & Forte $\bar{e} \geq 5$



Répartition des gîtes selon leur classe d'attractivité

Effet du temps sur le découplage (GAMM)

Effet partiel : la déviation (°C) estimée par le modèle par rapport à la moyenne prédite du découplage



Effets partiels du temps sur le découplage selon les classes d'attractivité

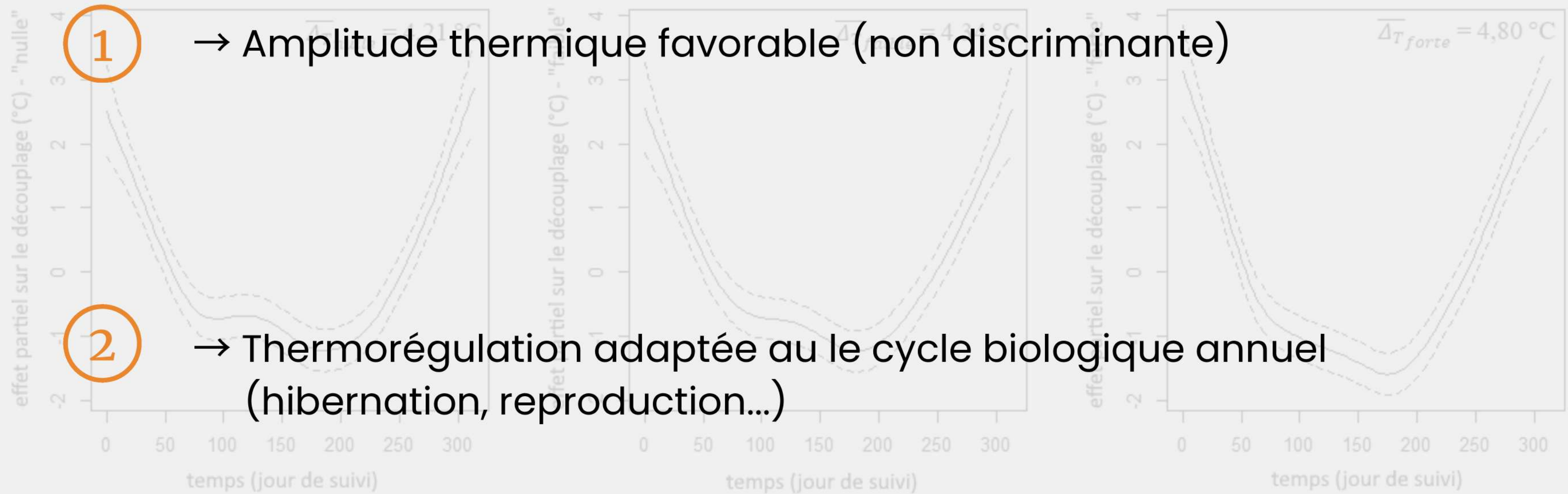
ΔT Nulle : $[3,0 ; 7,1] \text{ °C}$

ΔT Faible : $[3,1 ; 6,9] \text{ °C}$

ΔT Forte : $[3,2 ; 7,9] \text{ °C}$

Effet du temps sur le découplage (GAMM)

Effet partiel : la déviation (°C) estimée par le modèle par rapport à la moyenne prédite du découplage



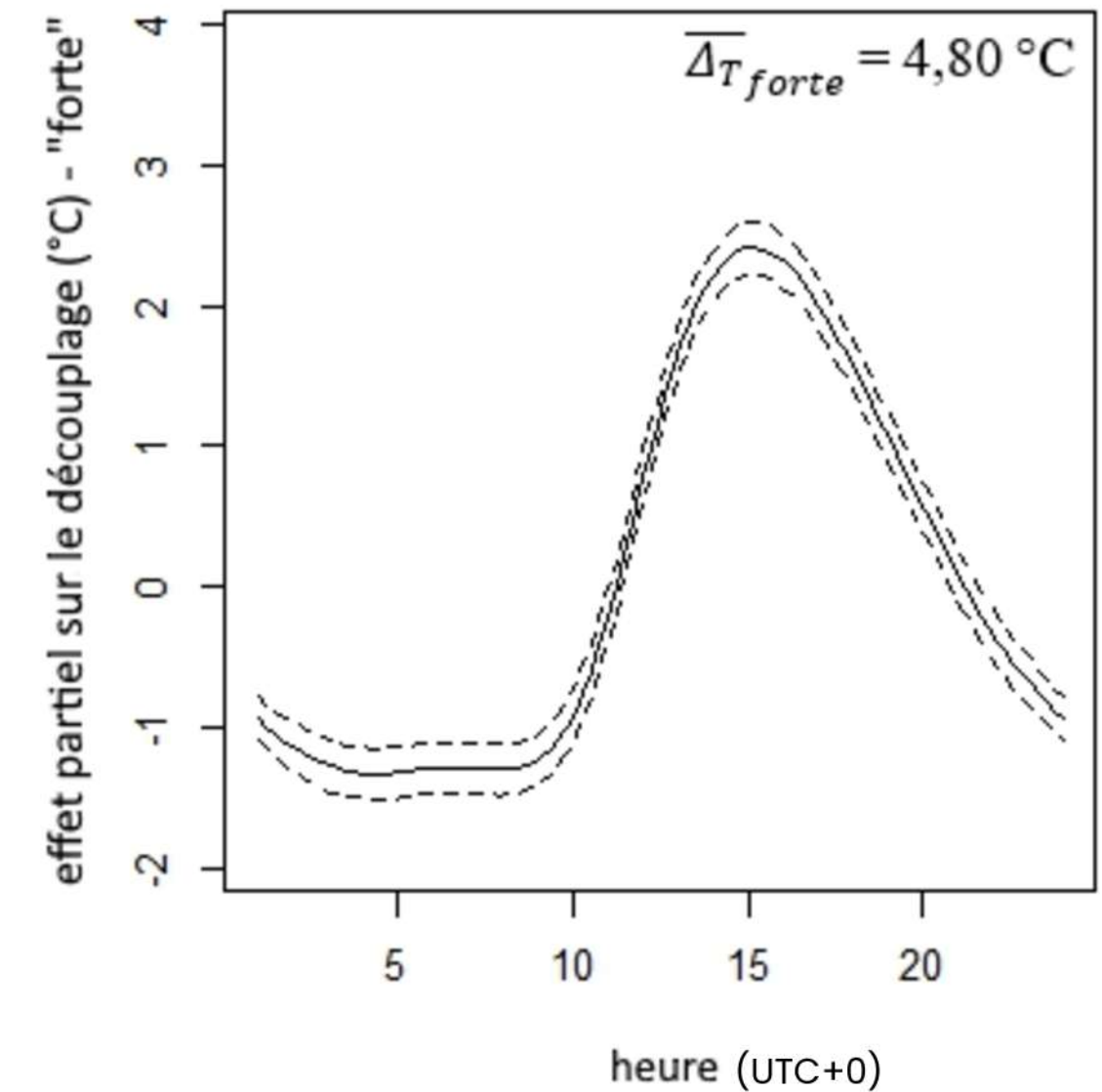
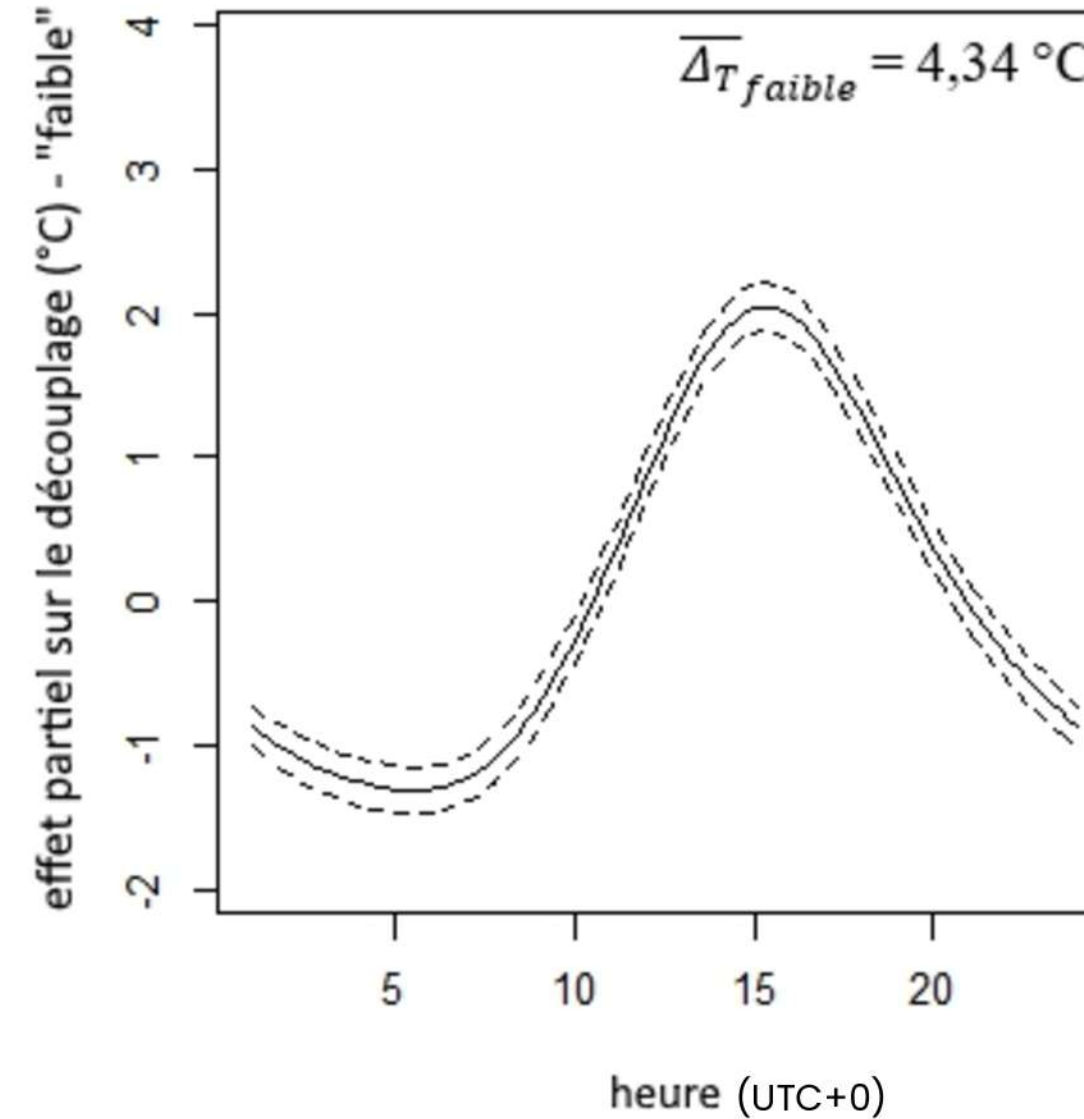
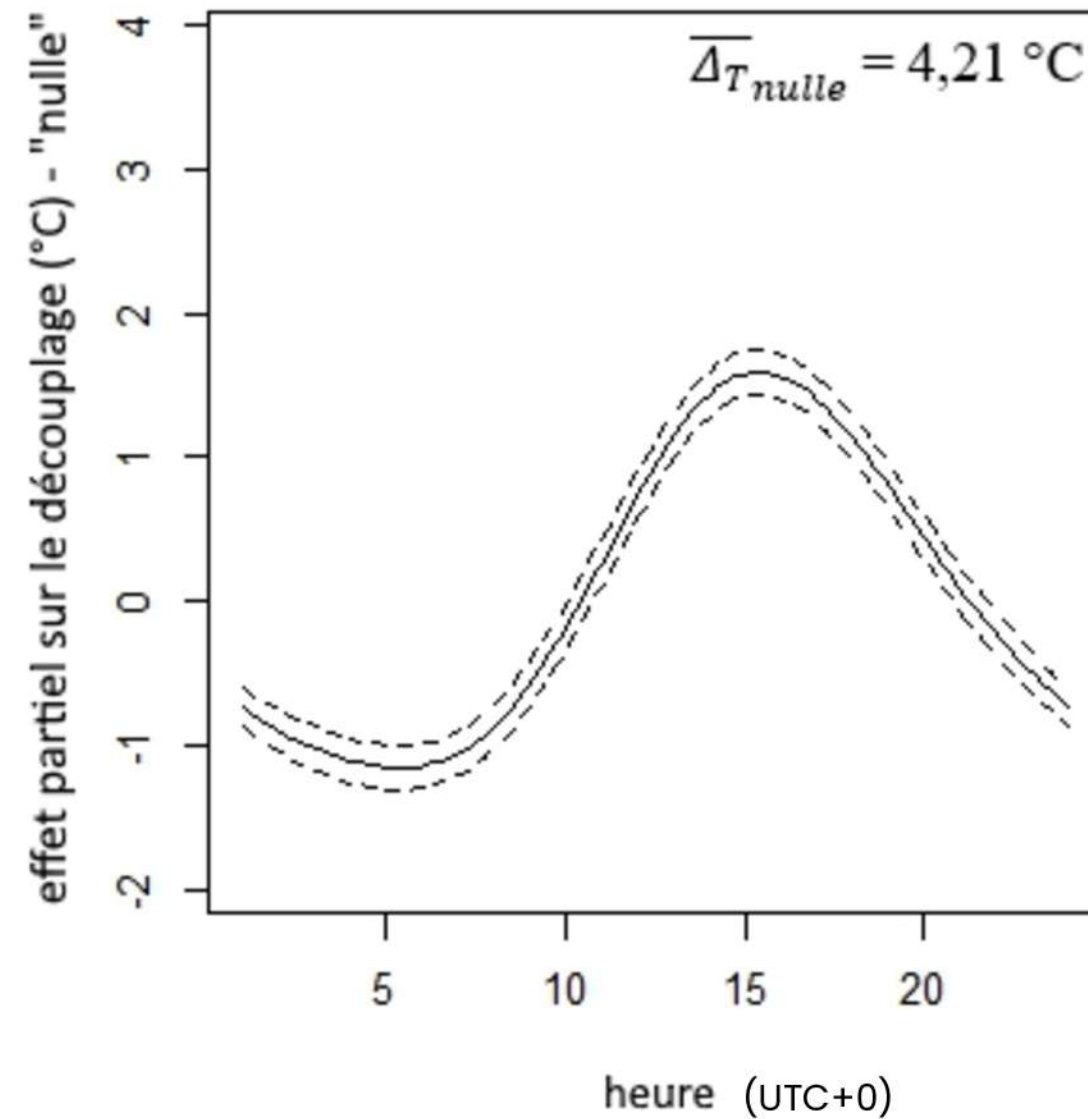
Effets partiels du temps sur le découplage selon les classes d'attractivité

