

Projet Recherche Innovation 2024-2025

Le changement climatique et les tortues d'eau douce : impact des variations de température sur les comportements de thermorégulation - cas de la Cistude d'Europe.



O. Delzons

Sous la direction de Robin Furet

Béatrice Gouraud
Morgane Zanini

Le changement climatique et les tortues d'eau douce : impact des variations de température sur les comportements de thermorégulation - cas de la Cistude d'Europe.

Robin Furet

**Béatrice Gouraud
Morgane Zanini**

2025

AVERTISSEMENT

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt à des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnel, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement.

L'auteur (les auteurs) de cette recherche a (ont) signé une attestation sur l'honneur de non plagiat.

Formation par la recherche, Projet recherche innovation en génie de l'Aménagement et de l'Environnement

La formation au génie de l'aménagement et de l'environnement, assurée par le département aménagement et environnement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme, de l'aménagement des espaces fortement à faiblement anthropisés, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir-faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et de techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement et de l'environnement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet recherche innovation (PRI) situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Dynamiques et Actions Territoriales et Environnementales de l'UMR 7324 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants-chercheurs du département aménagement.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

- Développer toute ou partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

Afin de valoriser ce travail de recherche nous avons décidé de mettre en ligne sur la base du Système Universitaire de Documentation (SUDOC), les mémoires à partir de la mention bien.

REMERCIEMENTS

Nous remercions notre encadrant Robin Furet pour son accompagnement tout au long de ce projet. De plus, nous remercions l'ensemble des enseignants de l'école Polytech Tours pour leur accompagnement pédagogique durant notre cursus académique. Enfin, nous remercions nos familles pour leur soutien.

Sommaire

Table des tableaux	1
Table des figures	1
Introduction	3
1. Modèle d'étude : La Cistude d'Europe	4
1.1. Taxonomie	4
1.2. Description Morphologique	5
1.3. Biologie	6
1.4. Répartition géographique	7
1.6 Menaces	8
1.5. Statut de conservation et réglementation	9
2. Matériel et méthode	10
2.1. Récolte de données	10
2.1.1. Données sur la zone d'étude	11
2.1.2. Mesures morphologiques es Cistudes d'Europe	13
2.1.3. Mesures thermiques	14
2.2 Analyses statistiques - impact des variations de température sur les comportements	14
2.2.1. Distinction de périodes de températures	14
2.2.2. Vérification des conditions d'application	15
2.2.3. Analyse des températures par période	15
2.2.4. Corrélation entre les données thermiques	15
2.2.5. Distinction des périodes d'ensoleillement	16
2.2.6. Relation entre l'ensoleillement et le comportement des Cistudes	16
3. Résultats et discussion	16
3.1. Morphologie	16
3.2. Distinction des périodes de températures	17
3.3 Conditions d'application	18
3.4. Température par période	19
3.5. Corrélation entre les températures des Cistudes et celles des environnements	23
3.6 Relation entre l'ensoleillement et le comportement des Cistudes	25
3.6.1. Distinction des périodes d'ensoleillement	25
3.6.2. Corrélation entre la radiation solaire et la température des Cistudes	26
3.6.3. Détermination de l'environnement le plus probable	27
5. Discussion et limites	31
4. Conclusion	32
Références	33

Table des tableaux

Tableau 1. Tableau récapitulatif des ID et des objets d'étude associés	13
Tableau 2. Données morphologiques de 5 Cistudes d'Europe	16
Tableau 3. Résultats de l'ANOVA des températures des Cistudes par période	19
Tableau 4. Résultats de l'ANOVA des températures des environnements par période	20
Tableau 5. Résultats du test post-hoc de Tuckey des températures des environnements pour la période totale	20
Tableau 6. : Résultats du test post-hoc de Tuckey des températures des environnements pour la période "Summer"	21
Tableau 7. Résultats du test post-hoc de Tuckey des températures des environnements pour la période "Autumn"	21
Tableau 8. Résultats du test de corrélation de Spearman entre les données de température des Cistudes et les données de radiation solaire	26

