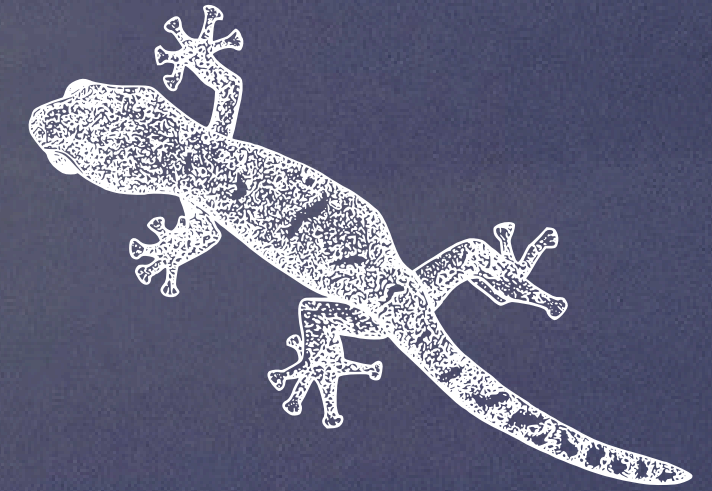


Stage de Master 2

Soutenance du 24/09/2026

Impact de la lumière artificielle sur le Phyllodactyle d'Europe



Encadrement : Julie Quessada (CNRS - AGIR)
et Eva Tankovic (PIM), Vincent Rivière (AGIR), Matthieu Paquet (CNRS)

Référent du master : Jean-Baptiste Mihoub

Jury :
Emmanuelle Baudry (présidente),
Kévin Barré (rapporteur),
Carmen Bessa-Gomes (examinatrice)

CONTEXTE

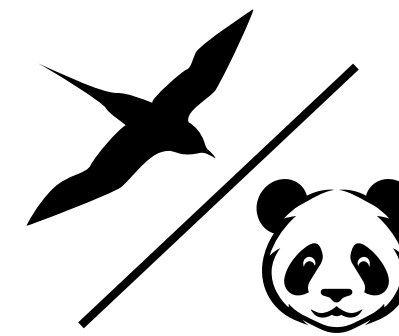
Espèces menacées ⇔ Espèces sous-étudiées

On conserve mieux ce que l'on connaît !

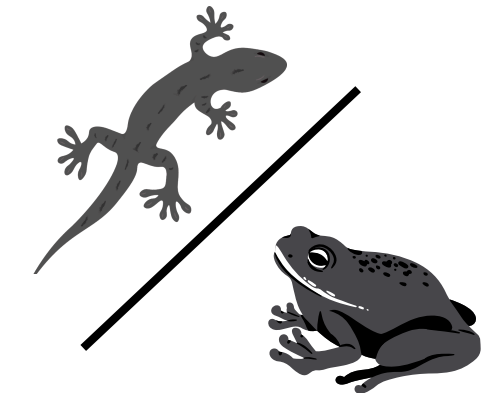


espèces sensibles : plus
cryptiques, moins étudiées

+



>

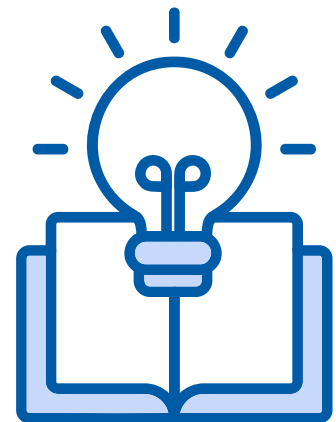
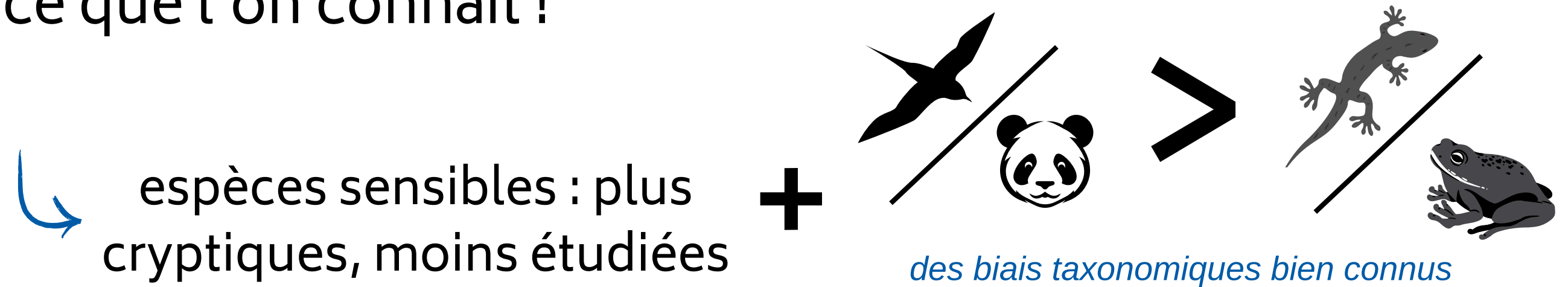


des biais taxonomiques bien connus

CONTEXTE

Espèces menacées ⇔ Espèces sous-étudiées

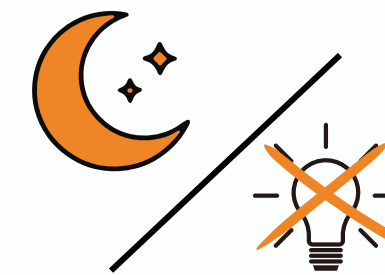
On conserve mieux ce que l'on connaît !



études nécessaires pour appuyer
la conservation des groupes
sous-représentés

CONTEXTE Conservation d'une espèce menacée

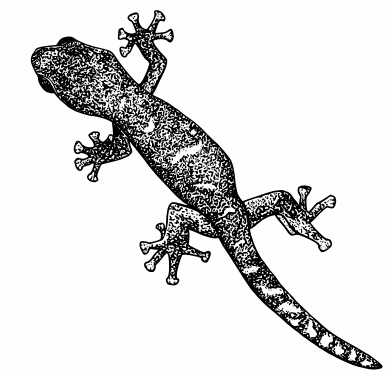
Phyllodactyle d'Europe *Euleptes europaea* (Gené, 1839)



nocturne et
lucifuge



quasi-exclusivement
insulaire

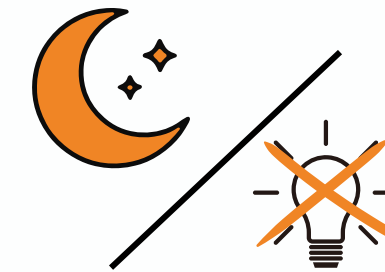


plus petit reptile
d'Europe

- $SVL^* \sim 4 \text{ cm}$ (adultes)
- Masse moy. : 2 g A ♀ ; 1,5 g A ♂

CONTEXTE Conservation d'une espèce menacée

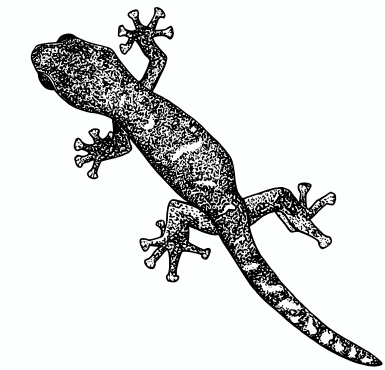
Phyllodactyle d'Europe *Euleptes europaea* (Gené, 1839)