ΔT Nulle : [3,0 ; 7,1] °C

ΔT Faible : [3,1 ; 6,9] °C

ΔT Forte : [3,2 ; 7,9] °C

Profil thermique journalier (GAMM)



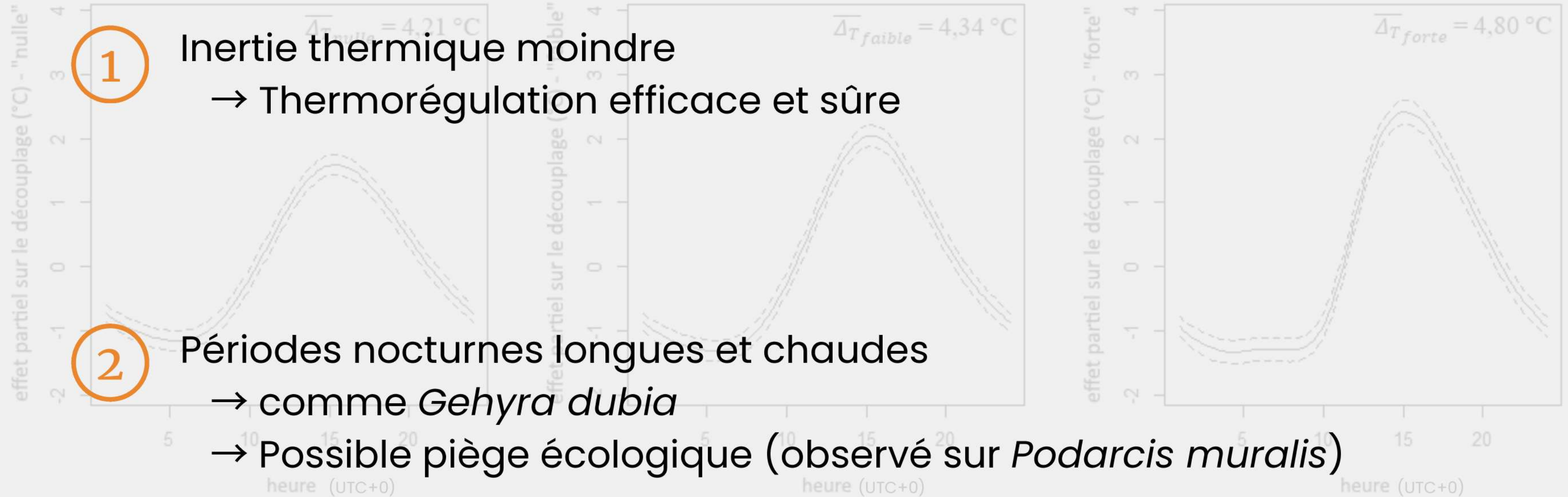
Effets partiels de l'heure sur le découplage selon les classes d'attractivité

ΔT Nulle : $[3,0 ; 5,8] \text{ °C}$

ΔT Faible : $[3,0 ; 6,3] \text{ °C}$

ΔT Forte : $[3,5 ; 7,2] \text{ °C}$

Profil thermique journalier (GAMM)



Effets partiels de l'heure sur le découplage selon les classes d'attractivité

ΔT Nulle : [3,0 ; 5,8] °C

ΔT Faible : [3,0 ; 6,3] °C

ΔT Forte : [3,5 ; 7,2] °C

Résultats du modèle GLMMB

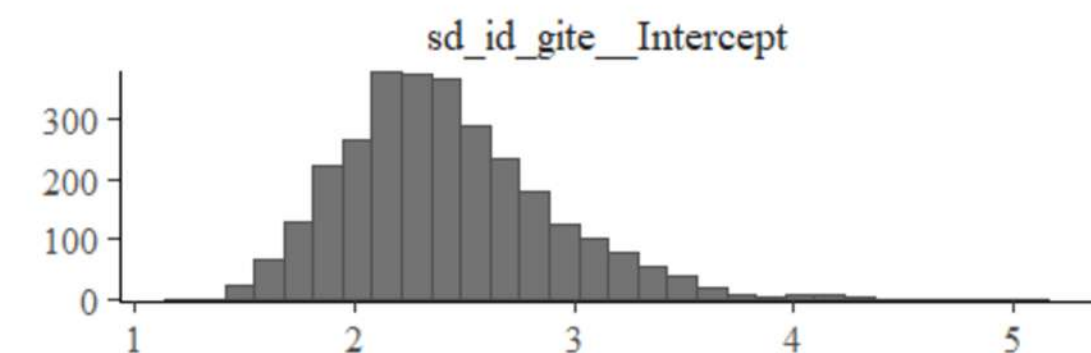
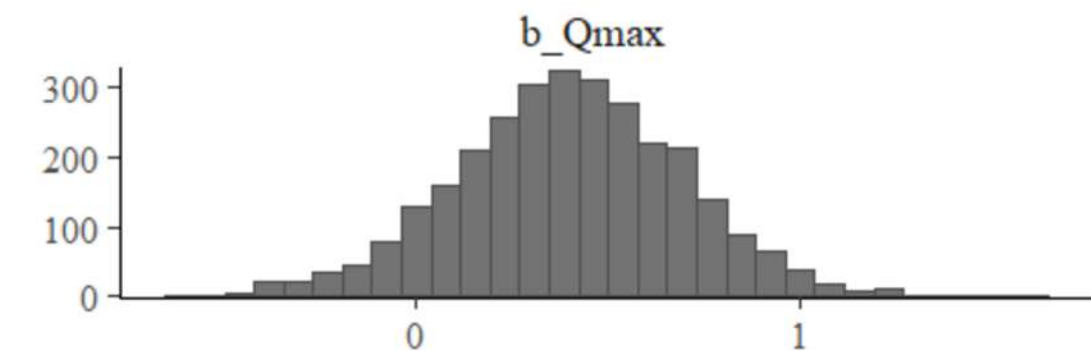
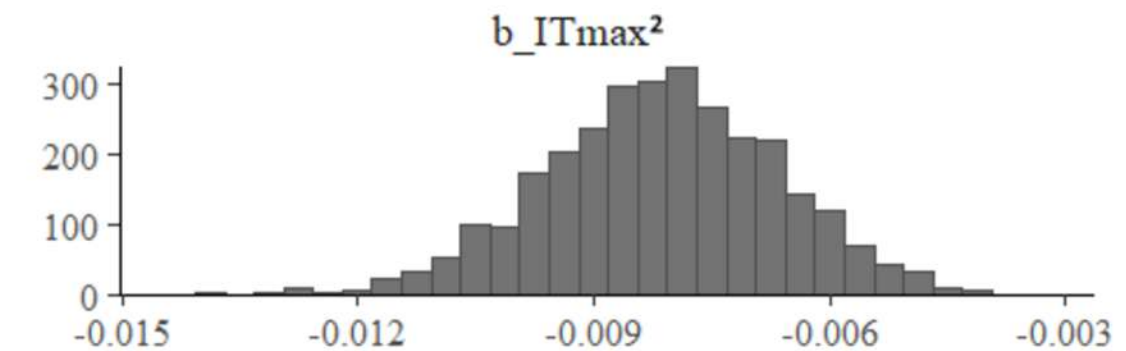
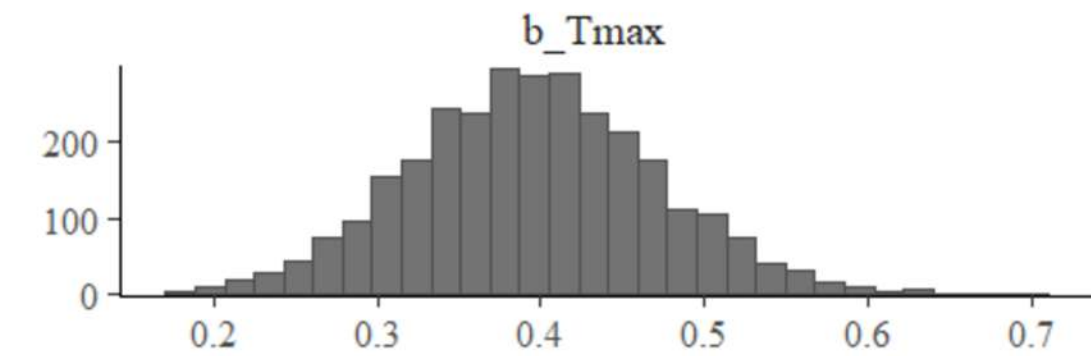
Estimates moyens des paramètres