Table des figures

Figure 1. Classification de la Cistude d'Europe (Repris de DORIS)	4
Figure 2. Ecailles de la carapace de la Cistude d'Europe (dossier : à gauche, et plastron à droite), Hernandez-Divers et al., 2009	5
Figure 3. Photographie d'une Cistude d'Europe, O.Delzons (INPN)	5
Figure 4. Cycle de vie simplifié d'Emys orbicularis (en bleu : vie aquatique, en marron : vie terrestre)	6
Figure 5. Température de différenciation sexuelle chez la Cistude d'Europe , Dournon et al., 1990	7
Figure 6. Répartition de la Cistude d'Europe dans le monde, Priol, 2009 (d'après Olivier, 2002; issue de Beau, 2019)	7
Figure 7. Répartition de la Cistude d'Europe en France, INPN	8
Figure 8. Localisation de l'étang des Hautes-Rondières (Source des données : BD TOPO 2024)	10
Figure 9. Photographies de pièges verveux dans l'étang des Hautes-Rondières, R.Furet	10
Figure 10. Localisation des habitats caractéristiques de la zone d'étude (étang de la Hautes-Rondières)	11
Figure 11. Localisation des ibuttons placés dans 4 micro-environnements de l'étang des Hautes-Rondières (Photos : R, Furet)	12
Figure 12. Carte d'exposition de l'étang des Hautes-Rondières, Arcgis pro	12
Figure 13. Photographie de la mesure morphologique d'une Cistude d'Europe au sein de l'étang des Hautes-Rondières dans le cadre d'une méthode CMR	13
Figure 14. Photographies de la pose de iButton sur la carapace d'une Cistude d'Europe au sein de l'étang des Hautes-Rondières dans le cadre d'une méthode CMR	14
Figure 15. Graphiques des moyennes mensuelles de températures pour chacun des 4 environnements	17
Figure 16. Graphiques des moyennes mensuelles de températures pour chacune des 4 Cistudes	18
Figure 17. Graphique du QQ-plot et histogramme des données transformées des températures des différentes Cistudes d'Europe	19
Figure 18. Graphique du QQ-plot et histogramme des données transformées des températures des différents environnements	19
Figure 19. Boxplot des différences de température entre les milieux pour les 3 périodes considérées (totale, summer et autumn)	22
Figure 20. Matrice de corrélation entre les données de températures mesurées sur les Cistudes et les environnements au cours de la période summer	23
Figure 21. Matrice de corrélation entre les données de températures mesurées sur les Cistudes et les environnements au cours de la période autumn	24
Figure 22. Courbes de la radiation solaire moyenne par heure et par mois	25
Figure 23. Histogramme de la radiation solaire moyenne selon la période de la journée (Matin, Midi, Soirée et Nuit)	26

Figure 24. Représentation de la corrélation entre les données de température des Cistudes et les données de radiation solaire	27
Figure 25. Boxplot des températures des Cistudes et des environnements pour la période "Midi" - période totale	27
Figure 26. Boxplot des différences de températures entre le milieu "Bois 2" et les 4 Cistudes étudiées au cours de la période "Midi" - période d'étude totale	28
Figure 27. Boxplot des différences de températures entre le milieu "Bois 2" et les 4 Cistudes étudiées au cours de la période "Midi" - périodes d'étude "Summer" et "Autumn"	28
Figure 28. Représentation graphiques des résultats du test post-hoc de Tuckey - période d'étude totale	29
Figure 29. Représentation graphiques des résultats du test post-hoc de Tuckey - périodes d'étude "Summer" et "Autumn"	30

Introduction

L'intensité et la rapidité du changement climatique soulèvent des interrogations sur les capacités d'adaptation de nombreuses espèces. En effet, les changements actuels se produisent à un rythme bien plus rapide que ceux observés avant l'ère industrielle. Par le passé, les variations climatiques les plus rapides impliquaient une hausse de quelques degrés en 5 000 à 10 000 ans (Berger, 2006). En comparaison, le dernier rapport du GIEC révèle que les activités humaines ont entraîné une augmentation des températures de 0,8°C à 1,3°C entre 1850-1900 et 2010-2019 (Calvin, K., et al., 2023), soit un rythme 50 à 100 fois plus rapide que celui des variations climatiques historiques (Berger, 2006). Face à cela, certaines espèces pourraient ne pas être en mesure de s'adapter suffisamment rapidement, ce qui provoquerait une perte massive de biodiversité (Refsnider, 2015).