nocturne et
lucifuge



quasi-exclusivement
insulaire



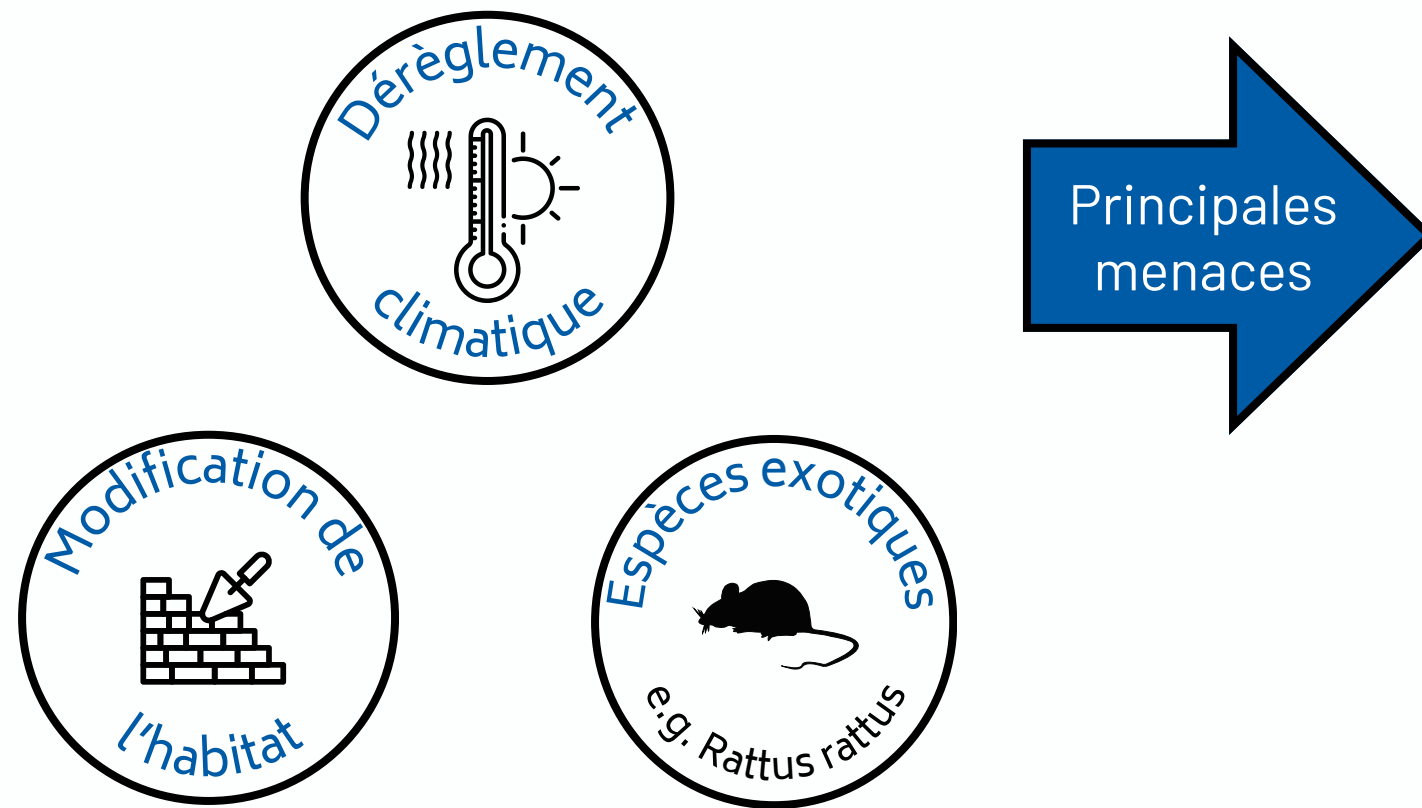
plus petit reptile
d'Europe

- $SVL^* \sim 4 \text{ cm}$ (adultes)
- Masse moy. : 2 g A ♀ ; 1,5 g A ♂

→ espèce discrète, isolée
et encore peu connue

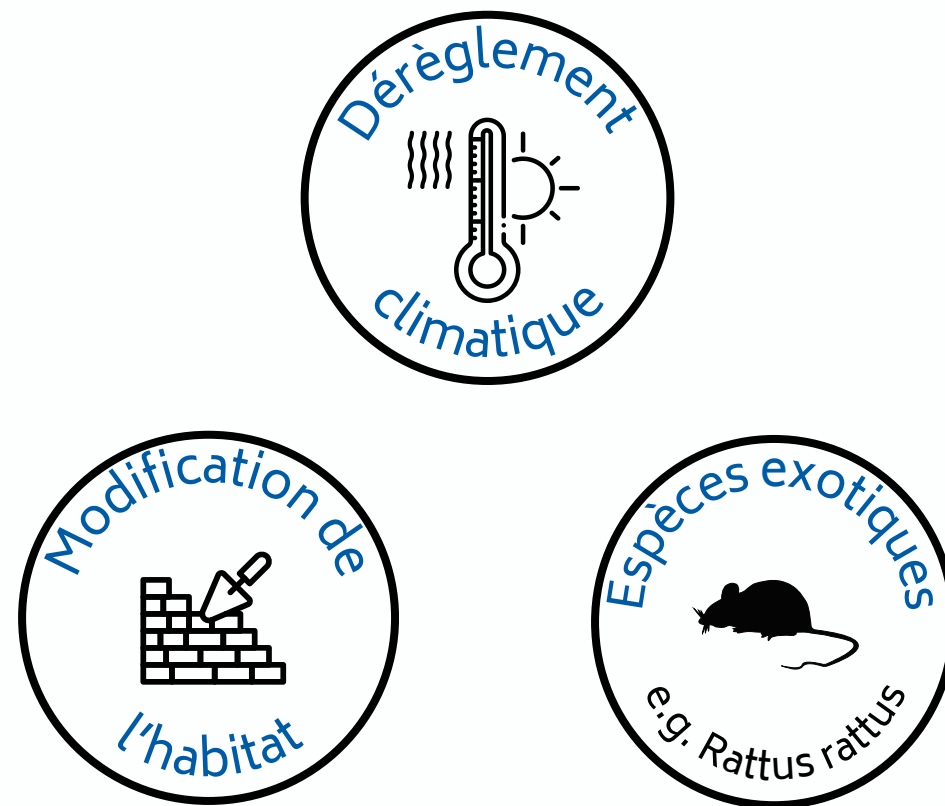
CONTEXTE

Conservation d'une espèce menacée



CONTEXTE

Conservation d'une espèce menacée



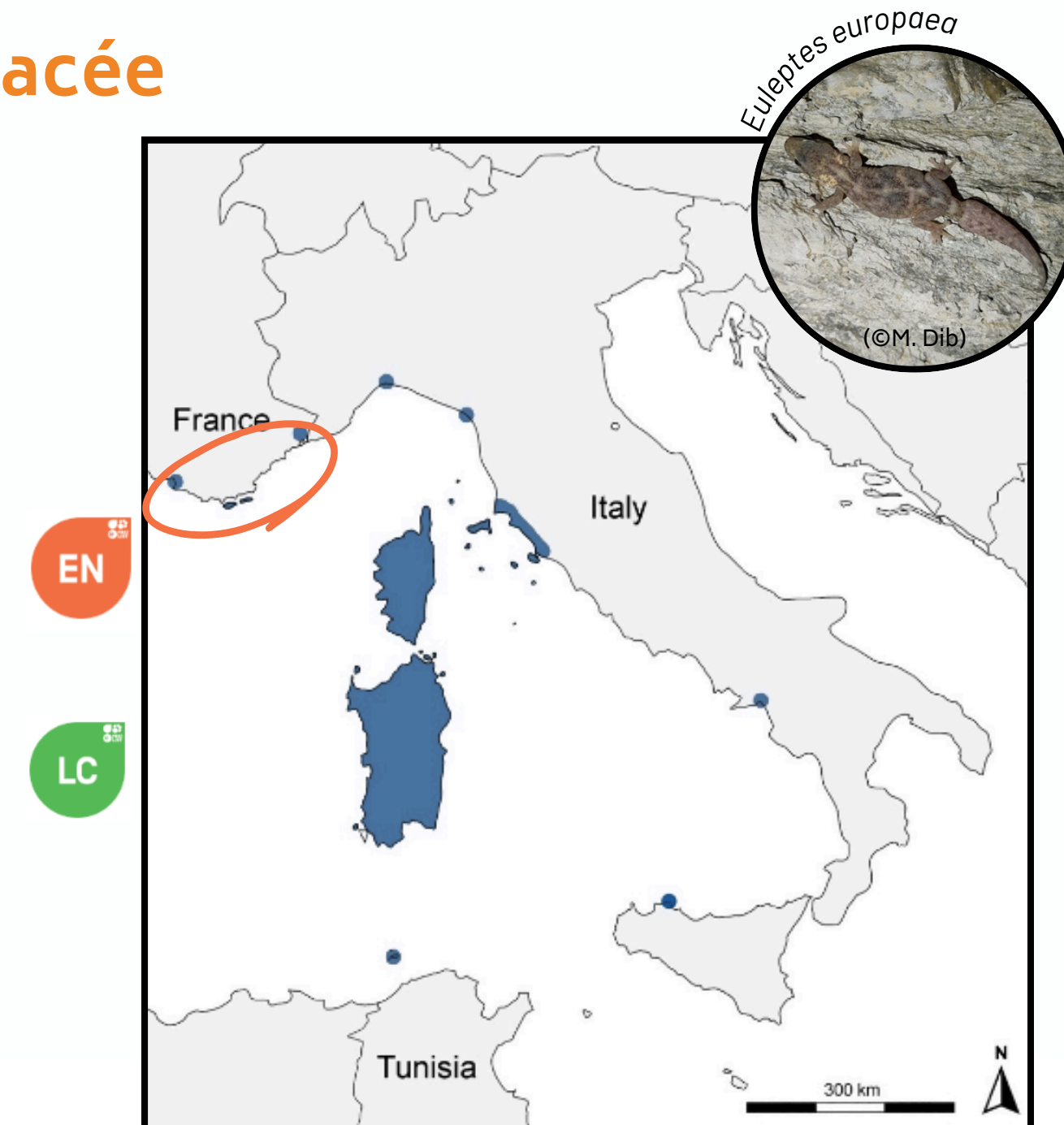
Principales menaces

Populations en déclin

- Provence → **En danger**
- France et UE → Préoccup. mineure

Espèce protégée

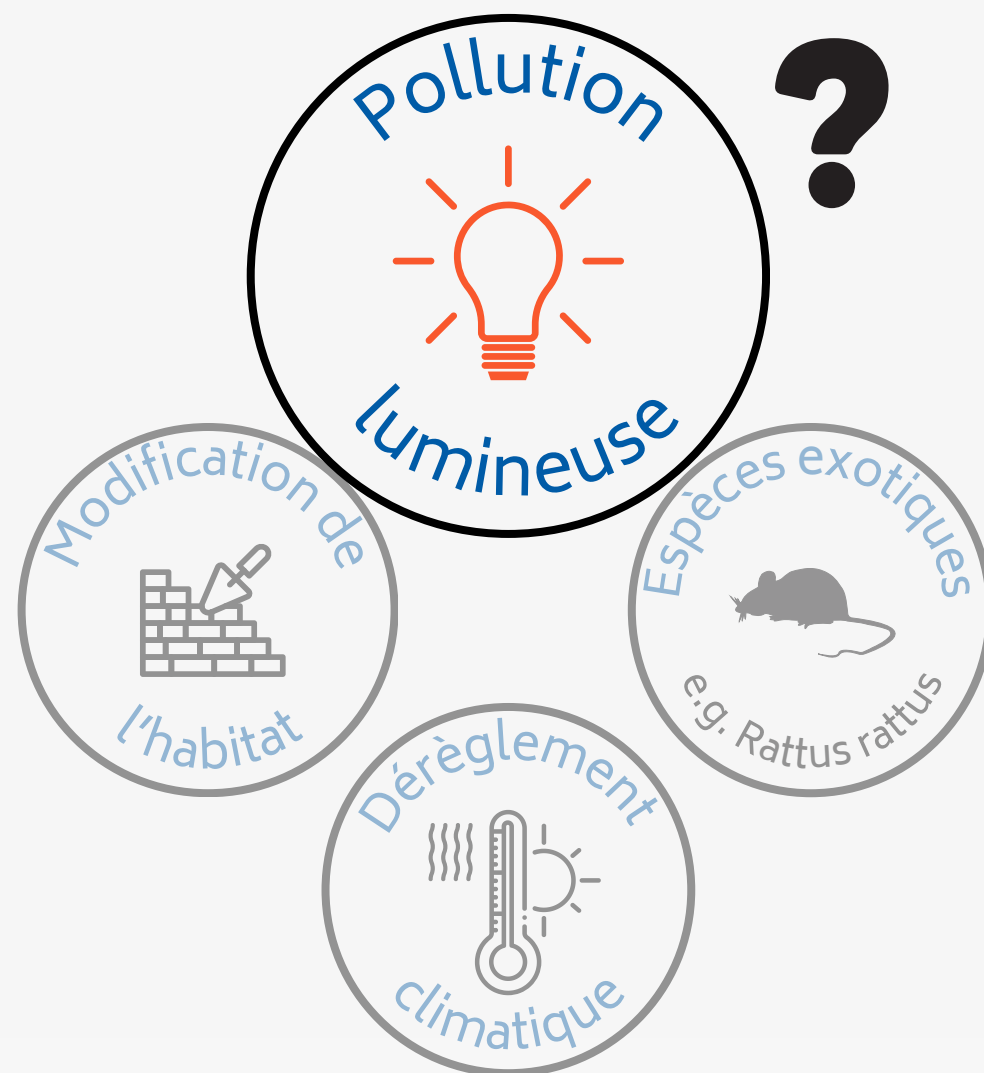
Liste des amph. et rept. protégés en Fr. métrop.
Annexes II et IV dir. Habitats
Annexe II conv. Berne



Répartition géographique du *Phyllodactylus* d'Europe.
D'après Giacalone et al., 2024 (couleurs modifiées).

CONTEXTE

Conservation d'une espèce menacée



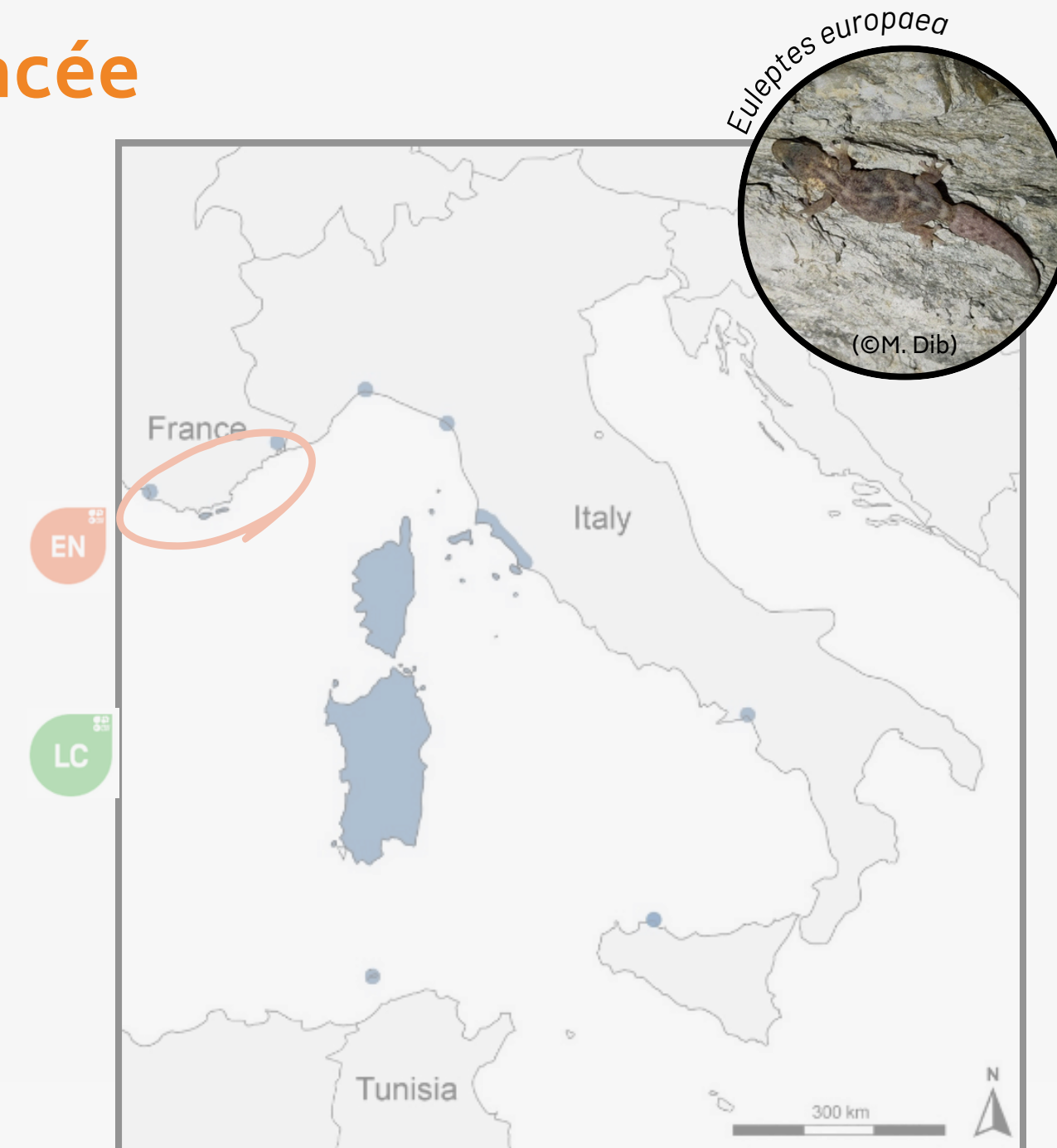
Principales menaces

Populations en déclin

- Provence → **En danger**
- France et UE → Préoccup. mineure

Espèce protégée

Liste des amph. et rept. protégés en Fr. métrop.
Annexes II et IV dir. Habitats
Annexe II conv. Berne



Répartition géographique du Phyllodactyle d'Europe.
D'après Giacalone et al., 2024 (couleurs modifiées).

CONTEXTE ALAN : Artificial Light At Night



pollution globale

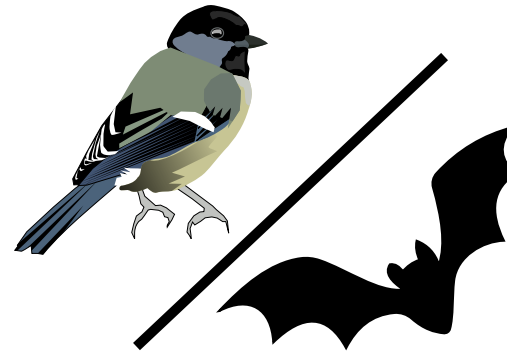
cause de déclin
de la biodiversité

CONTEXTE ALAN : Artificial Light At Night



pollution globale

↳ cause de déclin
de la biodiversité



impacts négatifs
sur les espèces et les
écosystèmes

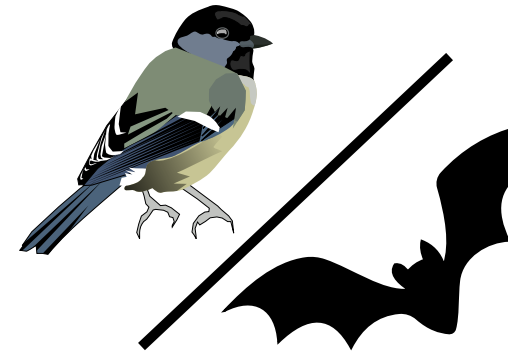
↳ sur-représentation
de certains
groupes

CONTEXTE ALAN : Artificial Light At Night



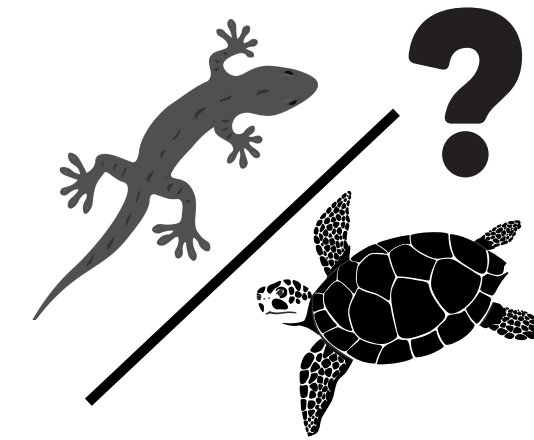
pollution globale

↳ cause de déclin
de la biodiversité



impacts négatifs
sur les espèces et les
écosystèmes

↳ sur-représentation
de certains
groupes

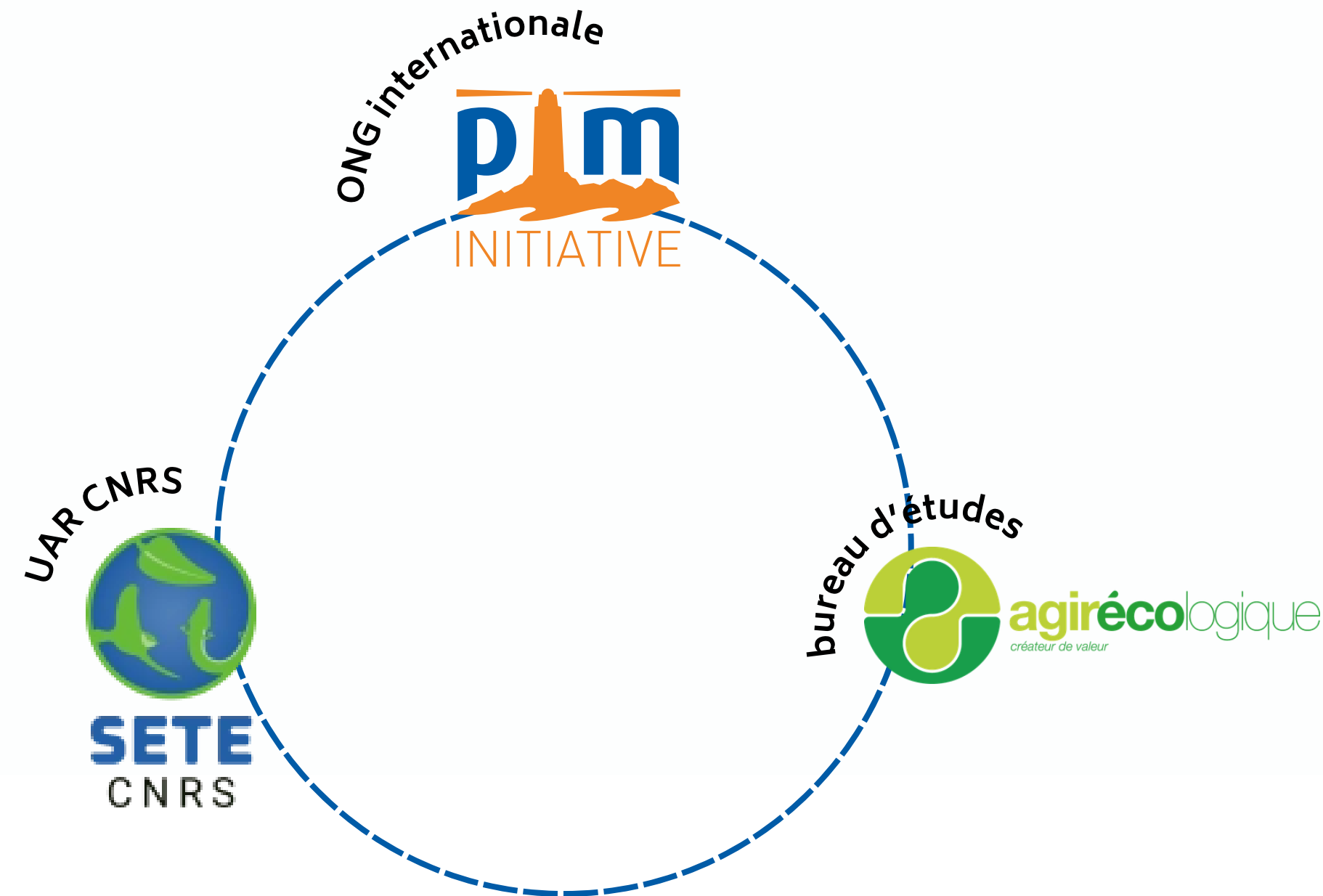


groupe des reptiles
peu étudié

↳ et encore moins les
nocturnes !