- T_{max} : $0,40 \in [0,25 ; 0,55]$ **
- T_{max}^2 : $-0,01 \in [-0,01 ; -0,005]$ *
- Q_{max} : $0,40 \in [-0,22 ; 0,97]$
- id_gite : $2,42 \in [1,66 ; 3,48]$ ***

↪ Les températures chaudes favorables

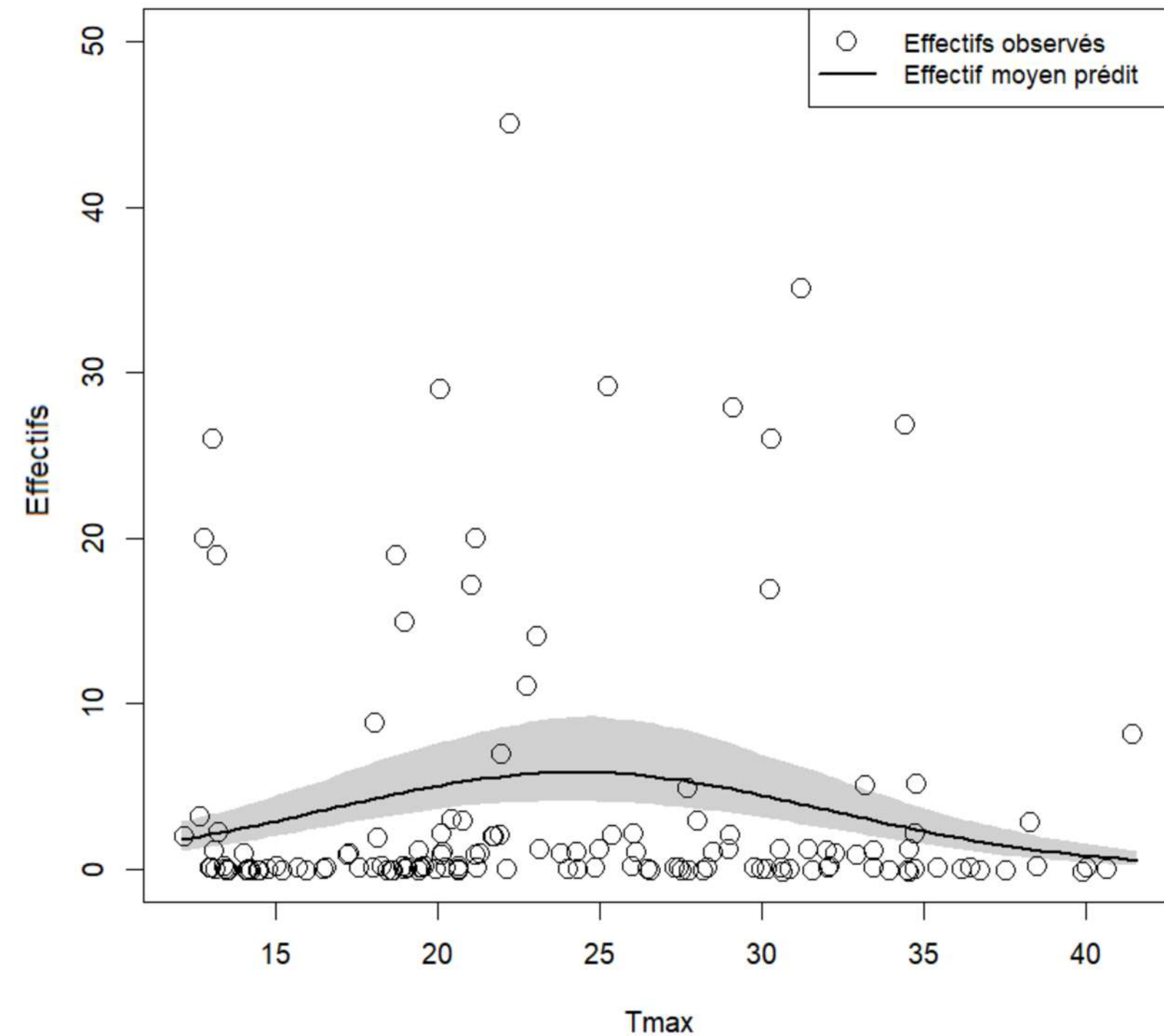
↪ Températures trop chaudes : risque de surchauffe

↪ Effet spécifique du gîte



Distributions a posteriori des estimates des paramètres

Effet de T_{max} sur l'effectif au sein des gîtes (GLMMB)



Effet de T_{max} sur les effectifs

- $T_{max} \in [12 ; 42] ^\circ\text{C}$

- Effet maximal de T_{max} à $24,3 ^\circ\text{C}$

↪ Températures chaudes appréciées mais plus basses que d'autres geckos sur son aire de répartition

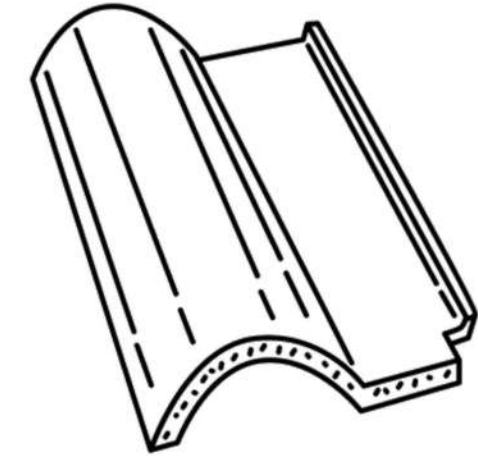
↪ ~ Températures printanières

- Effet significatif mais non suffisant

↪ D'autres paramètres entrent en jeu : végétation ? humidité ? grégarité ?

Récapitulatif des résultats

- Les gîtes les plus appréciés présentent :
 - Des températures plus chaudes (à toutes les échelles)
 - Forte amplitude saisonnière : découplage entre $[3,2 ; 7,9]$ °C
 - Forte amplitude journalière : découplage entre $[3,5 ; 7,2]$ °C
 - Périodes thermiques nocturnes plus longues et chaudes
- T_{max} la plus favorable est de 24,3 °C avec une forme quadratique concave
- Des gîtes plus occupés que d'autres sans tendance spatiale claire.

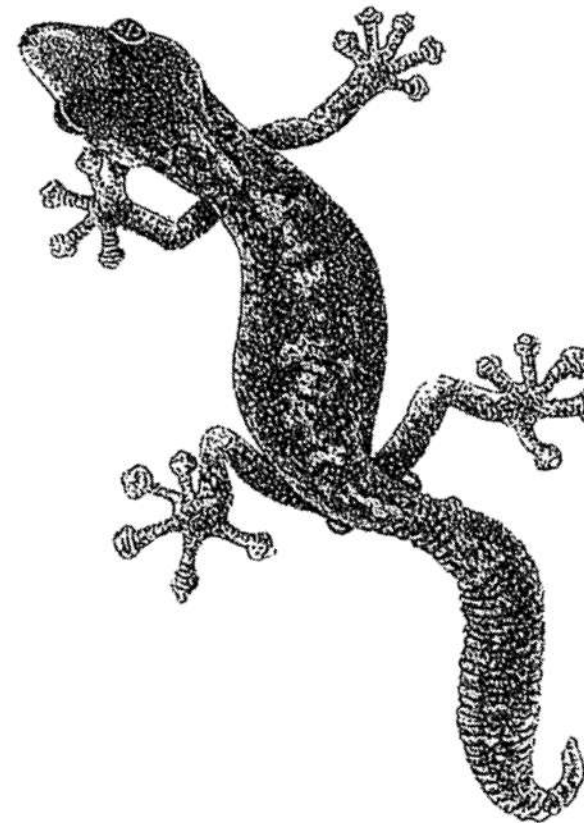


Conclusion

Approfondissement
des connaissances
sur l'écologie thermique
du *Phyllodactyle* d'Europe



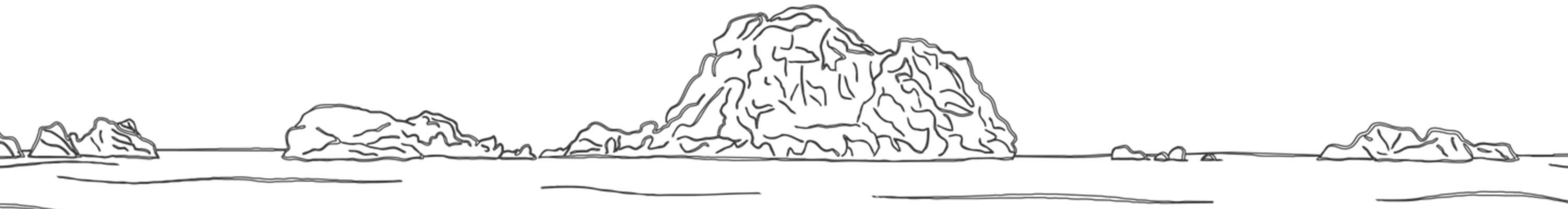
Introductions de nouveaux
axes de recherches sur
l'écologie thermique de
l'espèce



Nouvelles pistes dans l'installation
de gîtes artificiels attractifs
(île de Gargalu, île Riou) &
mesures de compensation de
pertes d'habitat



Un stage riche en
expérience et souvenirs
qui met fin à mon
parcours académique !