Parmi les espèces susceptibles d'être profondément impactées, les espèces dites ectothermes en sont une part importante. En effet, celles-ci ne produisent pas de chaleur interne et dépendent, en conséquence, de la température de l'environnement dans lequel elles se trouvent. Les Chéloniens, ou plus communément tortues, font partie des animaux ectothermes et poïkilothermes. Cela se caractérise par une variation de leur température interne selon celle du milieu extérieur. Ces caractéristiques font de ces individus des espèces énormément dépendantes du climat dans lequel elles évoluent. Plusieurs recherches actuelles ont d'ailleurs permis d'identifier les espèces qui sont actuellement menacées.

L'étude des effets potentiels du changement climatique sur les chéloniens repose sur une approche écophysiologique, qui consiste à examiner le fonctionnement des individus dans leur environnement en tenant compte des contraintes imposées par celui-ci. Cette approche analyse leur capacité d'adaptation et de survie face à ces contraintes et à leur évolution (Universalis, s.d.-b). Actuellement, la majorité des recherches sur les impacts du changement climatique sur les chéloniens se concentre sur les tortues marines, qui ne représentent pourtant que 2 % des espèces de cet ordre de vertébrés. En effet, 52,1 % des articles publiés entre 1991 et 2017 leur étaient dédiés (Butler, 2019). C'est pourquoi, après avoir réalisé un état de l'art des recherches et études existantes sur les tortues d'eau douce, nous nous concentrons dans ce rapport sur les effets du changement climatique sur leurs comportements. Les données issues de nos recherches, bien qu'insuffisantes pour permettre des conclusions définitives, suggèrent que le changement climatique pourrait impacter de nombreux paramètres physiologiques et comportementaux chez les tortues d'eau douce.

Premièrement, le réchauffement des températures influence directement la détermination du sexe des tortues. Un déséquilibre dans le ratio des sexes, en faveur des femelles par exemple, pourrait survenir. Cela aurait pour impact de déstabiliser les populations et de renforcer le risque de déclin de certaines espèces. De plus, l'augmentation des températures peut avoir des conséquences directes sur le développement embryonnaire, allant d'un développement accéléré à une mortalité élevée des embryons. Ensuite, les changements dans les cycles de précipitation liés au réchauffement climatique pourraient affecter le développement des juvéniles. Une baisse des précipitations entraînerait une diminution de la végétation aquatique, élément essentiel à la survie de certaines espèces de tortues. En réponse à ces perturbations, et dans un objectif d'adaptation, certains individus pourraient accélérer leur métabolisme mais ces ajustements seraient probablement insuffisants pour assurer leur survie. Enfin, les migrations saisonnières pourraient être perturbées. Cela modifierait les périodes d'hibernation et de nidification, et, par conséquent, impacterait l'ensemble du cycle de vie de ces espèces.

Dans ce rapport, nous nous concentrons sur les impacts du changement climatique sur une espèce de tortue d’eau douce présente en France, la Cistude d’Europe. L’objectif est de comprendre dans quelles mesures les températures influencent les comportements de thermorégulation de la Cistude d’Europe. Nous cherchons plus précisément à étudier les effets de la température sur les comportements de migration de la Cistude d’Europe. Pour répondre à cet objectif, nous commençons par une présentation détaillée de la Cistude d’Europe. Ensuite, nous décrivons les différentes étapes mises en œuvre pour la collecte et l’analyse des données. La troisième partie sera consacrée à la présentation des résultats obtenus et à leur discussion, permettant d’interpréter les données et de répondre aux objectifs de l’étude. Enfin, nous concluons en résumant les points essentiels et en proposant des perspectives pour de futures recherches ou actions.