CADRE

Collaboration multi-acteurs pour mieux connaître,
gérer et conserver le Phyllodactyle d'Europe

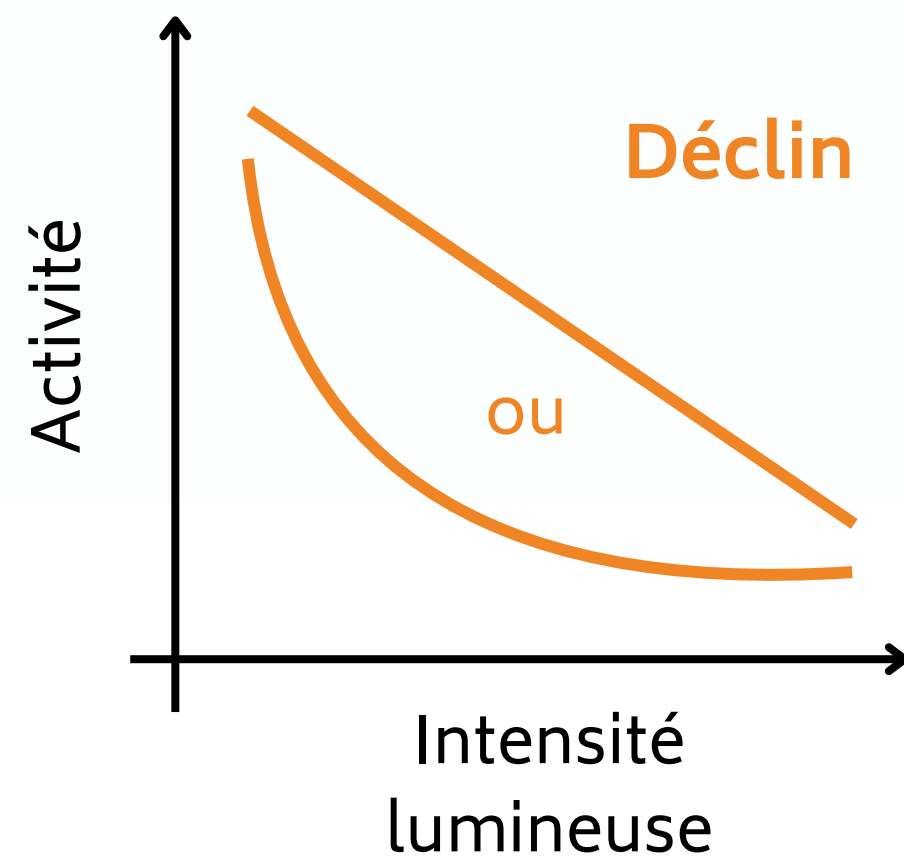


Thèse CIFRE par Julie Quessada

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

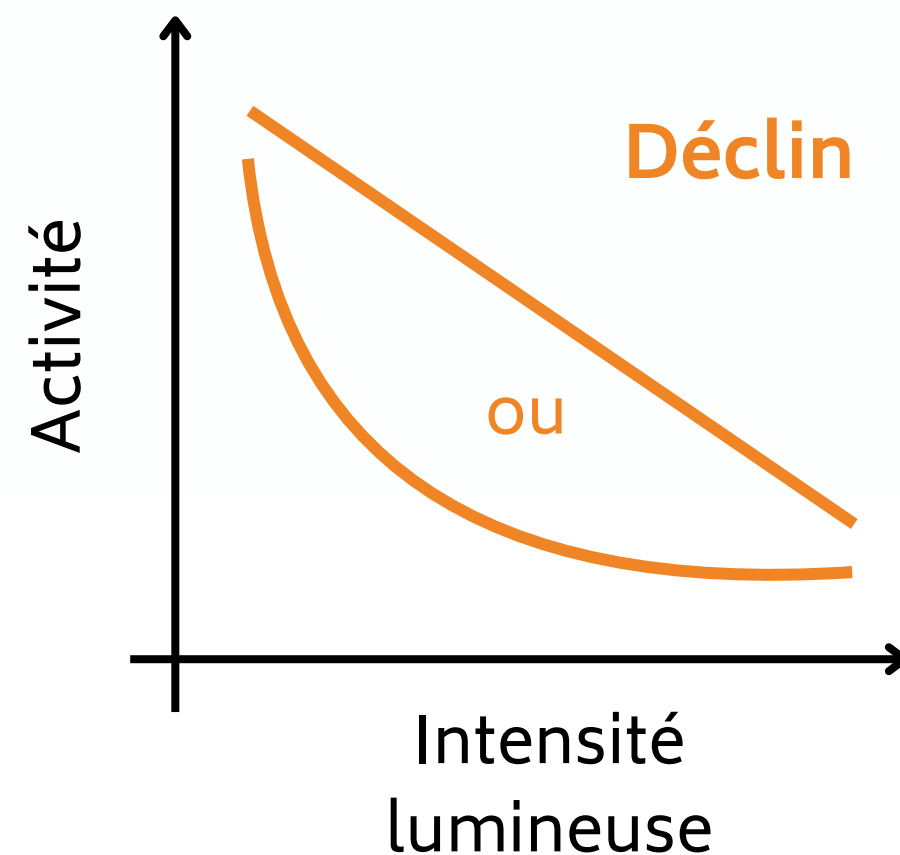
HYPOTHÈSES ET PRÉDICTIONS

Q1 : Dans quelle mesure **l'activité** de l'espèce est-elle perturbée par la lumière artificielle nocturne ?



HYPOTHÈSES ET PRÉDICTIONS

Q1 : Dans quelle mesure **l'activité** de l'espèce est-elle perturbée par la lumière artificielle nocturne ?



Q2 : Quelle est la **réaction** (ou la stratégie) à court terme face à cette perturbation ?



Zone éclairée

Repli

Quand : Intensité
lum. forte



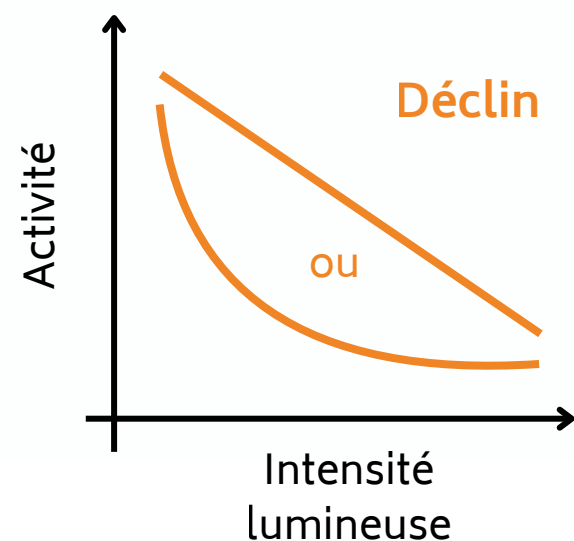
Zone d'ombre

Fuite

HYPOTHÈSES ET PRÉDICTIONS

Q1 : Dans quelle mesure l'**activité** de l'espèce est-elle perturbée par la lumière artificielle nocturne ?

Q2 : Quelle est la **réaction** (ou la stratégie) à court terme face à cette perturbation ?



CONSERVATION

1. Préconisations d'éclairage
2. Effarouchement lumineux



Zone éclairée

Repli

Quand : Intensité lum. forte



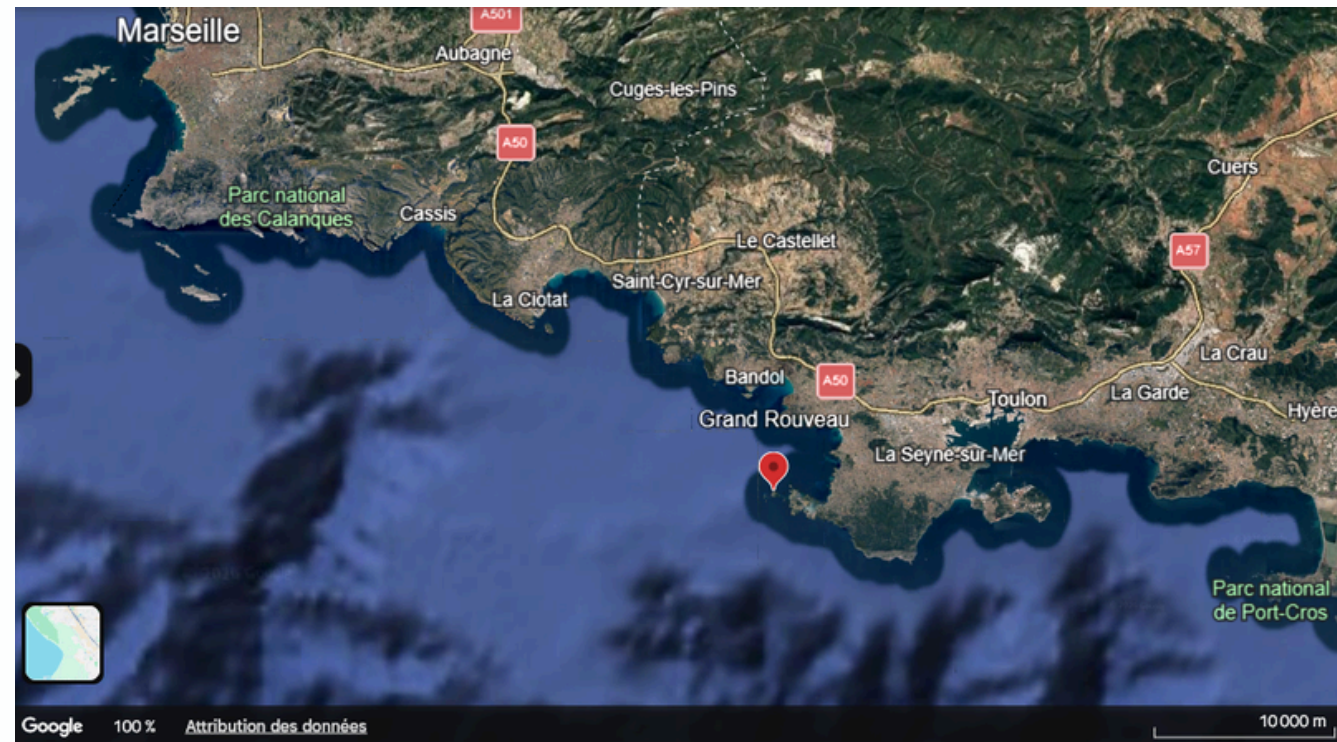
Zone d'ombre

Fuite



HABITAT NATUREL

Île du Grand Rousseau (Var)



Cartes Google Satellite

35 individus
répartis en 5 groupes



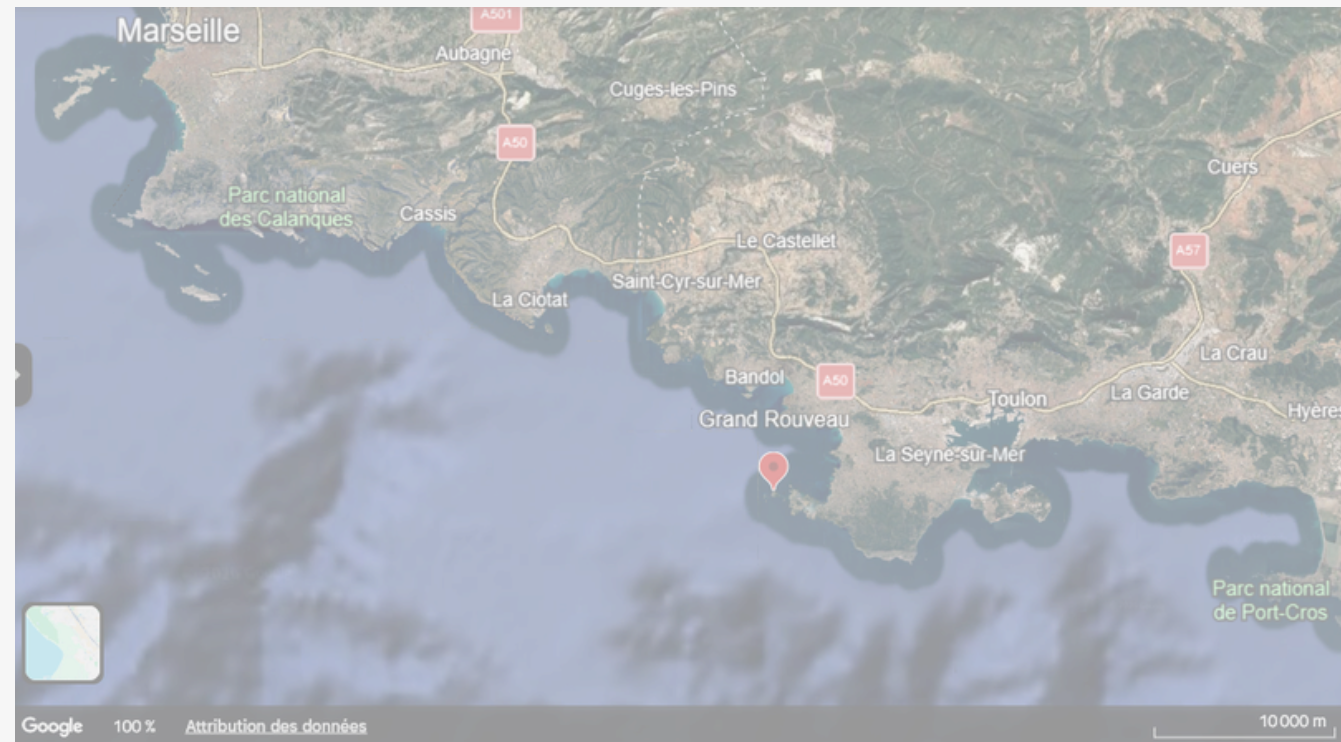
Phare de l'île du Grand Rousseau (©M. Dib)



Projet validé par
le comité éthique
Cuvier (N°68)

HABITAT NATUREL

Île du Grand Rouveau (Var)



35 individus
répartis en 5 groupes

Projet validé par
le comité éthique
Cuvier (N°68)

CAPTIVITÉ PROVISOIRE

Station d'Ecologie Théorique et
Expérimentale du CNRS (Ariège)

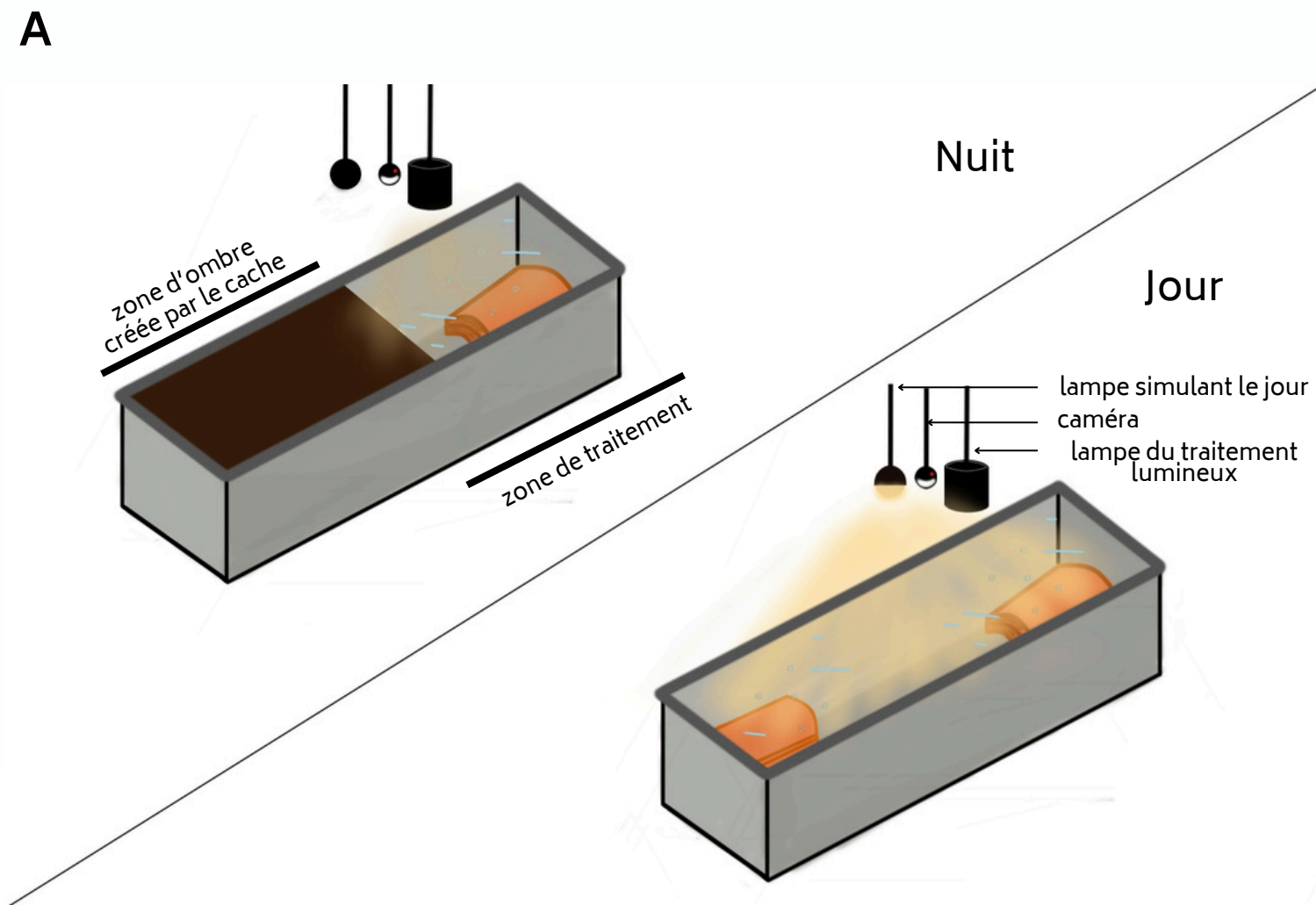


Terrarium et individus dans le gîte (©M. Dib)