Merci !
Thank you ! Gracias !
Faleminderit ! Σας ευχαριστώ !
Obrigado !



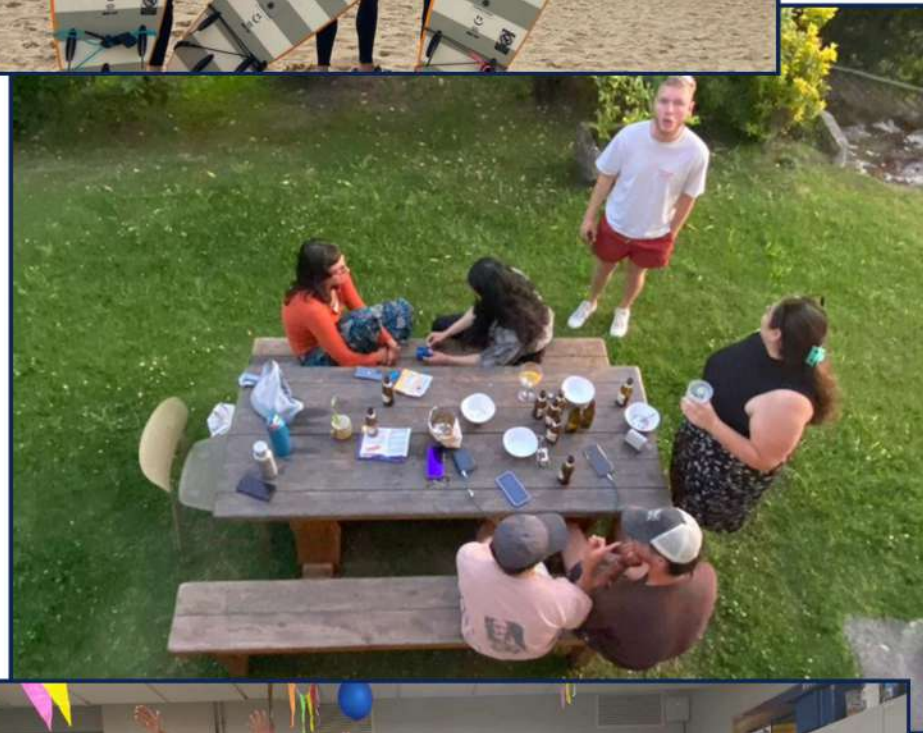
Bibliographie non exhaustive

- Bowles P (2024)** *Euleptes europaea* (Europe assessment). The IUCN Red List of Threatened Species 2024 : <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2024-1.RLTS.T61446A207989942.en>
- Delaugerre M (1980)** Sur l'Histoire Naturelle de *Phyllodactylus europaeus* (Gené, 1838) (Gekkonidae, Sauria, Reptiles). Port Cros : Étude d'une population naturelle. pp. 147-175.
- Delaugerre M (1984)** Sur l'écologie thermique des geckos *Phyllodactylus europaeus*, *Hemidactylus turcicus* et *Tarentola mauritanica* : rythmes d'activité, température et activité, répartition altitudinale. Travaux scientifiques du parc naturel régional de Corse 3 (2) : pp. 96-121.
- Deso G, Reynier T, Rato C (2024)** Unsuspected Pollinator Potential ? First DNA Dietary Analysis in *Euleptes Europaea* (Gené, 1839) and Confirmation of an Omnivorous Diet Using Video Surveillance. Amphibia-Reptilia 45 : pp. 455-463. <https://doi.org/10.1163/15685381-bja10201>
- Directive Habitats (2007)** DIRECTIVE 92/43/CEE DU CONSEIL du 21 mai 1992 concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages – Version consolidée de 2007.
- Doucette L, Duncan R, Osborne W, Evans M, Georges A, Gruber B, Sarre S (2023)** Climate Warming Drives a Temperate-Zone Lizard to Its Upper Thermal Limits, Restricting Activity, and Increasing Energetic Costs. Scientific Reports 13 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-35087-7>
- Giacalone G, Faraone F, Pecoraro M, Sarà M (2024)** Hidden in the Bark : The Unexpected Presence of the Leaf-Toed Gecko, *Euleptes Europaea* (Gené, 1839) (Squamata, Sphaerodactylidae), in Sicily. Biogeographia – The Journal of Integrative Biogeography 39 (2). <https://doi.org/10.21426/B639263791>
- Hastie T, Tibshirani R (1986)** Generalized Additive Models. Statistical Science 1 (3) : pp. 297-310. <https://doi.org/10.1214/ss/1177013604>
- Knoepffler L-P (1973)** Le Phyllodactyle d'Europe, une intéressante relique de la faune insulaire méditerranéenne. Annales du Museum d'Histoire Naturelle de Nice, Tome 1, Fascicule 1 : pp. 87-89.
- Kulesza V, Delaugerre M, Cheylan M (1995)** Le Phyllodactyle d'Europe *Phyllodactylus europaeus* (Gené, 1839) : Découverte d'une population continentale en Provence. Faune de Provence (CEEP) 16 : pp. 113-115. https://www.researchgate.net/publication/322775334_Le_phyllodactyle_dEurope_Phyllodactylus_europaeus_Gene_1839_decouverte_dune_population_continentale_en_Provence
- Marchand M-A, Renet J, Roy C (2017)** Liste rouge régionale des amphibiens et reptiles de Provence-Alpes-Côte d'Azur. https://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/cenpaca_listerougeamphibiens_def.pdf
- Massemin A (2024)** Impact des travaux et mesures de gestion sur les populations de Phyllodactyle d'Europe des îles du Grand Rouveau (Six-Fours-les-Plages, 83) et du Château d'If (Marseille, 13). Intérêt des gîtes artificiels pour les suivis de population. Mémoire de fin d'étude présenté pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur de l'ENGEES. pp. 1-60
- Nordberg E, Schwarzkopf L (2019)** Heat seekers : A tropical nocturnal lizard uses behavioral thermoregulation to exploit rare microclimates at night. Journal of Thermal Biology 82 : pp.107-114. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.03.018>
- Perry C, Gangloff E, Rutschmann A (2025)** Warm Nocturnal Temperatures Act as an Ecological Trap for a Diurnal Lizard. Oikos 2025 (7). <https://doi.org/10.1002/oik.11330>
- Quessada J, Rivière V, Cheylan M, Guillaumet A (2024)** Selection and Daily Occupancy of Artificial Retreat-Sites by a Declining Mediterranean Island Specialist, the European Leaf-Toed Gecko *Euleptes Europaea*. Acta Herpetologica 19 (2) : pp. 123-137. https://doi.org/10.36253/a_h-14527
- Renet J, Monnet C (2021)** État des lieux des populations d'Eulepte d'Europe en région PACA : Vers l'élaboration d'une stratégie conservatoire régionale en faveur de l'espèce. Rapport d'étude.
- Rivière V, Auda P, Cheylan M, Damery C, Ugo J (2016)** Restauration écologique de l'île du Grand Rouveau (Var) – Bilan de 4 années d'intervention Perspectives.
- Rivière V, Lelong P, Damery C, Zucconi P, Runde-Cariou S (2021)** Fiche île : Grand Rouveau – Sous-bassin : France Sud. Atlas of Small Mediterranean Islands. <https://pimatlas.org/explorer-atlas/iles/grand-rouveau/>
- Salvidio S, Lanza B, Delaugerre M (2011)** *Euleptes europaea*. Fauna d'Italia Reptilia : pp. 258-270. <https://hal.science/hal-03712438v1>
- Wood S (2017)** Generalized Additive Models : An Introduction with R (2nde edition) (86). Chapman & Hall – CRC, Boca Raton, 2017.