1. Modèle d’étude : La Cistude d’Europe

1.1. Taxonomie

Classification	
Embranchement :	Chordata => tube nerveux dorsal, chorde dorsale, tube digestif ventral
Sous-embranchement :	Vertebrata => colonne vertébrale
Classe :	Reptilia => vertébrés tétrapodes "rampants" à la peau sèche et écailleuse
Ordre :	Testudines => carapace dorsale, carapace ventrale (plastron), bec corné
Sous-ordre :	Cryptodira => cou rétractile dans le corps, sous la carapace, vertèbres alors en S
Famille :	Emydidae => tortues d’eau douce, de petite taille
Genre :	Emys
Espèce :	orbicularis
Sous-espèces* :	• orbicularis • hellenica (introduite) • galloitalica • occidentalis

*Sous-espèces présentes en France (INPN, 2025)

Figure 1. Classification de la Cistude d’Europe (Repris de DORIS)

La cistude d’Europe (*Emys orbicularis*) est un reptile de la famille des Emydidae (Figure 1). Le terme “orbicularis” fait référence aux petites taches rondes jaunes présentes sur la peau et la carapace de cette espèce (Biot, 2017). A ce jour, on distingue 13 sous-espèces, organisées en 6 sous-groupes de sous-espèces sur l’ensemble de l’aire de répartition d’*Emys orbicularis*. En France, grâce à des analyses génétiques, on distingue trois formes de l’espèce, issues de deux lignées différentes :

- deux issues de la lignée *galloitalica* originaire d’Italie, présentes dans le Var sous la forme *Emys orbicularis (galloitalica) galloitalica* et sous la forme *Emys orbicularis (galloitalica) lanzai* en Corse,
- une issue de la lignée originaire de la Plaine du Danube, sous la forme *Emys orbicularis orbicularis*, présente dans le reste du territoire (Thienpont, 2011).

Cependant, d’après l’INPN, il y aurait 4 sous-espèces observées en France (figure).

1.2. Description Morphologique

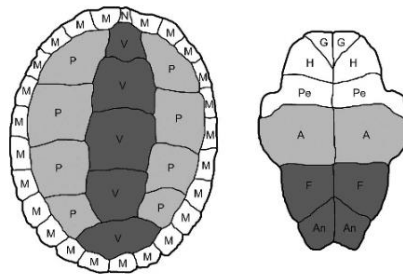


Figure 2. Ecaïlles de la carapace de la Cistude d'Europe (dossière : à gauche, et plastron à droite), Hernandez-Divers et al., 2009



Figure 3. Photographie d'une Cistude d'Europe, O.Delzons (INPN)

La cistude d'Europe est de taille moyenne, les adultes mesurant 10-20 cm et pesant de 400-800 g (Bensettiti et al., 2004). *Emys orbicularis* est de couleur brune à vert olive, parsemée de taches jaunâtres (Figure 2). La carapace est composée de 38 écailles au niveau de la dossière et 12 écailles au niveau du plastron (Figure 3) (Biot, 2017).

Le plastron est souvent jaunâtre avec des taches plus sombres. La cistude d'Europe présente également des pattes palmées, dotées de griffes puissantes (Didierlaurent, Didierlaurent & Corolla, 2024).

Un dimorphisme sexuel est observé : les femelles ont généralement une carapace plus large et un plastron plat, tandis que les mâles possèdent un plastron légèrement concave et une queue plus longue et épaisse avec le cloaque situé plus en arrière (Mosimann, 2008).

1.3. Biologie

1.3.1. Cycle de vie et périodes d'activité

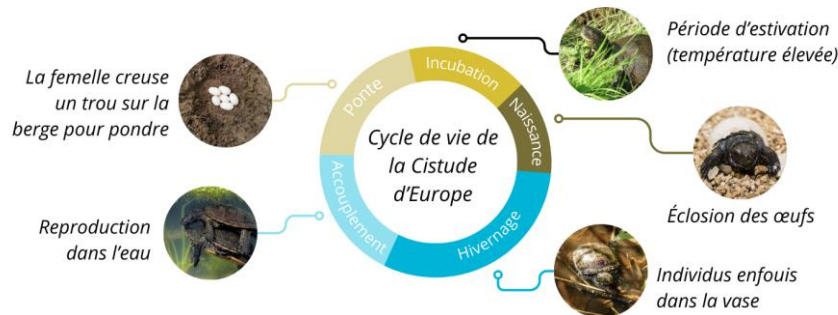


Figure 4. Cycle de vie simplifié d'*Emys orbicularis* (en bleu : vie aquatique, en marron : vie terrestre)