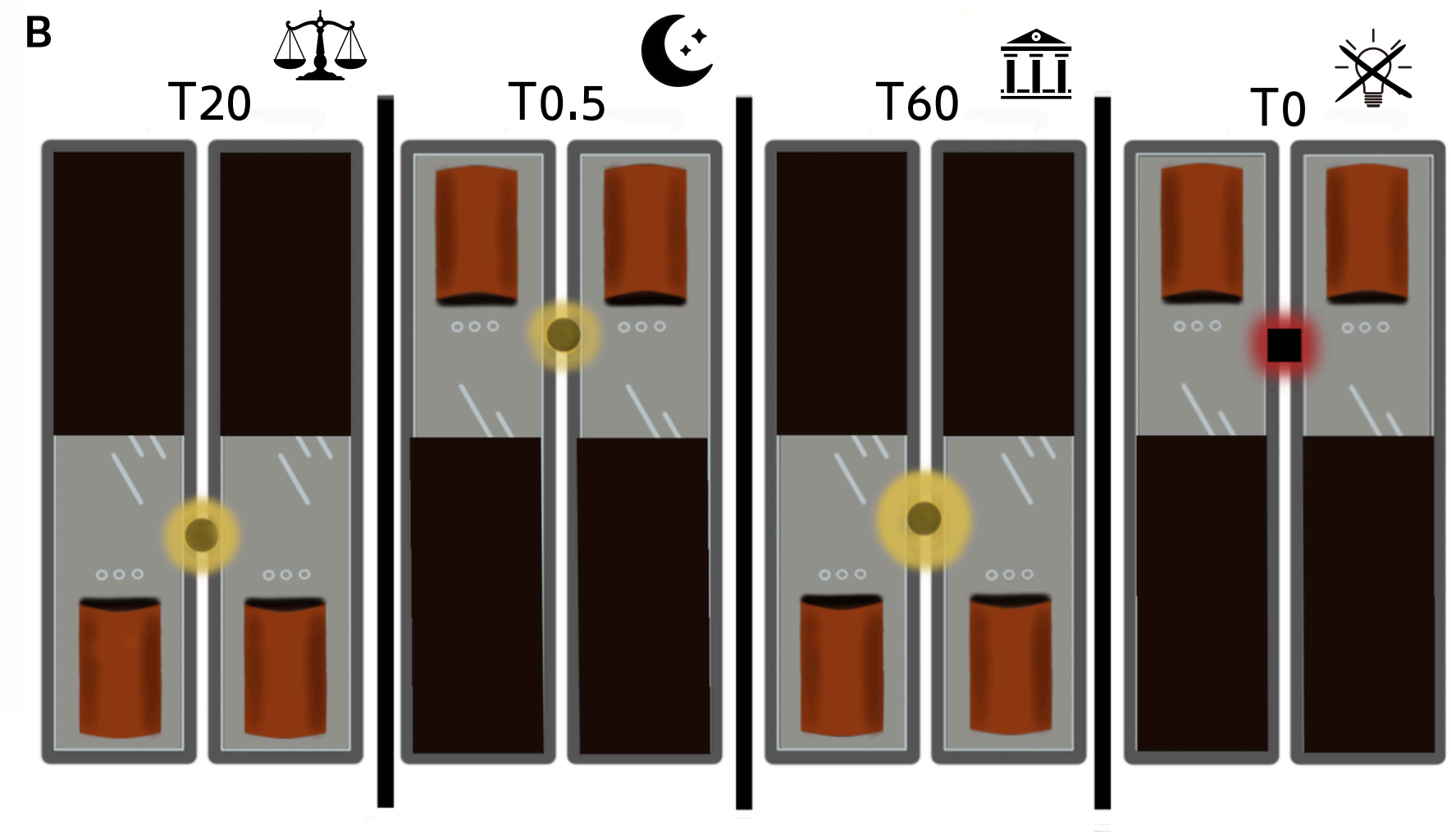
DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

La nuit, 2 conditions par arène : ombre et lumière.
Le jour, l'ensemble du dispositif est éclairé.

4 traitements lumineux d'intensité croissante :
0, 0.5, 20 et 60 lux



A : Conditions expérimentales d'une arène. Vue de profil.



B : Ensemble des arènes. Le dispositif est représenté sous la mise en place nocturne, vue du dessus. Seules les lampes du traitement lumineux sont affichées ; les barres noires représentent les rideaux opaques.

TRAITEMENT DES DONNÉES



Visionnage de plus
de 1700h de vidéos

↳ éthogramme

Comportements pour
chaque individu, dont :

début et fin de
chaque sortie du gîte
en zone éclairée

gîte en fin de nuit

Variable déduite



activité

Q1

fuite/repli

Q2

Q1

LMM

```
lmer(sqrt(Duree_tot_exposition) ~ Traitement * Nuit + Duree_nuit  
+ (1 | Replica) + (1 | Individu) )
```

ANOVA III

Effets globaux des variables

- **Traitement : effet ***** ($\chi^2 = 251,31$; $p < 0,001$)
- **Nuit : effet ***** ($\chi^2 = 18,12$; $p < 0,001$)
- **Interaction TxN : non signif.** ($\chi^2 = 3,38$; $p = 0,759$)
- **Durée de la nuit : non signif.** ($\chi^2 = 3,74$; $p = 0,053$)

Q1

LMM

$$\text{lmer}(\text{sqrt}(\text{Duree_tot_exposition}) \sim \text{Traitement} * \text{Nuit} + \text{Duree_nuit} \\ + (1 | \text{Replica}) + (1 | \text{Individu}))$$

ANOVA III

Effets globaux des variables

POSTHOC

- **Traitement** : effet *** ($\chi^2 = 251,31$; $p < 0,001$)

DUNNETT

Comparaisons des traitements à T0

CONTRASTES PLANIFIÉS

Comparaisons d'intérêt entre certains traitements

- **Nuit** : effet *** ($\chi^2 = 18,12$; $p < 0,001$)

TUKEY

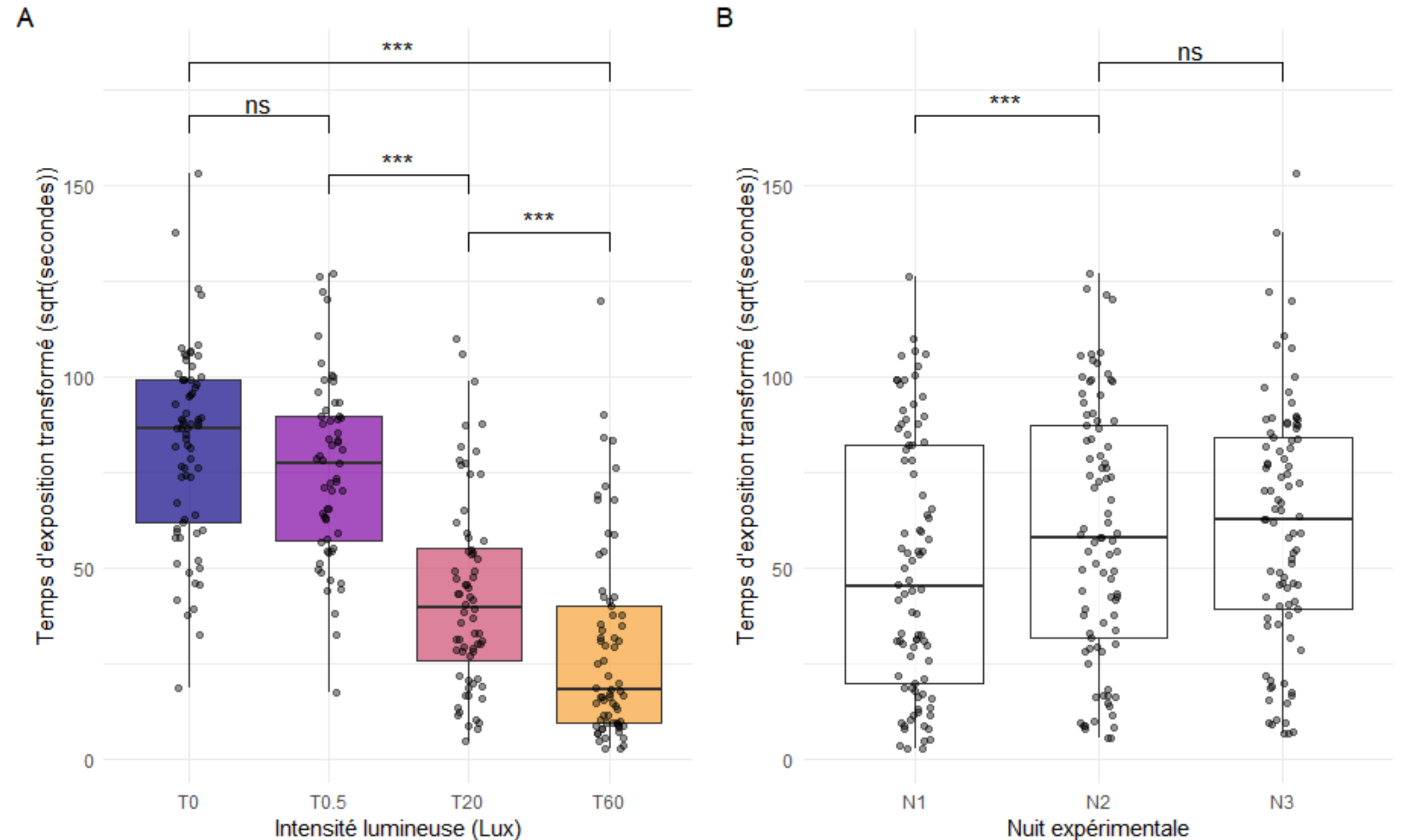
Comparaisons par paire des nuits, tous traitements confondus

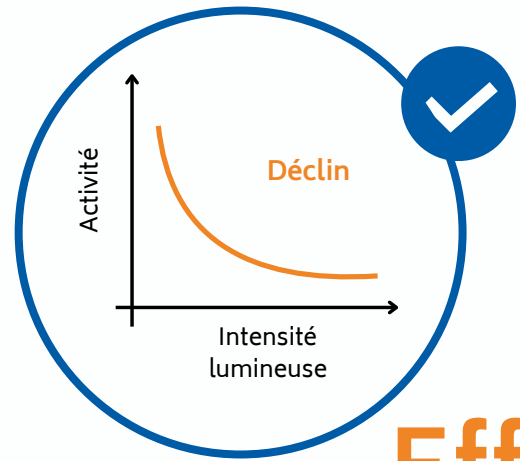
Q1

POSTHOC

EMMeans : (sqrt(activité)) ~ Traitement & (sqrt(activité)) ~ Nuit

- Baisse significative de l'activité au-delà de 0,5 lux
- + d'activité la 2e et 3e nuit





QUESTION 1

Effet négatif de l'ALAN sur l'activité

Baisse de l'activité aux intensités lumineuses fortes (20 et 60 lux)

eg. *Bufo bufo* : - 77,4 % à 20 lux
(Touzot et al., 2019)



Sensibilité importante du phyllodactyle

Entre 0,5 et 20 lux

= *Gekko japonicus* (Kobayashi et al., 2023)
≠ *Tarentola mauritanica* (Martin et al., 2018)

Effet dans le temps

En moyenne moins actifs la 1ere nuit.
Habituation ?

Secondi et al., 2025

QUESTION 1

Effet - de l'ALAN sur l'activité

Baisse de l'activité aux intensités lumineuses fortes (20 et 60 lux)

eg. *Bufo bufo* : - 77,4 % à 20 lux
(Touzot et al., 2019)

Sensibilité importante du phyllodactyle

Entre 0,5 et 20 lux

= *Gekko japonicus* (Kobayashi et al., 2023)
≠ *Tarentola mauritanica* (Martin et al., 2018)

Effet dans le temps ?

En moyenne moins actifs la 1ère nuit, par habitude ?

Secondi et al., 2025

CONSERVATION

Eviter/Réduire l'éclairage sur les sites habités par l'espèce

- Dérangement < seuil minimal (arrêté de décembre 2018)
- Monuments fortement éclairés (eg. château d'If)

→ Inadéquation de la législation



Dardun, 2003 ; Shroer et al., 2020

Q2

GLMM -
FIRTH

```
bglmer(Gite ~ Traitement * Nuit + Duree_nuit_scaled + (1 | Individu) + (1 | Replica),  
family = binomial(link = "logit"), fixef.prior = normal() )
```

ANOVA III

Effets globaux des variables

- **Traitement** : effet *** ($\chi^2 = 29,73$; $p < 0,001$)
- **Nuit** : non signif. ($\chi^2 = 3,52$; $p = 0,17$)
- **Interaction TxN** : non signif. ($\chi^2 = 5,23$; $p = 0,51$)
- **Durée de la nuit** : non signif. ($\chi^2 = 0,79$; $p = 0,37$)
centrée-réduite

Q2

GLMM -
FIRTH

```
bglmer(Gite ~ Traitement * Nuit + Duree_nuit_scaled + (1 | Individu) + (1 | Replica),  
family = binomial(link = "logit"), fixef.prior = normal())
```

ANOVA III

Effets globaux des variables

POSTHOC

- Traitement : effet *** ($\chi^2 = 29,73$; $p < 0,001$)