Autres missions



La SETE



Riou - Installation de gîtes

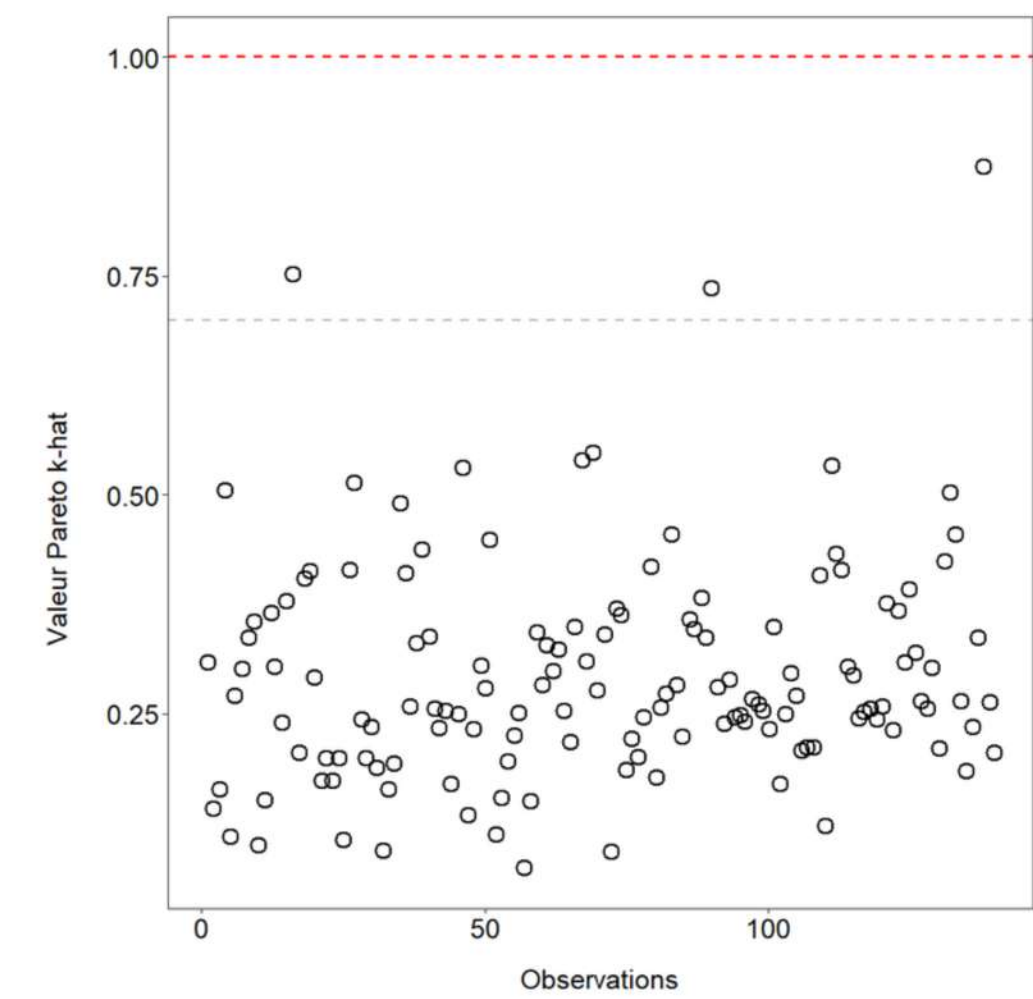
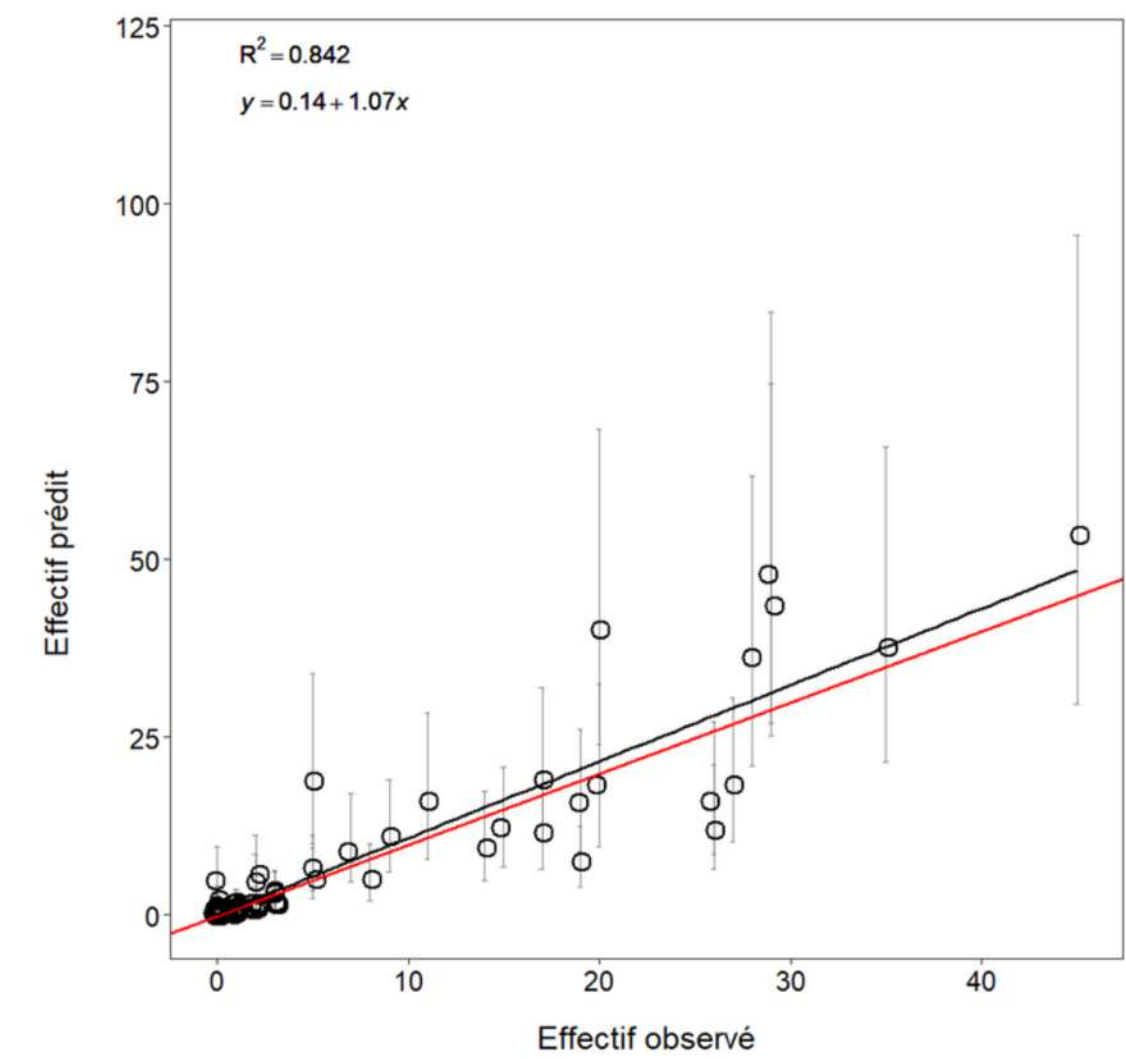
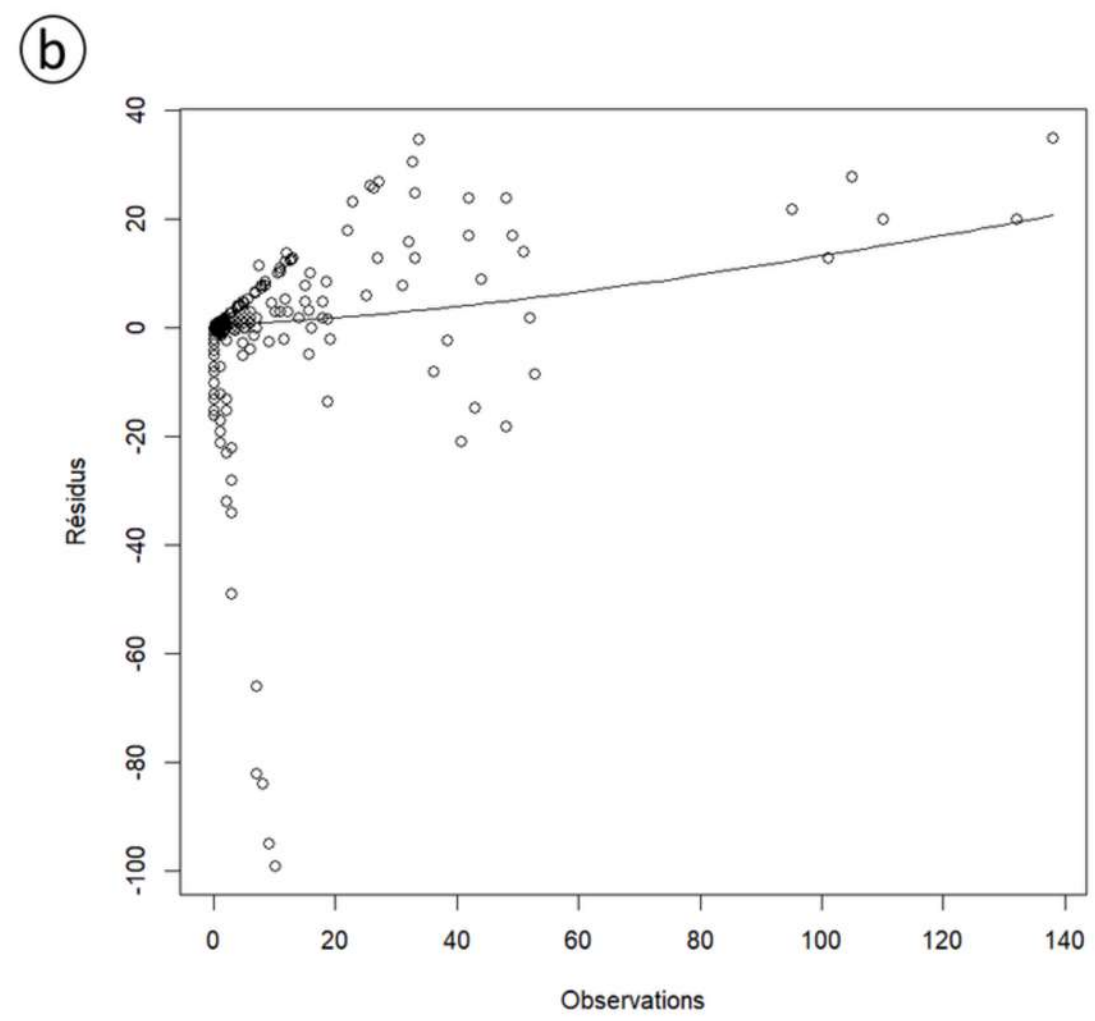
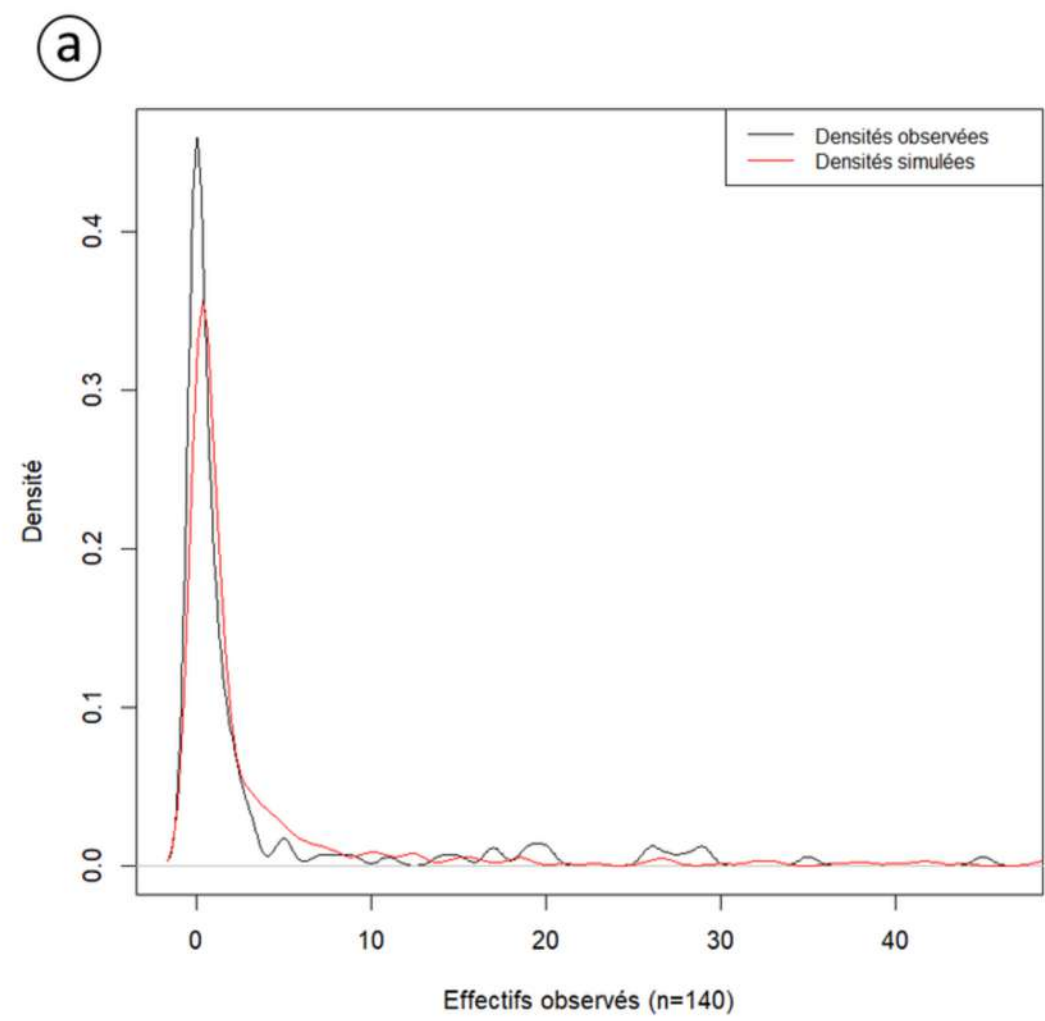