Le cycle de vie de la Cistude correspond à une alternance de périodes d'activités au printemps-été et d'une période de ralentissement et d'hivernation en automne-hiver (Biot, 2017). On observe également une phase aquatique (Mi-octobre à mars) et une plus phase terrestre (avril à mi-octobre) (Figure 4). Lors de la période estivale, deux pics d'activité sont observés dans la journée : le matin et en soirée, soit aux heures les plus fraîches de la journée, durant lesquels les individus se nourrissent et se déplacent pour trouver des sites d'insolation. La nuit, les Cistudes ne sont pas actives, une étude de Lebboroni et Chelazzi (1991) a montré que la position des individus ne change que très rarement entre la soirée et le matin suivant.

Lors de la période froide, les individus hivernent en s'enfouissant dans la vase. Leur température corporelle, leur rythme respiratoire et cardiaques sont bas, l'alimentation est coupée et les déplacements sont restreints (Biot, 2017).

1.3.2. Régime alimentaire

La Cistude d'Europe est carnivore sauf exceptionnellement où elle consomme des plantes aquatiques. Elle se nourrit d'insectes, de crustacés et de leurs larves, de mollusques, parfois de poissons ou de têtards, au sein de la végétation aquatique (végétation à myriophylles et nénuphar et dans la roselière) (Bensettiti et al., 2004). A terre, elle se nourrit d'insectes, d'escargots et de limaces. Occasionnellement, la Cistude mange des petits rongeurs et des oisillons qu'elle noie (Didierlaurent, Didierlaurent & Corolla, 2024).

1.3.3. Reproduction et croissance

La reproduction se déroule dans l'eau entre mi-mars et mi-juin. Les pontes se font au début de l'été, la femelle parcourt une grande distance afin de trouver un site favorable. Elle creuse un trou dans la terre et y dépose en moyenne 3 à 19 œufs (Mosimann, 2008).

Le sexe des nouveau-nés est déterminé, en partie, par la génétique : les femelles sont hétérogamétiques (ZW) et les mâles homogamétiques (ZZ) (Biot, 2017). Cependant, les températures d'incubation des œufs jouent aussi un rôle dans la détermination du sexe des nouveau-nés. Ainsi, une température inférieure à 28°C donnera des mâles et une température supérieure à 29,5°C donnera des femelles (Dournon et al., 1990) (Figure 5).

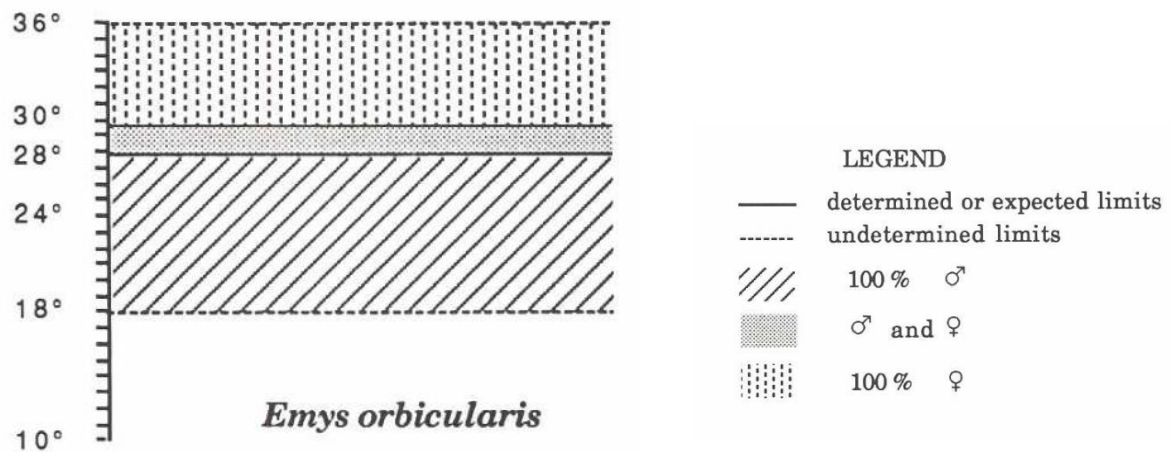


Figure 5. Température de différenciation sexuelle chez la Cistude d'Europe, Dournon et al., 1990