— effet Trt —

BONFERRONI

Comparaisons par paire des
traitements

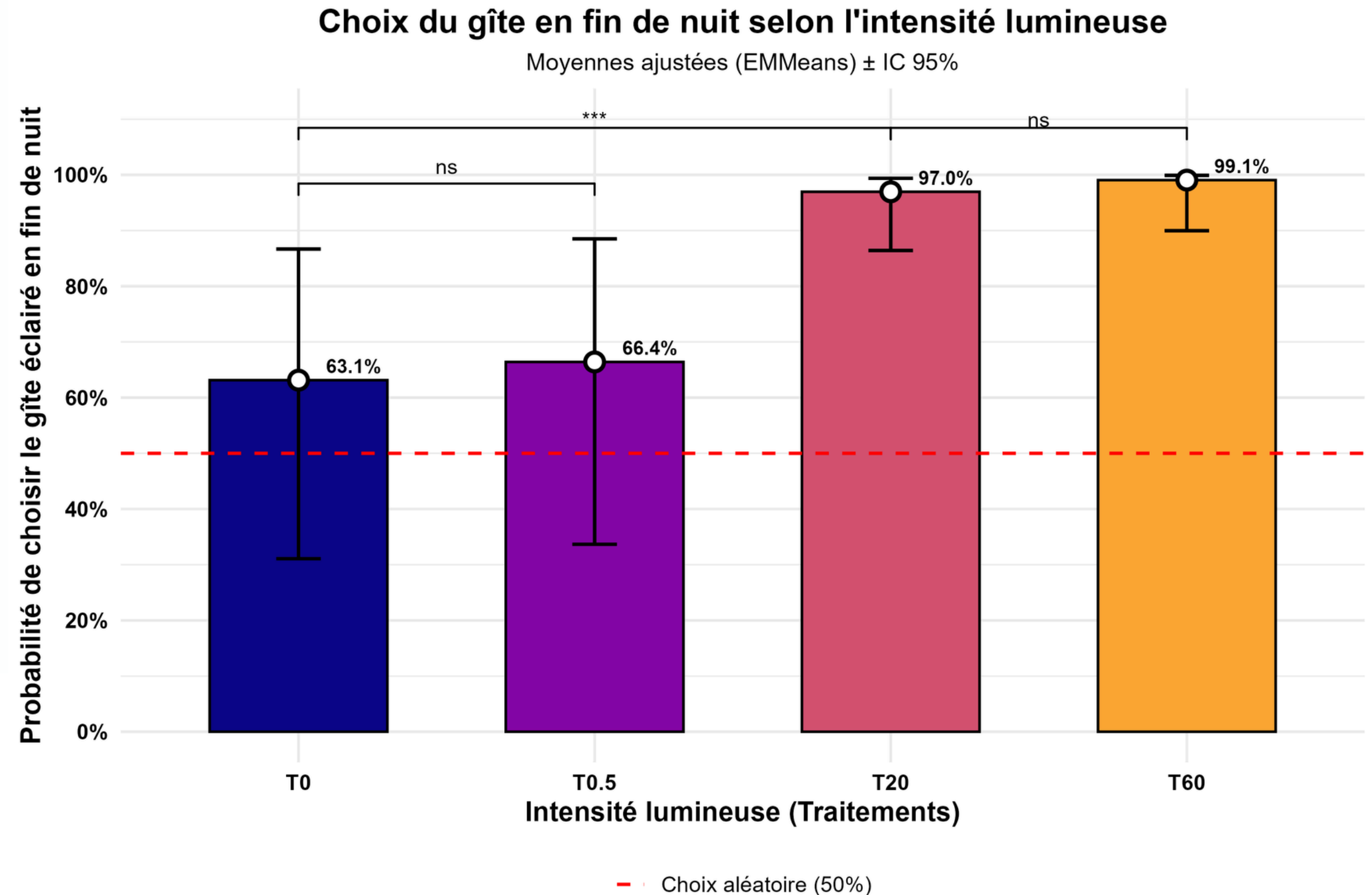
EMMeans ~ Traitement :
Proba de choisir "Repli"
selon le traitement

Q2

POSTHOC

EMMeans ~ Traitement

Repli
comportemental :
retenue en zone
éclairée pour les
traitements de forte
intensité



QUESTION 2

Réponse forte à l'ALAN



Zone éclairée



Repli

Intensités fortes
(20 et 60 lux)

eg. *Bufo spinosus* : moins exploration à 20 lux
(Secondi et al., 2026)

Réponse stable dans
le temps

Probabilités similaires au
cours des nuits

Fidélité au site perturbé

→ Comportement maladapté ?

eg. *Odocoileus hemionus columbianus*
(Kreling et al., 2021)

QUESTION 2

Réponse forte à l'ALAN



Zone éclairée



Repli
Intensité forte

Réponse stable dans
le temps

Probabilités similaires au
cours des nuits



Comportement
maladapté ?

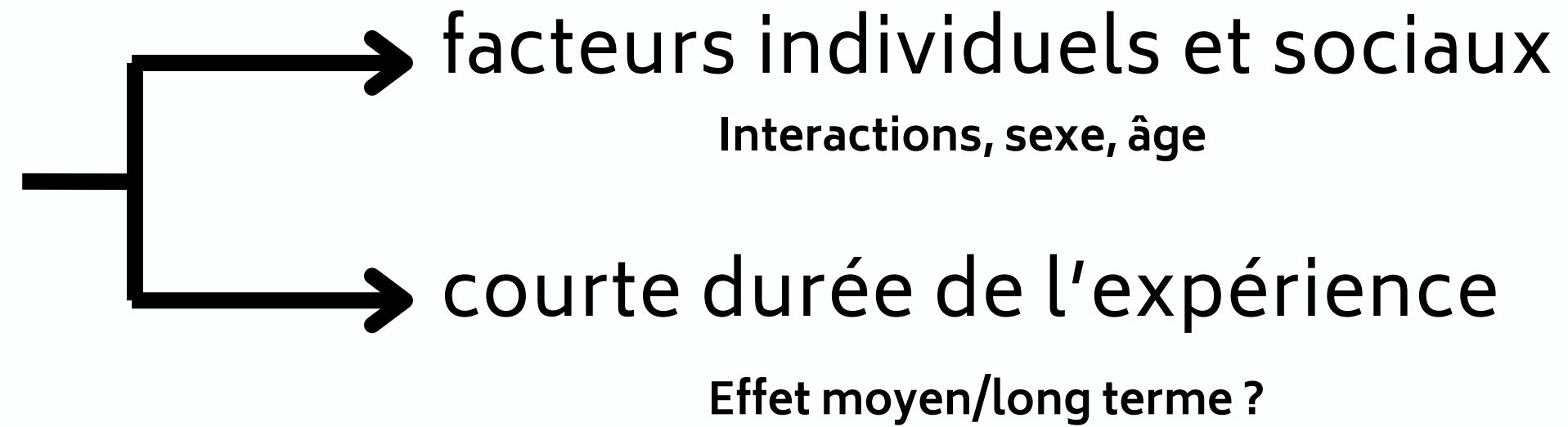
Fidélité au site perturbé

CONSERVATION

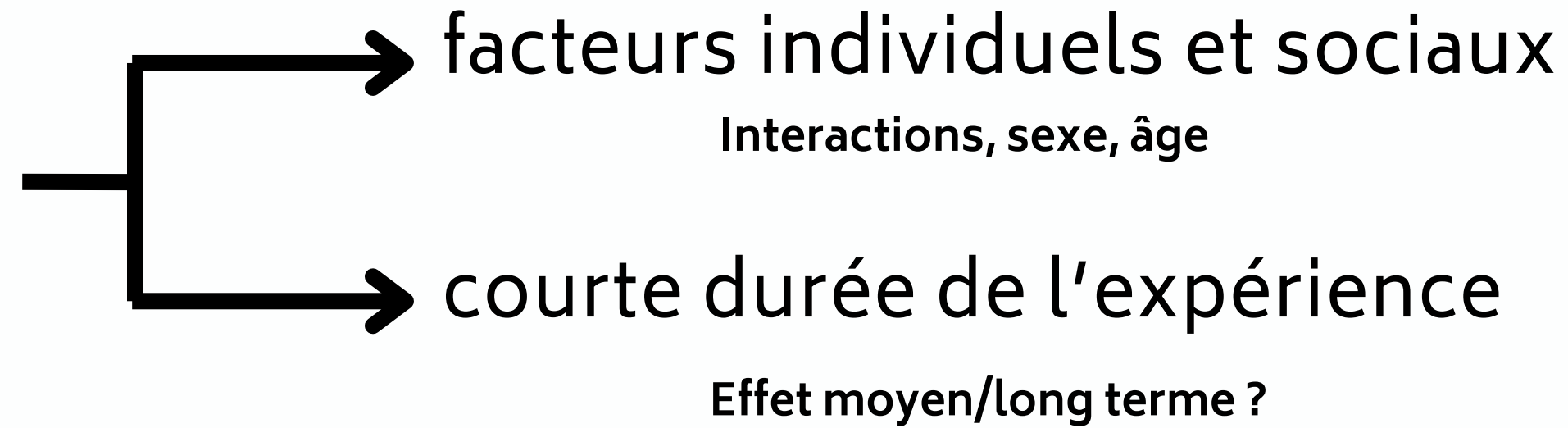
Pour les protocoles d'effarouchement lumineux :

- N'induit pas de fuite mais empêcherait la présence des individus

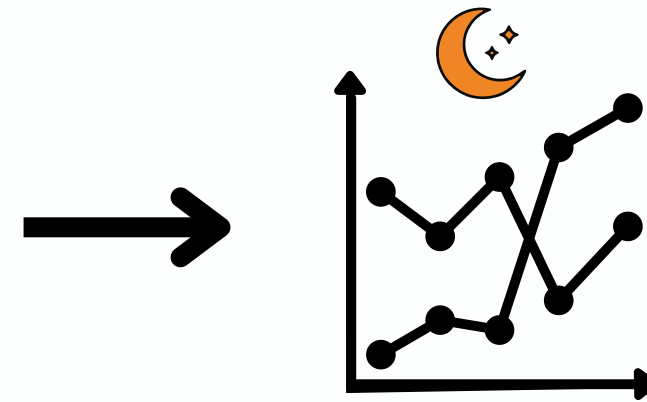
LIMITES



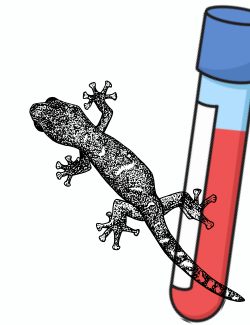
LIMITES



PERSPECTIVES

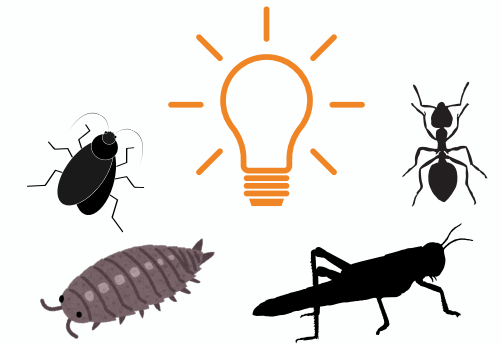


Effet sur la période d'activité
(cycle circadien)



Impacts
physiologiques

Cortisol, masse corp.,
régén. queue...



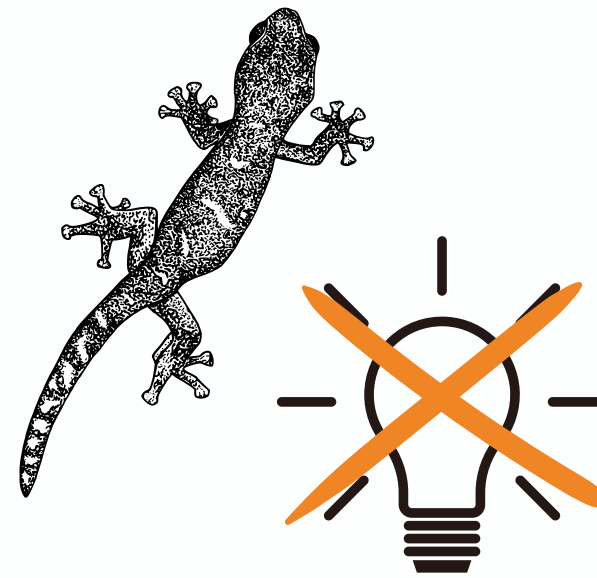
Interactions écologiques

Vaccum cleaner effect

Forte sensibilité du Phyllodactyle à la lumière artificielle nocturne

< 20 lux réglementaires

↳ Mesures
particulières



Réponse comportementale

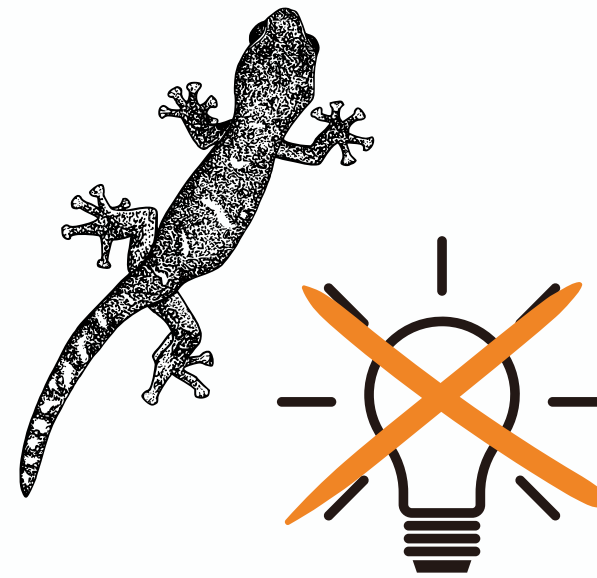
Retrait à court terme

↳ Effarouchement
lumineux ?

Forte sensibilité du Phyllodactyle à la lumière artificielle nocturne

< 20 lux réglementaires

↳ Mesures
particulières



Réponse comportementale

Retrait à court terme

↳ Effarouchement
lumineux ?

- Éléments de connaissance pour la gestion et conservation de l'espèce
- Connaissances pour le groupe sous-étudié des reptiles/nocturnes/insulaires



Best of des phyllos en vidéo



Terrain sur If
et Grand
Rouveau
avec Julie,
Vincent et
les PIM



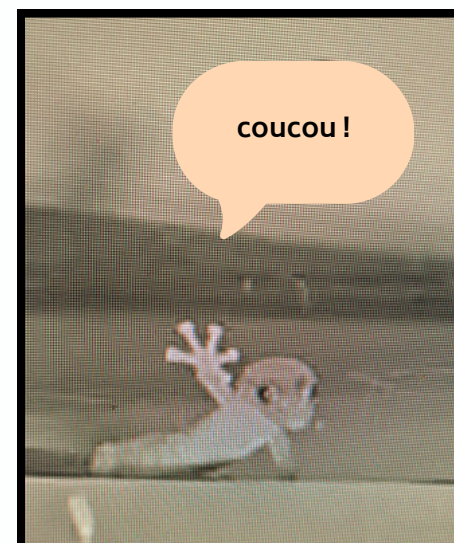
Séjour inoubliable au coeur des Pyrénées

MERCI POUR VOTRE ÉCOUTE !

Des questions ?



Beaucoup de
cache-cache
phyllous
(5 cachés ci-contre)



BIBLIOGRAPHIE (1/3)

- Arrêté du 8 janvier 2021 fixant la liste des amphibiens et des reptiles représentés sur le territoire métropolitain protégés sur l'ensemble du territoire national et les modalités de leur protection, 2021.
- Arrêté du 27 décembre 2018 relatif à la prévention, à la réduction et à la limitation des nuisances lumineuses, 2018.
- Brayley, O., How, D.M., Wakefield, D.A., 2022. Biological Effects of Light Pollution on Terrestrial and Marine Organisms. IJSL 24, 13–38. <https://doi.org/10.26607/ijsl.v24i1.121>
- Baxter-Gilbert, J., Baider, C., Florens, F.B.V., Hawlitschek, O., Mohan, A.V., Mohanty, N.P., Wagener, C., Webster, K.C., Riley, J.L., 2021. Nocturnal foraging and activity by diurnal lizards: Six species of day geckos (*Phelsuma* spp.) using the night-light niche. Austral Ecology 46, 501–506. <https://doi.org/10.1111/aec.13012>
- Cheylan, M., Rivière, V., Cheylan, A., 2018. Évaluation d'une méthode de suivi à long terme du gecko *Euleptes europaea* sur l'île du Grand Rousseau (archipel des Embiez, Var, France). Revue d'Ecologie (Terre et Vie), Vol. 73 (4), 2018: 526-536.
- Caldwell, I.R., Hobbs, J.-P.A., Bowen, B.W., Cowman, P.F., DiBattista, J.D., Whitney, J.L., Ahti, P.A., Belderok, R., Canfield, S., Coleman, R.R., Iacchei, M., Johnston, E.C., Knapp, I., Nalley, E.M., Staeudle, T.M., Láruson, Á.J., 2024. Global trends and biases in biodiversity conservation research. Cell Reports Sustainability 1, 100082. <https://doi.org/10.1016/j.crsus.2024.100082>
- Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats. Appendix II – STRICTLY PROTECTED FAUNA SPECIES, 1979.
- Dardun, J.-Y., 2003. Problématique de Conservation du Phyllodactyle d'Europe *Euleptes europaea* sur les îles de Marseille (Archipels du Frioul et de Riou). Mémoire de DESS Ecosystèmes Méditerranéens Littoraux, Université de Corse Faculté des Sciences et Techniques, 61p.
- Davies, T.W., Smyth, T., 2018. Why artificial light at night should be a focus for global change research in the 21st century. Global Change Biology 24, 872–882. <https://doi.org/10.1111/gcb.13927>
- 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 3, 96–121
- 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 Pages. https://doi.org/10.13128/A_H-7746

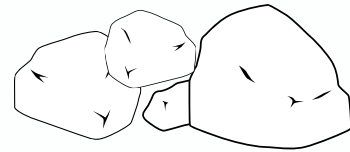
BIBLIOGRAPHIE (2/3)

- Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora, 2025.
- Directive 2009/147/EC of the European Parliament and of the Council of 30 November 2009 on the conservation of wild birds (codified version), 2019.
- Eisenbeis, G., Rich, C., Longcore, T., 2006. Artificial night lighting and insects: attraction of insects to streetlamps in a rural setting in Germany. *Ecological consequences of artificial night lighting* 2, 191–198.
- Falchi, F., Cinzano, P., Duriscoe, D., Kyba, C.C.M., Elvidge, C.D., Baugh, K., Portnov, B.A., Rybnikova, N.A., Furgoni, R., 2016. The new world atlas of artificial night sky brightness. *Sci. Adv.* 2, e1600377. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1600377>
- Friard, O., Gamba, M., 2016. BORIS: a free, versatile open-source event-logging software for video/audio coding and live observations. *Methods in Ecology and Evolution* 7, 1325–1330. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12584>
- Gaston, K.J., Bennie, J., Davies, T.W., Hopkins, J., 2013. The ecological impacts of nighttime light pollution: a mechanistic appraisal. *Biological Reviews* 88, 912–927. <https://doi.org/10.1111/brv.12036>
- Giacalone, G., Faraone, F.P., 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. <https://doi.org/10.21426/B639263791>
- Hu, Y., Luo, Z., Chapman, C.A., Pimm, S.L., Turvey, S.T., Lawes, M.J., Peres, C.A., Lee, T.M., Fan, P., 2019. Regional scientific research benefits threatened-species conservation. *National Science Review* 6, 1076–1079. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwz090>
- Howard, S.D., Bickford, D.P., 2014. Amphibians over the edge: silent extinction risk of Data Deficient species. *Diversity and Distributions* 20, 837–846. <https://doi.org/10.1111/ddi.12218>
- Koen, E.L., Minnaar, C., Roever, C.L., Boyles, J.G., 2018. Emerging threat of the 21st century lightscape to global biodiversity. *Global Change Biology* 24, 2315–2324. <https://doi.org/10.1111/gcb.14146>
- Martín, B., Pérez, H., Ferrer, M., 2018. Effects of natural and artificial light on the nocturnal behaviour of the wall gecko. *Anim. Biodiv. Conserv.* 41, 209–215. <https://doi.org/10.32800/abc.2018.41.0209>
- Méndez, A., Prieto, B., Aguirre I Font, J.M., Sanmartín, P., 2024. Better, not more, lighting: Policies in urban areas towards environmentally-sound illumination of historical stone buildings that also halts biological colonization. *Science of The Total Environment* 906, 167560. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167560>

BIBLIOGRAPHIE (3/3)

- Murray, H., Green, E., Williams, D., Burfield, I., Brooke M De, L., 2015. Is research effort associated with the conservation status of European bird species? *Endang. Species. Res.* 27, 193–206. <https://doi.org/10.3354/esr00656>
- 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 Herpetol.* 19, 123–137. https://doi.org/10.36253/a_h-14527
- R Core Team, 2025. R: A Language and Environment for Statistical Computing.
- Rivière, V., Lelong, P., Damercy, C., Zucconi, P., Runde-Cariou, S., 2021. Fiche île: Grand Rousseau – Sous-bassin: France Sud. Atlas of Small Mediterranean Islands. URL <https://pimatlas.org/explorer-atlas/iles/grand-rousseau/> (accessed 7.22.26)
- Salvi, D., Delaugerre, M.-J., Corti, C., Ouni, R., Crochet, P.-A., 2024. *Euleptes europaea* [WWW Document]. The IUCN Red List of Threatened Species. <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2025-2.RLTS.T61446A248738795.en>
- Salvidio, S., Lanza, B., Delaugerre, M.-J., 2011. *Euleptes europaea*, in: Fauna d'Italia Reptilia.
- Schroer, S., Huggins, B.J., Azam, C., Hölker, F., 2020. Working with Inadequate Tools: Legislative Shortcomings in Protection against Ecological Effects of Artificial Light at Night. *Sustainability* 12, 2551. <https://doi.org/10.3390/su12062551>
- Secondi, J., Mondy, N., Gippet, J.M.W., Touzot, M., Gardette, V., Guillard, L., Lengagne, T., 2021. Artificial light at night alters activity, body mass, and corticosterone level in a tropical anuran. *Behavioral Ecology* 32, 932–940. <https://doi.org/10.1093/beheco/arab044>
- Secondi, J., Périsse, L., Lengagne, T., Mondy, N., 2025. Differential responses of rural and urban populations to artificial light at night in the Spiny toad. *Behav Ecol* 36, araf051. <https://doi.org/10.1093/beheco/araf0512022>. A
- Touzot, M., Teulier, L., Lengagne, T., Secondi, J., Théry, M., Libourel, P.-A., Guillard, L., Mondy, N., 2019. Artificial light at night disturbs the activity and energy allocation of the common toad during the breeding period. *Conservation Physiology* 7. <https://doi.org/10.1093/conphys/coz002>
- UICN Comité français, OFB, MNHN, SHF, 2026. La Liste rouge des espèces menacées en France – Chapitre Reptiles et Amphibiens de France hexagonale. Paris, France. Paris, France.
- Zhao, Y., Liu, J., Wang, F., Zhang, Y., Ma, Z., 2025. Targeted conservation actions are required to save species from extinction. *Biological Conservation* 310, 111340. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2025.111340>

PROTOCOLE DE SUIVI DES GÎTES ET CMR



1. Dégager le gîte

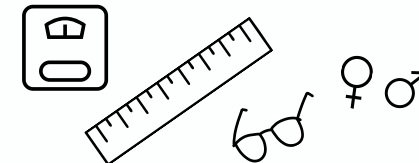
Gîtes fermés



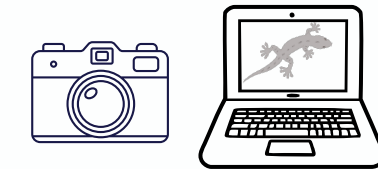
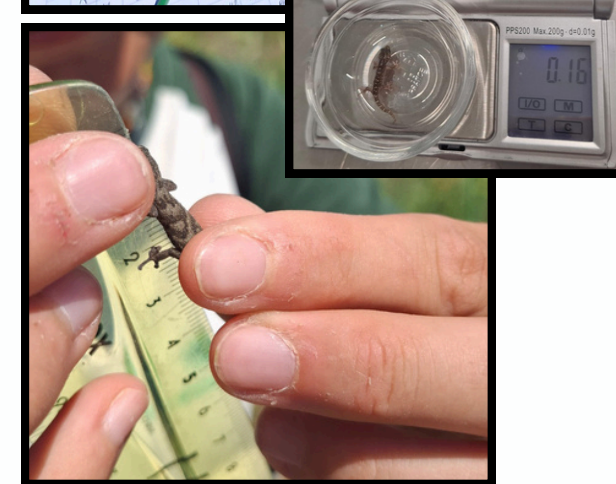
Gîte ouvert



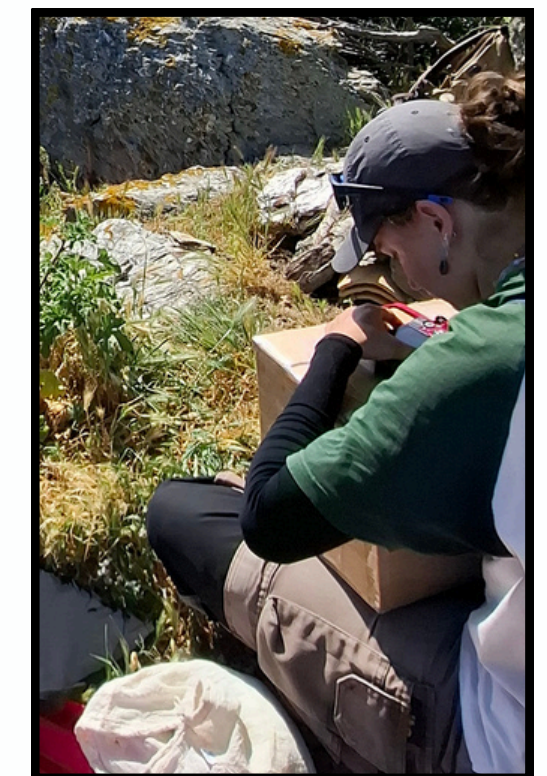
2. Capturer les individus



3. Relever les données individuelles : classe d'âge, sexe, masse, SVL, état global...



4. Photoidentification



Comparaison aux trombinoscopes existants :
Visuellement (ci-contre)
+ automatiquement avec le logiciel Hotspotter

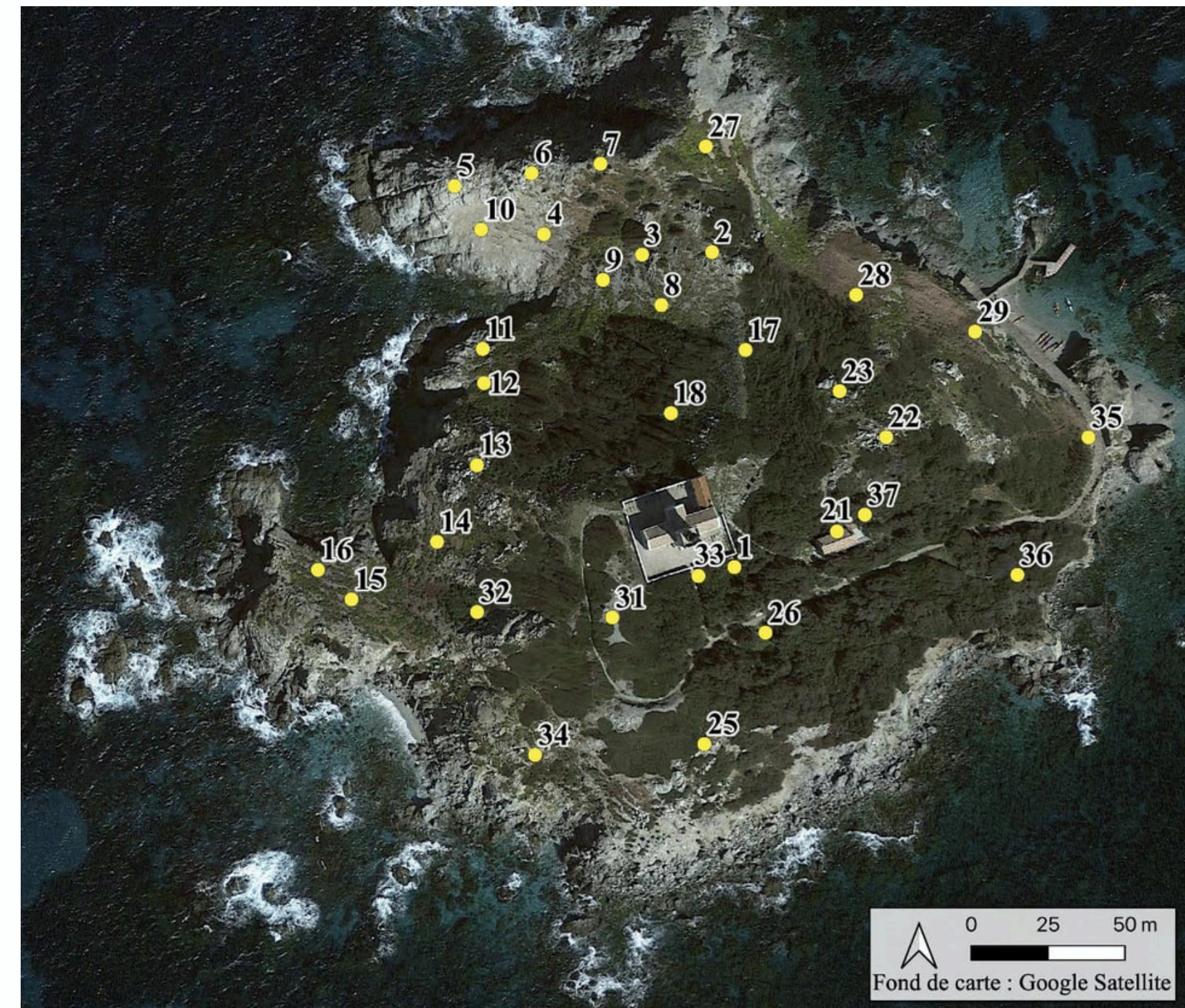


5. Relevé des données de température quand présence des boutons thermiques

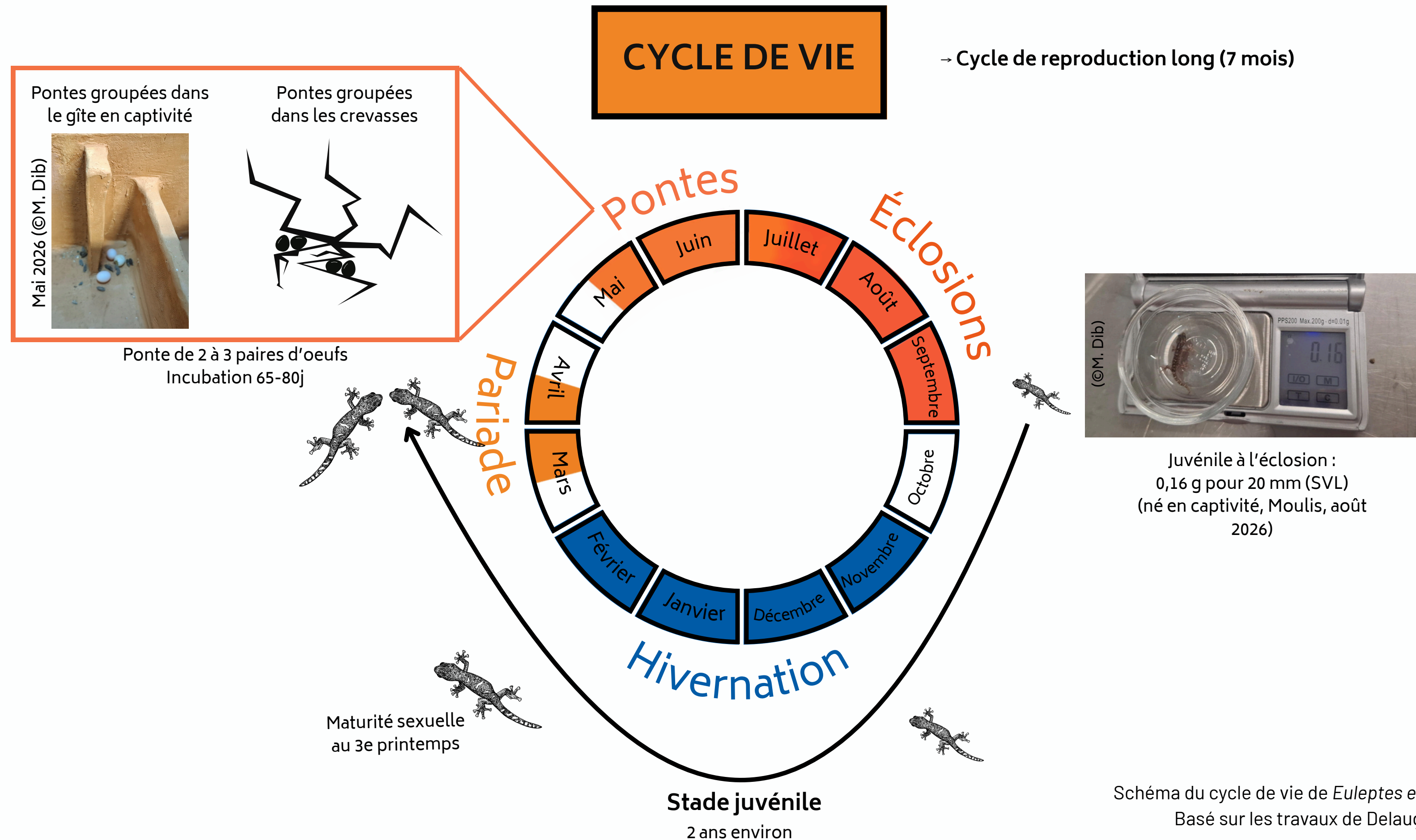
PROTOCOLE DE SUIVI DES GÎTES ET CMR



Ile d'If, Marseille



Ile du Grand Rouveau, Six-Fours-les-Plages



PHOTOPÉRIODE EN CAPTIVITÉ

→ Simuler les conditions naturelles

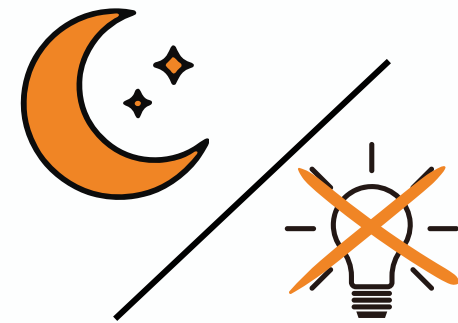
	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Octobre
Début du jour	6h45	6h50	6h10	05h55	06h10	06h40	07h15	07h50
Fin du jour	18h45	20h20	20h55	21h20	21h15	20h40	19h50	18h55