Saint-Honorat
Phyllo, Lézard vert
& Faisan

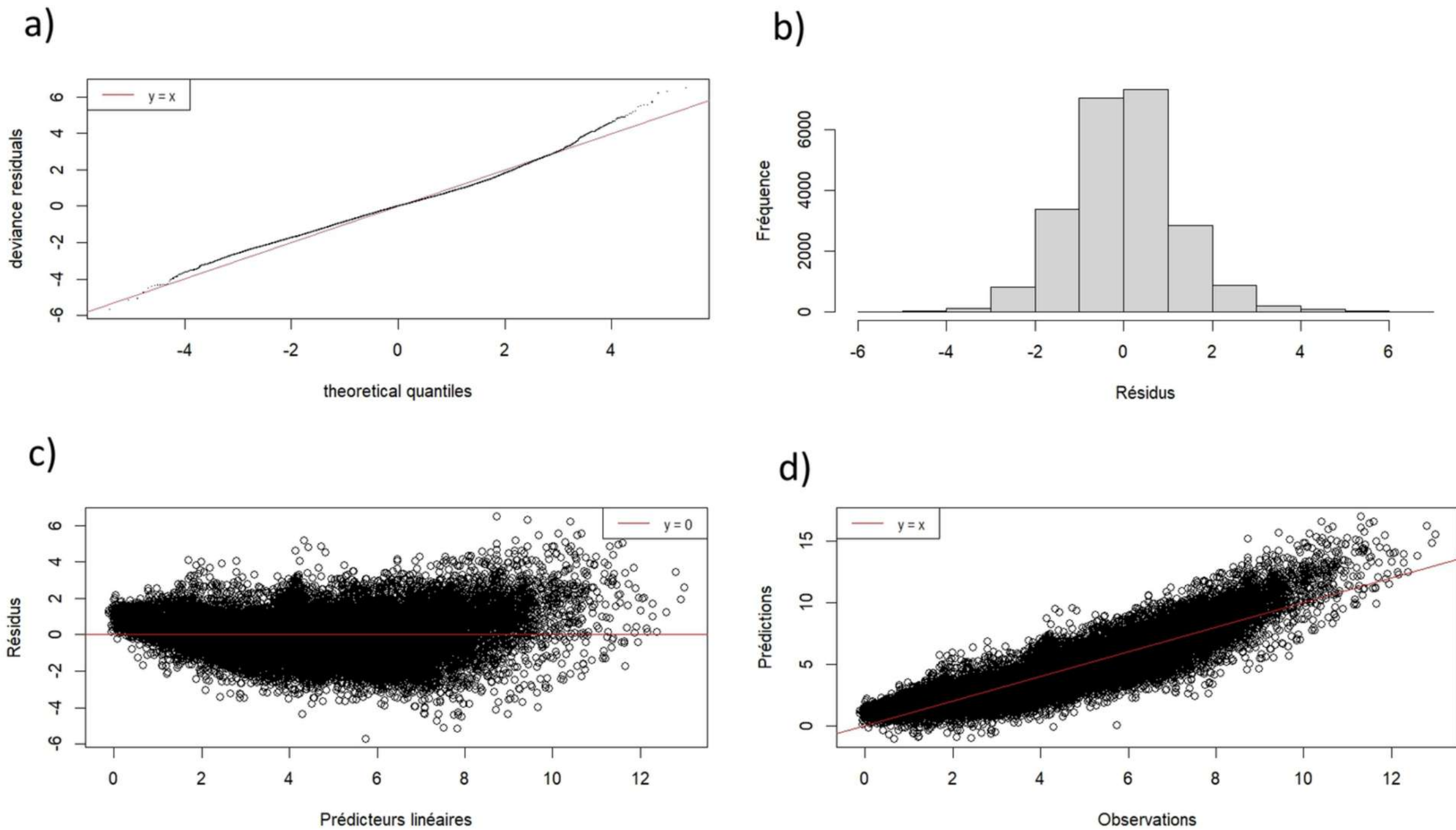
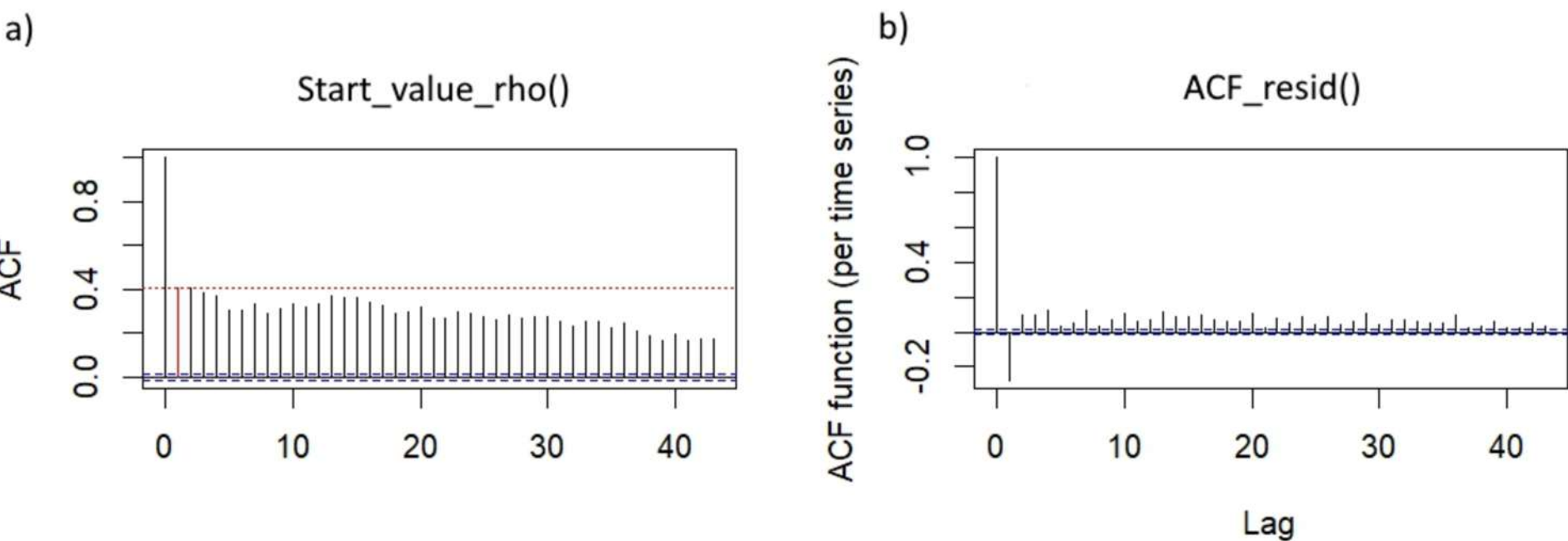
If - Transects
nocturnes