La croissance des cistudes est relativement lente, de l'ordre d'un centimètre par année. L'espérance de vie des individus est plutôt longue, elle est estimée entre 60 et 100 ans (Didierlaurent, Didierlaurent & Corolla, 2024).

1.4. Répartition géographique

La cistude d'Europe se trouve largement sur le continent européen, principalement présente dans les zones humides proches de la méditerranée. Les zones les plus densément peuplées se trouvent en Europe de l'Est et du Sud, en particulier en Espagne, en Italie et dans les Balkans (Figure 6) (Beau, 2019). Toutefois, les populations sont en régression dans plusieurs régions, notamment en Europe centrale.



Figure 6. Répartition de la Cistude d'Europe dans le monde, Priol, 2009 (d'après Olivier, 2002; issue de Beau, 2019)

En France, elle est principalement présente dans le Centre, l'Ouest, la Camargue et la Corse (Figure 7) (Biot, 2017). La région Centre-Val-de-Loire constitue une zone clé pour la conservation de la cistude en France. En effet, au sein de la Brenne, aussi appelé "le pays des mille étangs", on y trouve une des principales populations de cistude de France. Cette zone offre une mosaïque d'habitats idéale grâce à l'abondance de zones en eau, de berges végétalisées. Néanmoins, les populations françaises restent fragiles. Leur survie est fortement dépendante des efforts de gestion et de conservation menée par différents organismes.