CONTEXTE**Comparaison à une espèce moins sensible***Euleptes europaea*

(©M. Dib)

Le Phyllodactyle
d'Europe



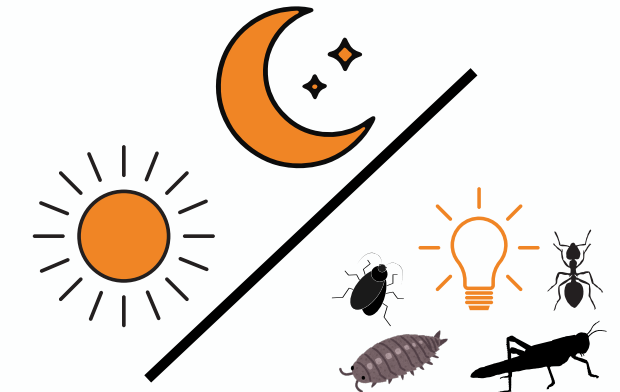
nocturne et
lucifuge

plus strictement

Delaugerre, 1984

Tarentola mauritanica

La Tarente de
Maurétanie



moins strictement nocturne
et tolérante à la lumière
artificielle

prédation autour de ALAN

Vaccum cleaner effect

Martin et al., 2018

PERSPECTIVES

Impacts physiologiques

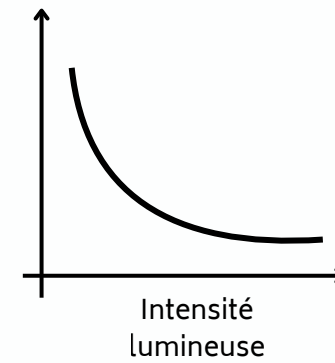


Rhinella marina

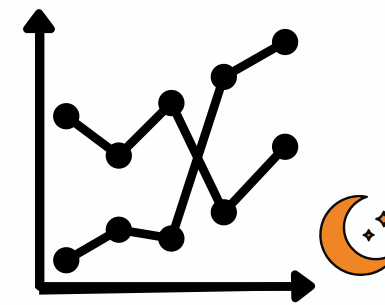


Le crapaud buffle

Activité



Déclin



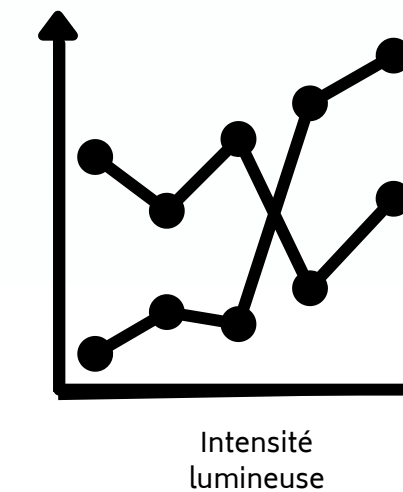
Décalage

Plethodon cinereus



La salamandre à dos noir

Régénération de la queue



→ Réponse non monotone

Augmentation
indicateurs physiologiques
de stress



du taux de cortisol salivaire



de la masse corporelle

Secondi et al. (2021)

Wise et al. (2022)

PERSPECTIVES

Impacts écologiques

eg. *Vaccum cleaner effect*



la lumière artificielle attire les proies

Eisenbeis et al. 2006



prédation autour de ALAN

chiroptères : Voigt et al., 2021 ; Mariton et al, 2022
geckos : Martín et al., 2018 ; Nordberg & Shaw, 2022



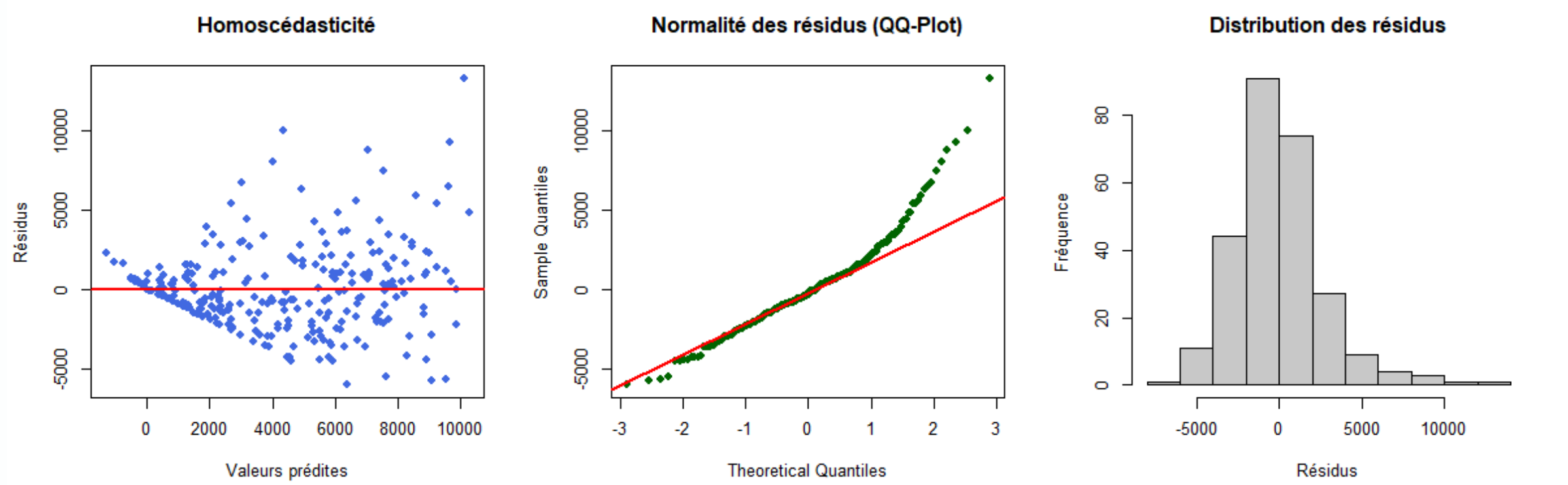
décalage spatio-temporel
voire déséquilibre
de la chaîne trophique

Eisenbeis et al. 2006 ; Parkinson et al., 2020

Q1

`lmer(Duree_tot_exposition ~ Traitement * Nuit + Duree_nuit
+ (1 | Replicat) + (1 | Individu))`

Diagnostic du modèle sans transformation



Diagnostic	Métrique statistique	Valeur	Interprétation
			Déviation significative de la normalité



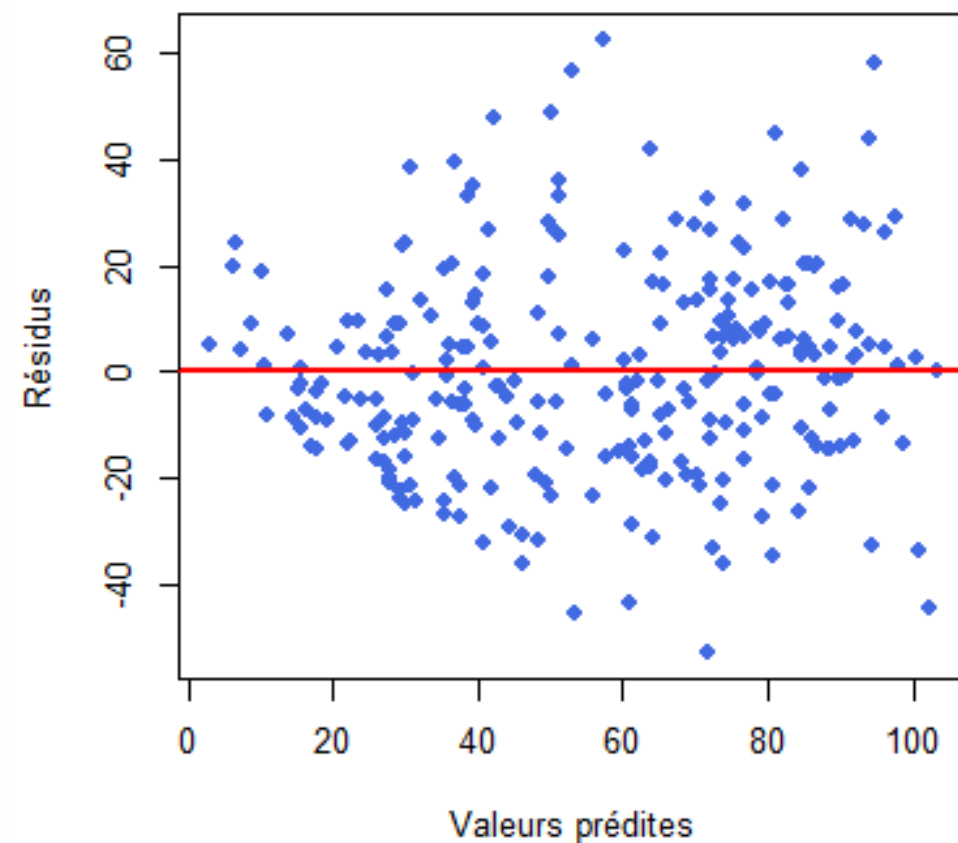
Q1

```
lmer(sqrt(Duree_tot_exposition) ~ Traitement * Nuit + Duree_nuit  
+ (1 | Replicat) + (1 | Individu) )
```

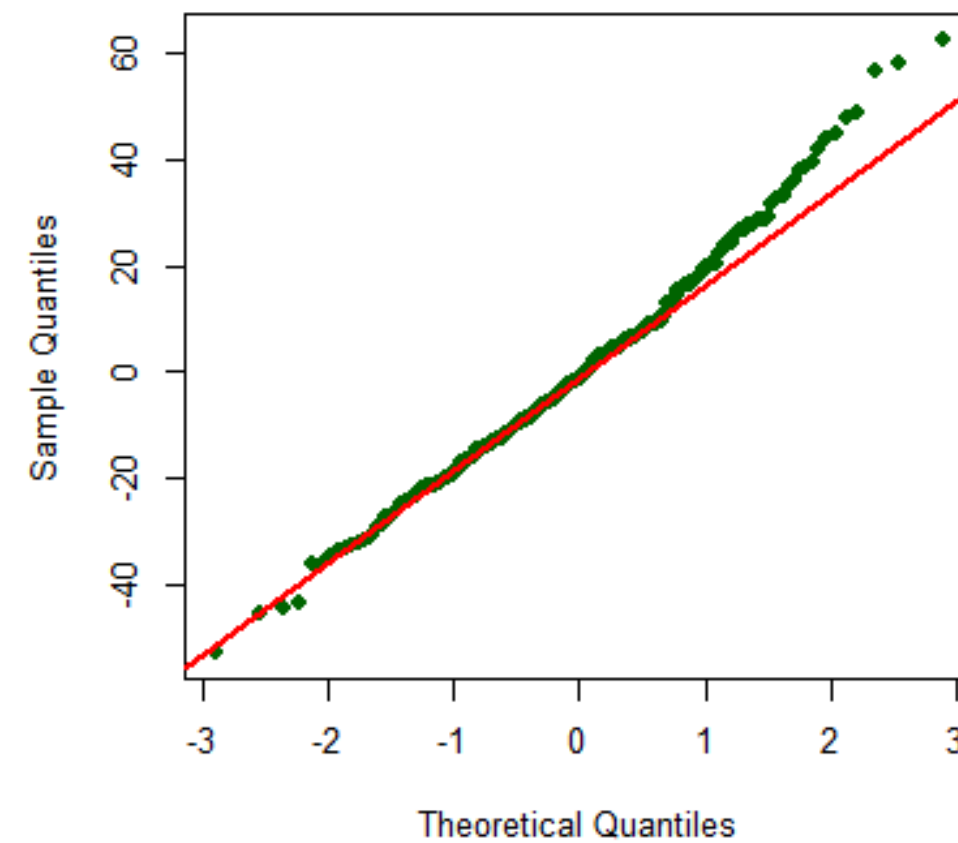
Diagnostic du modèle après transformation



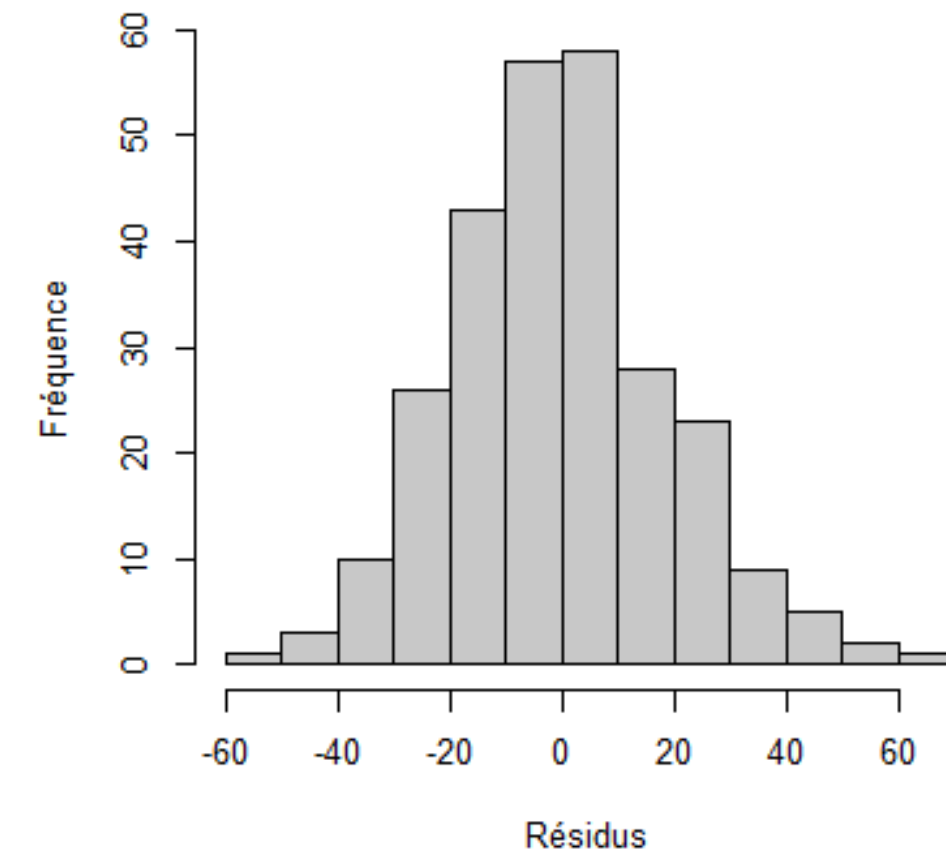
Homoscédasticité



Normalité des résidus (QQ-Plot)



Distribution des résidus



Q1

SUMMARY

lmer(sqrt(Duree_tot_exposition) ~
Traitement * Nuit + Duree_nuit
+ (1 | Replicat) + (1 | Individu))

Effets aléatoires

Groupe	Effet	Variance	Ecart-type
Individu	Intercept	141,32	11,888
Replicat	Intercept	45,85	6,772
Résiduel	-	444,1	21,074

Performances du modèle

Effets fixes seuls	R² Marginal	0,458	~45,8 % de la variance de l'activité est expliquée par les facteurs fixes (Traitement, Nuit, Durée de la nuit)
Effets fixes et aléatoires	R² Conditionnel	0,618	~61,8 % de la variance totale est expliquée par le modèle complet, en intégrant les variables aléatoires (Individu, Réplicat)

Effets fixes

Effet	Estimate	Std. Error	df	t value	p-value
(Intercept)	80,49	13,26	48,54	6,07	< 0,001
Traitement1	23,13	2,378	238,7	9,724	< 0,001
Traitement2	19,05	2,549	245,7	7,472	< 0,001
Traitement3	-13,830	2,361	238,7	-5,857	< 0,001
Nuit1	-7,923	1,866	220,3	-4,247	< 0,001
Nuit2	3,506	1,843	218,9	1,902	0,0585
Duree_nuit	-0,0007202	0,0003725	118,8	-1,934	0,0555
Traitement1 × Nuit1	1,478	3,257	222	0,454	0,6504
Traitement2 × Nuit1	1,036	3,307	218,6	0,313	0,7543
Traitement3 × Nuit1	0,3534	3,195	219,3	0,111	0,912
Traitement1 × Nuit2	0,4968	3,16	219,4	0,157	0,8752
Traitement2 × Nuit2	2,385	3,33	218,5	0,716	0,4746
Traitement3 × Nuit2	-0,3564	3148	219	-0,113	0,91

Q1

POSTHOC

EMMeans : (sqrt(activité)) ~ Traitement

EMMeans : (sqrt(activité)) ~ Nuit

Facteur	Comparaison	Test	Estimateur du contraste ($\sqrt{s}$)	p ajustée
Traitement	T0.5 vs T0	Dunnett	-4,08	0,61
	T20 vs T0	Dunnett	-36,96	< 0,0001
	T60 vs T0	Dunnett	-51,47	< 0,0001
	T20 vs T0.5	Bonferroni	32,88	< 0,0001
	T20 vs T60	Bonferroni	14,52	0,0005
Nuit	N1 vs N2	Tukey	-11,43	0,0014
	N1 vs N3	Tukey	-12,34	0,0005
	N2 vs N3	Tukey	-0,91	0,95

→ témoin positif validé

} effet du traitement à moyenne (20 lux) et forte (60 lux) intensités

→ zone de bascule : effet de l'ALAN entre 0,5 et 20 lux

→ effet - mais moins drastique

}

- N1 → N2 : activité > ***
- N2 → N3 : pas de # signif.