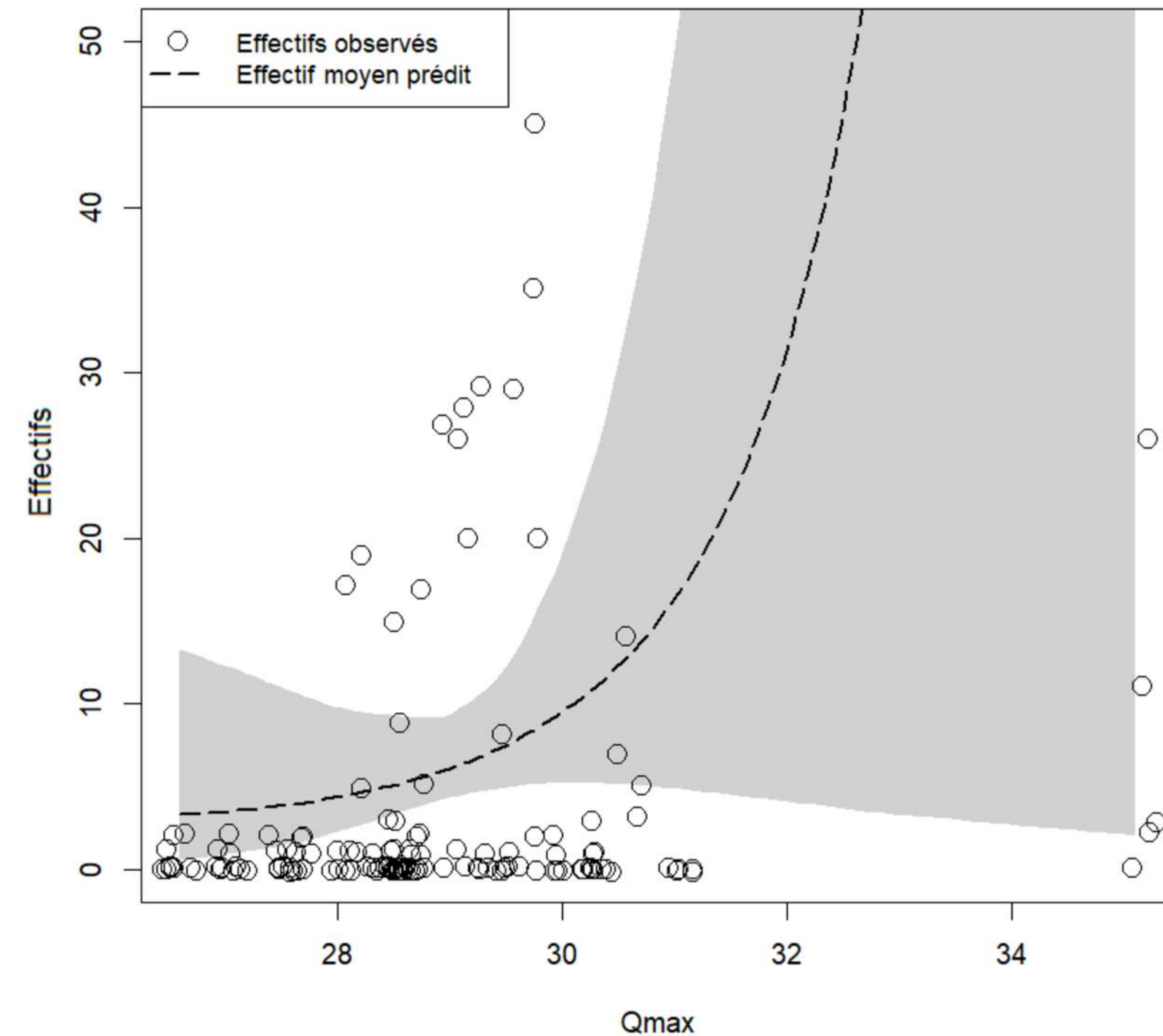
Validité du modèle GLMMB



Validité du modèle GAMM



Effet de Q_{max} sur l'effectif au sein des gîtes (GLMMB)



Effet de Q_{max} sur les effectifs

● $Q_{max} \in [26 ; 36] ^\circ\text{C}$

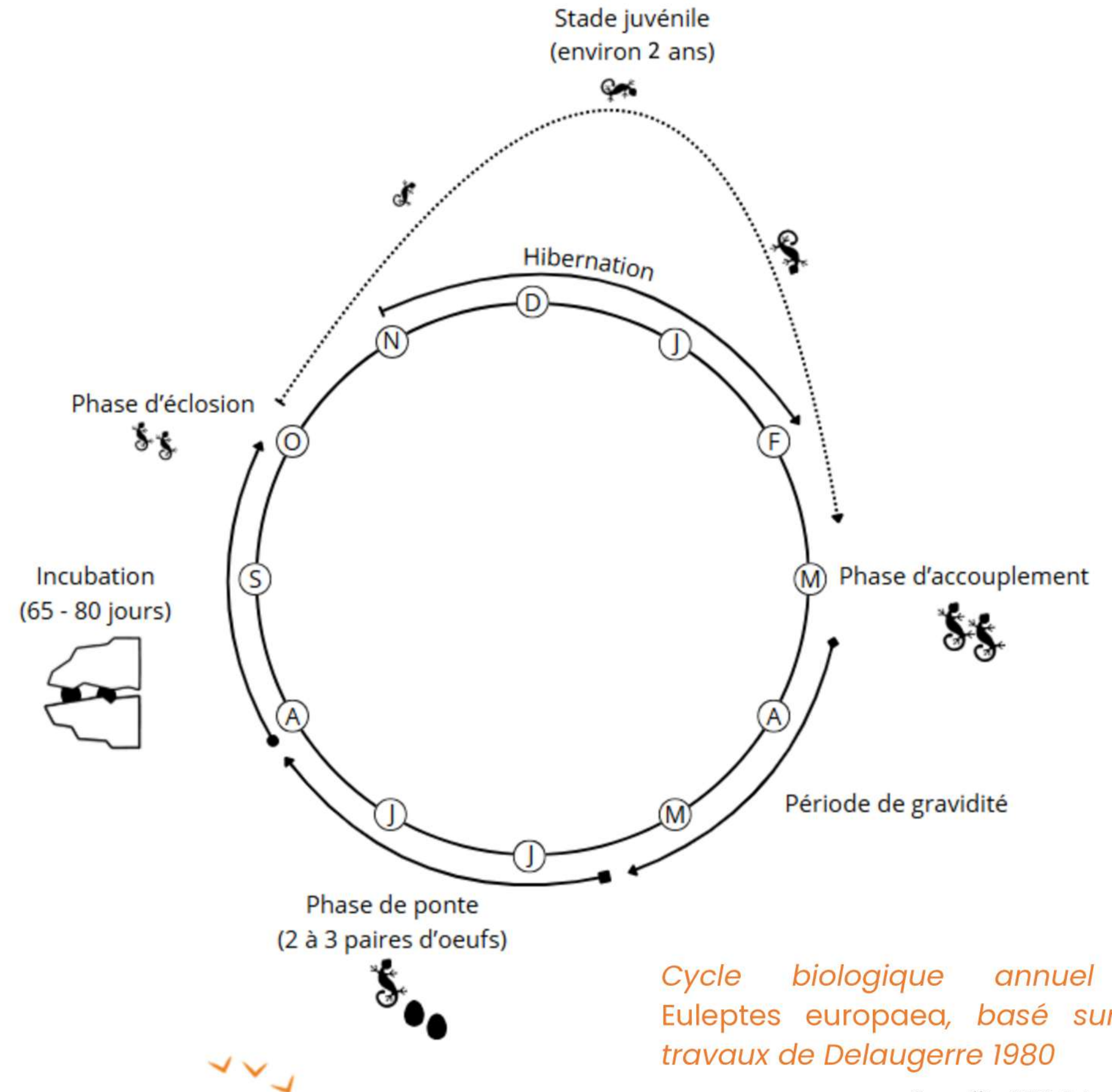
● Tendence mais non significative



Beaucoup d'observations de forts effectifs sur la plage $[28 ; 32] ^\circ\text{C}$

Cycle de vie

- Début de la reproduction au printemps
- Cycle de reproduction long → 7 mois
- Maturité sexuelle atteinte au 3ème printemps
- Cycle biologique thermodépendant



Résultats du modèle GAMM

Coefficients des paramètres

	Estimate	Erreur standard	Pr(> t)
Intercept (attract_nulle)	4.21	0.09	< 2e-16 ***
attract_faible	0.13	0.04	9.75e-4 ***
attract_forte	0.59	0.04	< 2e-16 ***

Significativité approximative des *smooth terms*

	edf	p-value	
s(<i>temps</i>) : attract_nulle	7.76	< 2e-16 ***	} <i>edf autorisés : 40</i>
s(<i>temps</i>) : attract_faible	7.00	< 2e-16 ***	
s(<i>temps</i>) : attract_forte	8.32	< 2e-16 ***	
s(<i>heure</i>) : attract_nulle	7.47	< 2e-16 ***	} <i>edf autorisés : 24</i>
s(<i>heure</i>) : attract_faible	8.50	< 2e-16 ***	
s(<i>heure</i>) : attract_forte	10.47	< 2e-16 ***	
s(<i>jour</i>)	305.69	< 2e-16 ***	

<i>R-sq. (adj) = 0.791</i>	<i>0.791</i>	<i>Deviance explained</i>	<i>79.4%</i>
<i>fREML</i>	<i>35135</i>	<i>Scale est.</i>	<i>1.7446</i>

Résultats du suivi des effectifs

Occupation hétérogène

Hétérogénéité des effectifs moyens $\bar{e}$ sur les 5 relevés :

- n°23 ($\bar{e} = 27,4 \pm 14,2$; max = 45) ●
- n°5 ($\bar{e} = 26 \pm 3,5$; max = 29) ●
- n°13 ($\bar{e} = 1,2 \pm 1,3$; max = 3) ●
- n°33 ($\bar{e} = 1 \pm 1$; max = 2) ●
- n°8 ($\bar{e} = 0$) ●
- n°15 ($\bar{e} = 0$) ●

Création des classes d'attractivité
Nulle $\bar{e} = 0$; Faible $\bar{e} < 5$ & Forte $\bar{e} \geq 5$

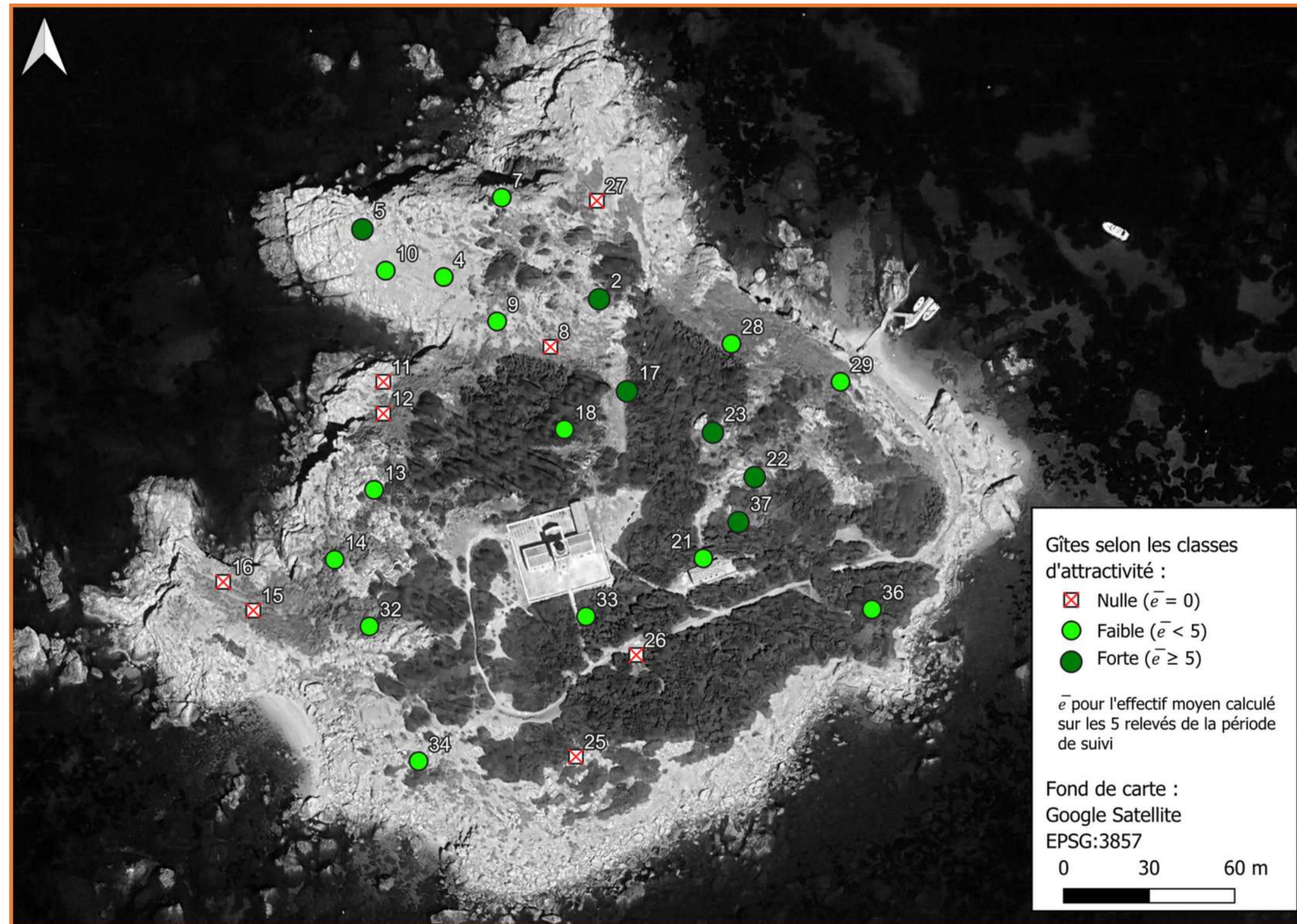
Saisonnalité observée

Relevé	Effectif total (session)
Automne (06/11/2024)	126
Hiver (23/01/2025)	75
Printemps (22/04/2025)	140
Printemps (03/06/2025)	107
Été (26/06/2025)	48