Q1

LMM 2

```
lmer(sqrt(Duree_tot_exposition) ~ Traitement + Nuit + Duree_nuit
+ (1 | Replicat) + (1 | Individu) )
```

Le choix a été fait de poursuivre les analyses selon ce modèle construit a priori conformément aux prédictions.

ANOVA III

Effet	χ^2	ddl	p-value
Traitement	261	3	< 0,001
Nuit	18,85	2	< 0,001
Durée de nuit	4,49	1	0,034

- facteurs principaux toujours fortement signif.
- effet durée de la nuit pris en charge par (1 | Replicat)

AIC

Modèle	AIC	χ^2 (ddl)	p-value
Avec interaction Traitement × Nuit	2442,8	3,58 (6)	0,734
Sans interaction	2434,4	—	—

Comparaison des modèles :
modèle alternatif légèrement
meilleures qualités prédictives

Q1

SEUIL

MODÈLE EXPLORATOIRE

Modèle logistique dose/réponse :
`drm(Duree_tot_exposition ~
Traitement_num)`

Seuil avéré : entre 0,5 et 20 lux,
potentiellement < 10 lux ?!

bien en-dessous des
20 lux prévus par la loi
actuellement

Schittko et al. (2026) ont démontré par une revue de la littérature que la relation entre l'intensité de l'éclairage et la réponse des individus suit souvent une **dynamique logarithmique dose-réponse**, avec des effets de l'ALAN plus drastiques à des intensités lumineuses faibles (<1 lux).

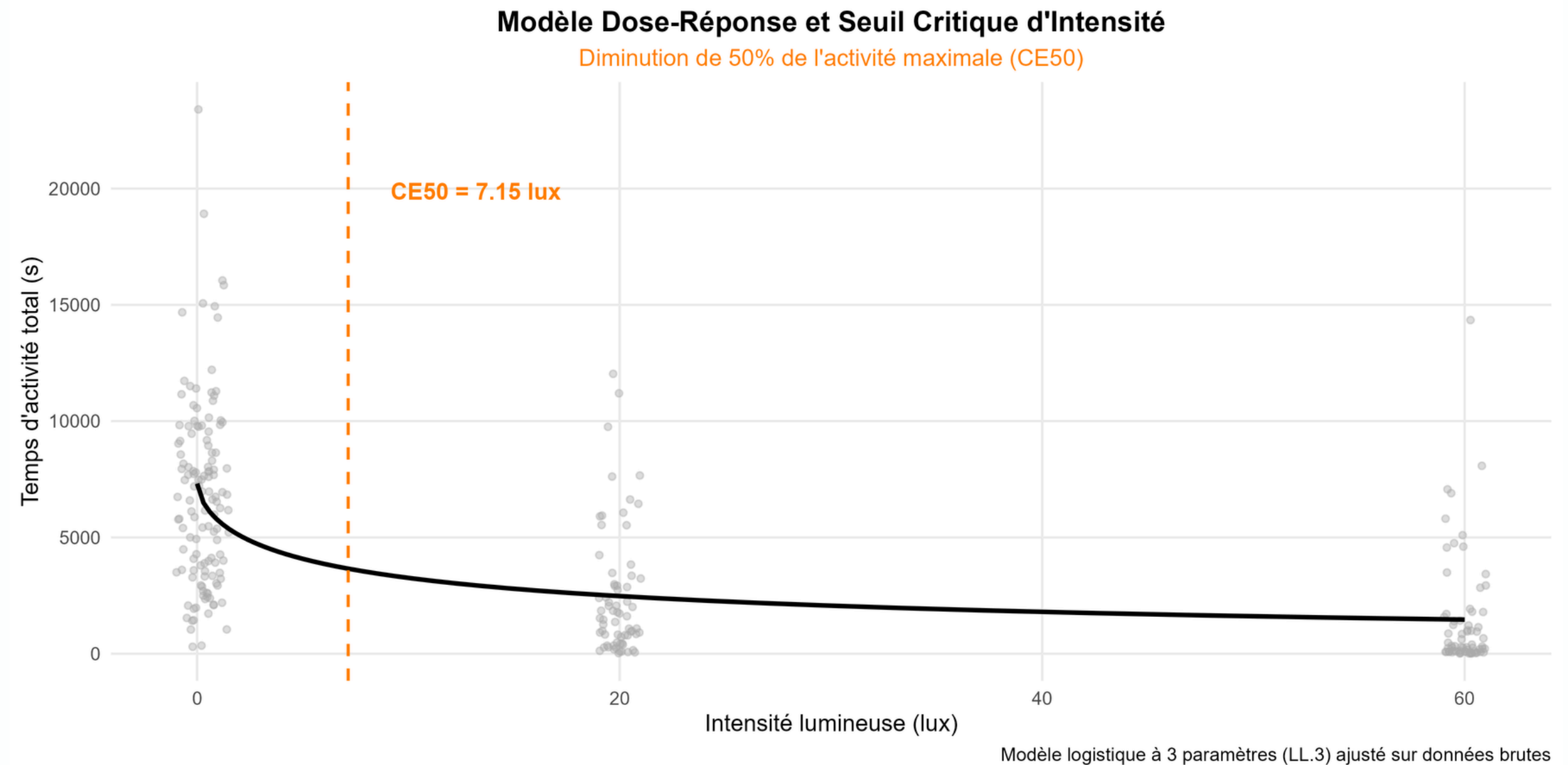


Fig. : Intensité lumineuse en fonction du temps total d'activité (en secondes)

Q2

SUMMARY

bglmer(Gite ~ Traitement *
Nuit + Duree_nuit_scaled +
(1 | Individu) + (1 | Replicat),
family = binomial(link =
"logit"), fixef.prior =
normal())

Effets aléatoires

Groupe	Variance	Écart-type
Individu	4,474	2,115
Replicat	0,482	0,694

Performances du modèle

Effets fixes	R² marginal de Nakagawa	0,34	≈ 34,0 % du pouvoir explicatif du modèle est attribuable aux effets fixes (Traitement, Nuit, Durée de la nuit).
Effets fixes et aléatoires	R² conditionnel de Nakagawa	0,737	≈ 73,7 % du pouvoir explicatif du modèle est associé à l'ensemble des effets fixes et aléatoires
Modèle complet	R² de Tjur	0,558	Le modèle présente un pouvoir explicatif de 55,8 % selon le pseudo-R² de Tjur.

Effets fixes

Effet	Estimate	Std. Error	z value	p-value
(Intercept)	2,3357	0,6796	3,437	< 0,001
Traitement1	-1,7976	0,4246	-4,234	< 0,001
Traitement2	-1,6544	0,4595	-3,600	< 0,001
Traitement3	1,129	0,5064	2,23	0,0258
Nuit1	0,1451	0,3915	0,371	0,7109
Nuit2	0,5278	0,5435	0,971	0,3315
Duree_nuit_scaled	0,2632	0,2964	0,888	0,3745
Traitement1 × Nuit1	0,344	0,5153	0,668	0,5043
Traitement2 × Nuit1	-0,5130	0,5261	-0,975	0,3296
Traitement3 × Nuit1	0,5223	0,645	0,81	0,4181
Traitement1 × Nuit2	-0,5537	0,6291	-0,880	0,3788
Traitement2 × Nuit2	-0,5410	0,6467	-0,837	0,4028
Traitement3 × Nuit2	-0,6429	0,7087	-0,907	0,3644

Q2

POSTHOC

EMMeans ~ Traitement

PROBABILITÉS

Proba de choisir "Repli" selon le traitement



- T0 : 64%
- T0.5 : 65 %
- T20 : 97%
- T60 : 99%

choix du gîte au hasard : test
binomial exact $p < 0,05$

effet traitement lumineux
sur la réponse en faveur du
repli

Comparaison	odds- ratio	z-ratio	p- value ajustée
T0 vs T0.5	0,87	-0,260	1
T0 vs T20	0,05	-4,459	< 0,0001
T0 vs T60	0,02	-3,557	0,0023
T0.5 vs T20	0,06	-3,938	0,0005
T0.5 vs T60	0,02	-3,365	0,0046
T20 vs T60	0,3	-0,991	1

témoin positif validé
choix du gîte au
hasard : test binomial
exact $p < 0,05$

effet traitement
lumineux sur la réponse
en faveur du repli
zone de bascule :
entre 0,5 et 20 lux

effet identique
malgré intensité >

Comparaisons deux-à-deux des probabilités ajustées de choix du gîte selon le traitement. Les odds ratios (OR) et z-ratios sont issus des contrastes sur l'échelle des log-odds ; les p-valeurs sont ajustées par la méthode de Bonferroni pour 6 comparaisons.

Q2

GLMM - FIRTH

`bglmer(Gite ~ Traitement *Nuit + Duree_nuit_scaled + (1 | Individu) + (1 | Replicat), family = binomial(link = "logit"), fixef.prior = normal() )`

Choix du prior

Modèle	Prior sur les effets fixes	Convergence	Traitement	Nuit	Traitement × Nuit	Conclusion
Modèle principal	<code>normal(sd = c(10, 2.5, ...))</code>	Oui	T1 : p < 0,001 ; T2 : p < 0,001 ; T3 : p = 0,026	N1 : p = 0,711 ; N2 : p = 0,331	Toutes p ≥ 0,329	Modèle retenu
Prior plus contraignant	<code>normal(sd = c(5, 1.5, ...))</code>	Oui	T1 : p < 0,001 ; T2 : p < 0,001 ; T3 : p = 0,016	N1 : p = 0,580 ; N2 : p = 0,315	Toutes p ≥ 0,272	Conclusions inchangées
Prior plus diffus	<code>normal(sd = c(20, 5, ...))</code>	Non	—	—	—	Non interprétable : défaut de convergence

- Le modèle avec prior plus contraignant produit des estimations proches du modèle principal et ne modifie pas les conclusions relatives au traitement, à la nuit ou à l'interaction Traitement × Nuit.
- Le prior plus diffus n'est pas interprétable en raison d'un défaut de convergence.

Q2

GLMM 2

bglmer(Gite ~ Traitement + Nuit + Duree_nuit_scaled + (1 | Individu) + (1 | Replicat),
family = binomial(link = "logit"), fixef.prior = normal())

Le choix a été fait de poursuivre les analyses selon ce modèle
construit a priori conformément aux prédictions.

ANOVA III

Effet	χ^2	ddl	p-value
Traitement	37,28	3	< 0,001
Nuit	2,26	2	0,323
Durée de nuit	0,61	1	0,435

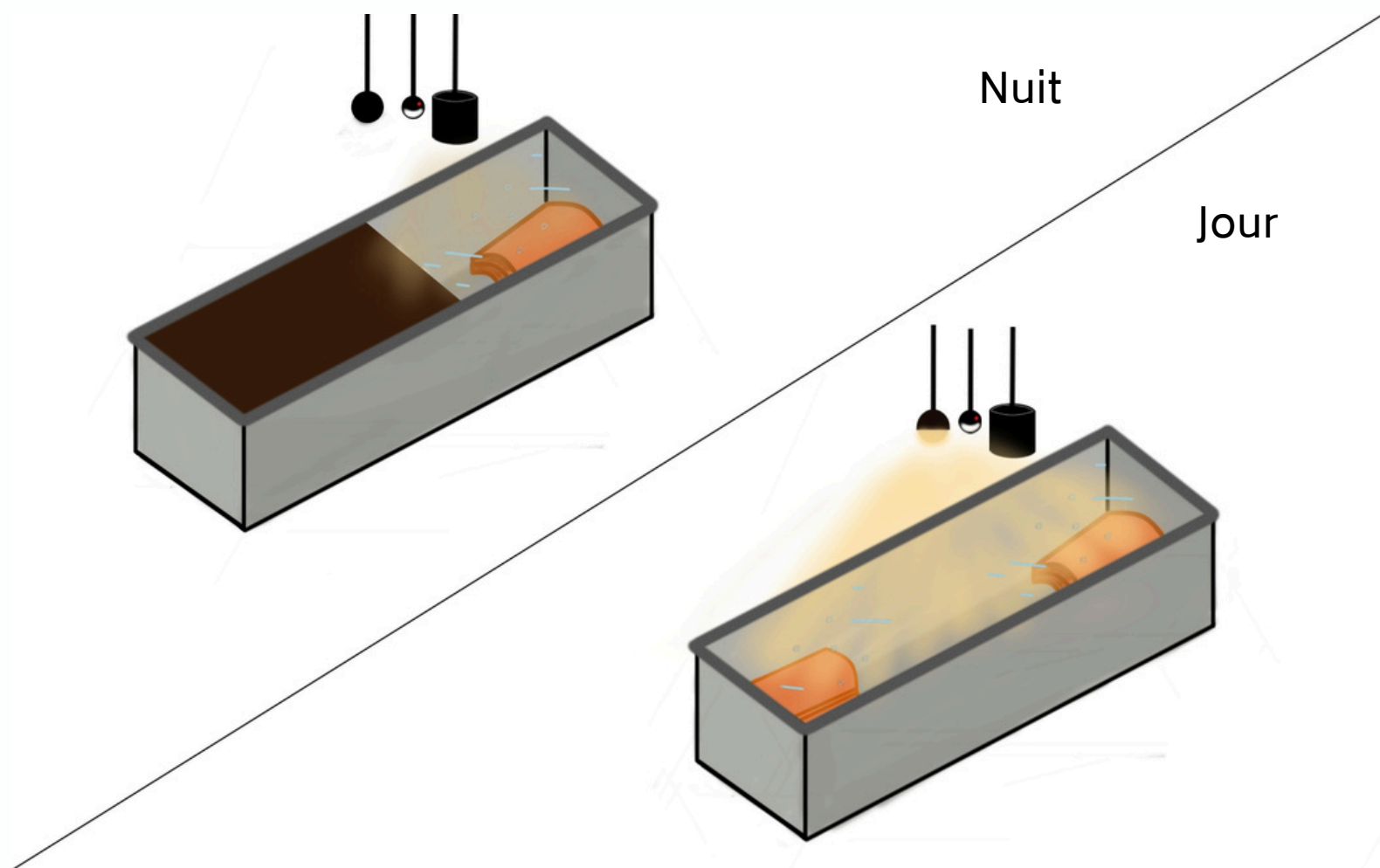
- facteurs principaux toujours fortement signif.
- effet durée de la nuit pris en charge par (1 | Replicat)

AIC

Modèle	AIC	χ^2 (ddl)	p-value
Avec interaction Traitement × Nuit	238,6	8,11 (6)	0,23
Sans interaction	234,71	—	—

Comparaison des modèles :
modèle alternatif légèrement
meilleures qualités prédictives

A



B