Tableau des effectifs totaux par relevé

Le printemps et l'automne sont propices à l'observations d'individus dans les gîtes.
Températures ?
Comportement social de reproduction ?

Résultats du suivi des effectifs



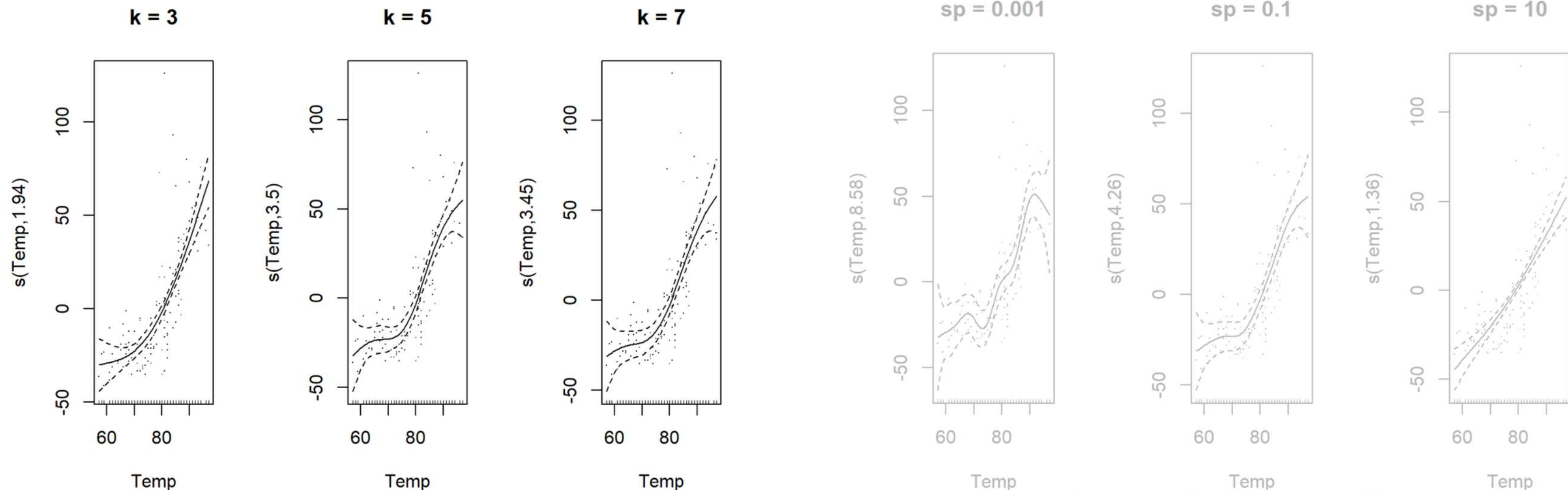
Répartition des gîtes selon leur classe d'attractivité

Distribution spatiale

- Pas de grande tendance spatiale évidente
- Gîtes de la façade Ouest peu attractifs
- Gîtes de la façade Est plus favorables

↪ Exposition à des vents froids du Nord-Ouest (mistral) ?

Modèle Additif Généralisé Mixte (GAMM) – Théorie



Résultats du GAMM pour différents k

Résultats du GAMM pour différents sp

Résultats modèle GAMM

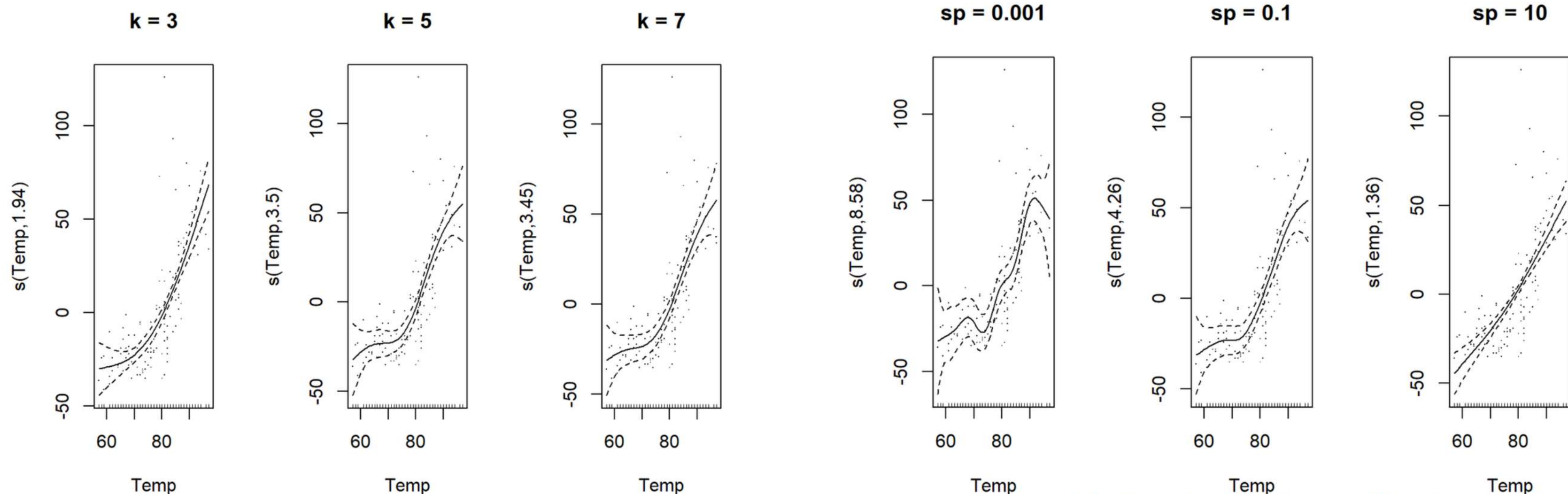
- k grand = meilleur ajustement
- k trop grand non nécessaire



Utilisation paramètre lissage

- k grand
- compromis entre ajustement et simplicité
- fonction "REML"

Modèle Additif Généralisé Mixte (GAMM) – Théorie



Résultats du GAMM pour différents k

Résultats du GAMM pour différents sp

Résultats modèle GAMM

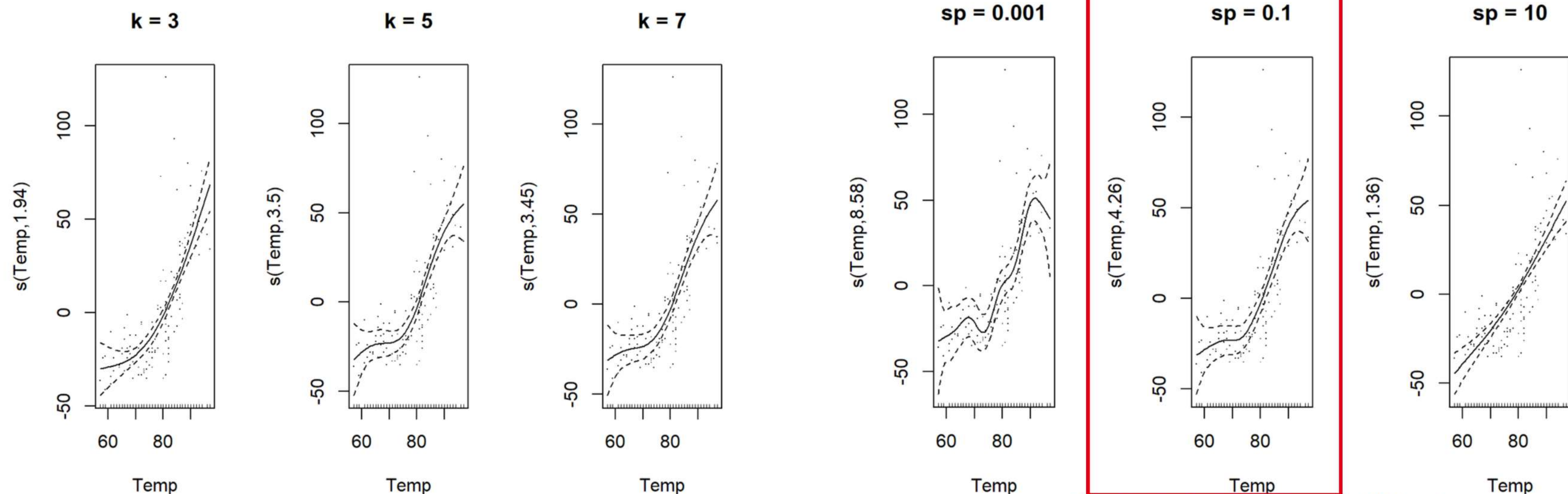
- k grand = meilleur ajustement
- k trop grand non nécessaire



Utilisation paramètre lissage

- k grand
- compromis entre ajustement et simplicité
- fonction "REML"

Modèle Additif Généralisé Mixte (GAMM) – Théorie



Résultats du GAMM pour différents k

Résultats du GAMM pour différents sp

Résultats modèle GAMM

- k grand = meilleur ajustement
- k trop grand non nécessaire



Utilisation paramètre lissage

- k grand
- compromis entre ajustement et simplicité
- fonction "REML"