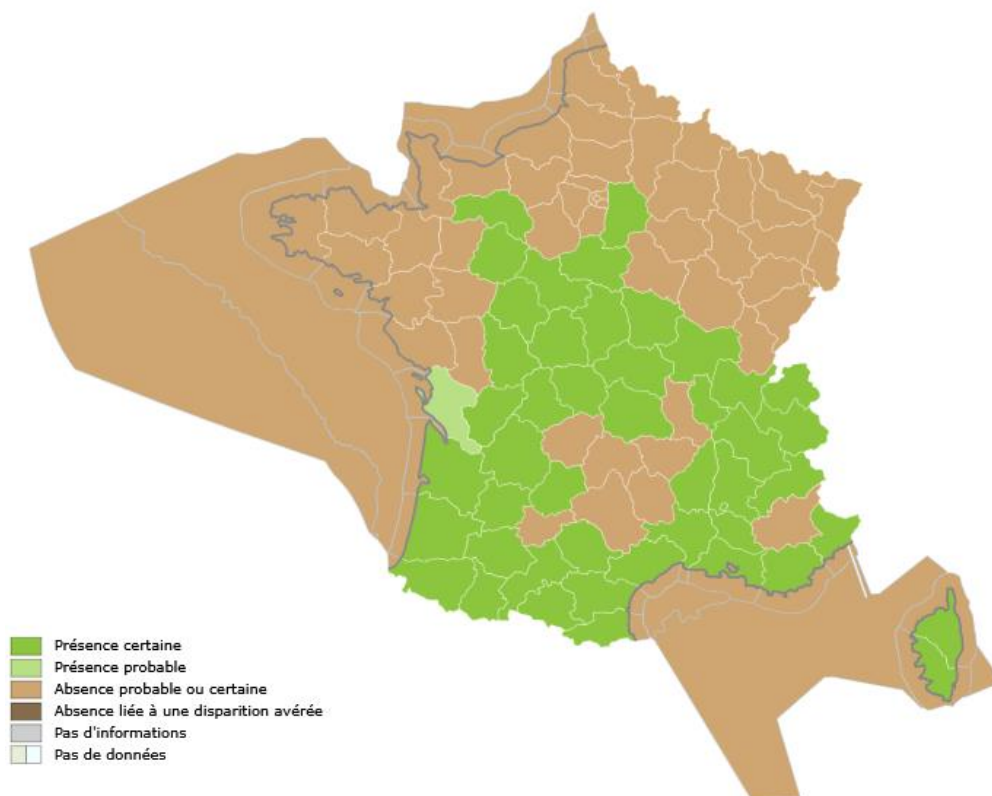


Figure 7. Répartition de la Cistude d'Europe en France, INPN

1.6 Menaces

La Cistude d'Europe fait face à de nombreuses menaces, comme la destruction, la fragmentation et la dégradation de sa mosaïque d'habitat, ainsi que l'introduction d'espèces exotiques dans le milieu naturel ou encore les incendies, les prélèvements d'individus ou le changement climatique.

1.4.1. La destruction et la fragmentation de son habitat

La Cistude d'Europe est menacée par la destruction, la dégradation et la fragmentation de son habitat. En effet, le nombre de zones humides diminue et la qualité de l'eau est dégradée par divers polluants notamment issus des pratiques agricoles et piscicoles. De plus, les sites de pontes sont également dégradés avec une perte d'ensoleillement dus à l'enfrichement (Biot, 2017).

1.4.2. La compétition avec *Trachemys scripta*

La tortue de Floride (*Trachemys scripta*) est une espèce nord-américaine introduite en France. L'espèce se reproduit en milieu naturel et occupe des milieux similaires à ceux de la Cistude d'Europe. Les risques de l'introduction d'espèces exotiques sont les apports de pathogènes ((maladies, des parasites) et les risques de compétition. Cependant, la compétition entre *Trachemys scripta* et *Emys orbicularis* ne fait pas l'objet d'un consensus car cela n'est pas clairement démontré en milieu naturel (Société Herpétologique de France [SHF] & Ministère de la Transition écologique [MTE], 2020).

1.4.3. Le changement climatique

Comme vu précédemment, la Cistude d'Europe est ectotherme, elle ne produit pas sa propre chaleur et est donc dépendante de l'environnement. Cette espèce est ainsi particulièrement sensible aux grands changements de température, notamment ceux induits par le changement climatique. Cela peut provoquer des phénomènes d'estivation, pendant laquelle la tortue rentre en léthargie, impacter la durée d'hivernation, la différenciation sexuelle ou encore provoquer des mouvements migratoires.

D'après le Plan National d'actions, "l'impact du changement climatique reste entièrement à étudier chez la Cistude " (SHF & MTE, 2020).

1.5. Statut de conservation et réglementation

1.5.1 A l'échelle mondiale et européenne

La Cistude d'Europe est sur la liste rouge mondiale des espèces menacées de l'Union Internationale pour la Nature (UICN) dans la catégorie "Quasi-menacée", soit "menacée si des mesures de conservation spécifiques ne sont pas prises"(Biot, 2017).

Cette espèce est inscrite à l'annexe II (espèce de faune strictement protégée) de la Convention de « la vie sauvage et du milieu naturel » de l'Europe (Berne 1979) ainsi qu'à l'annexe II (espèce d'intérêt communautaire dont la conservation nécessite la désignation de zones spéciales de conservation) et IV (espèce d'intérêt communautaire qui nécessite une protection stricte) de la Directive européenne 92/43/CEE, « Habitats-Faune et Flore » de 1992" (SHF & MTE, 2020) .

1.5.2. A l'échelle nationale

En France, la Cistude est également classée "Quasi-menacée" selon l'UICN. Elle fait aussi l'objet d'un Plan National d'actions en 2011, puis d'une deuxième en 2020 qui dure jusqu'en 2029 (Thienpont, 2011 ; SHF & MTE, 2020). Ce plan a été détaillé à l'échelle de la région Centre-Val-de-Loire en un plan régional d'action (Owen-Jones, 2011). L'espèce fait partie du programme "sentinelles du climat" en Nouvelle-Aquitaine.

D'ailleurs, la Cistude est protégée, en France, par l'arrêté du 24 avril 1979. De plus, elle est inscrite dans l'article 2 de l'arrêté du 19 novembre 2007 qui interdit sur l'ensemble du territoire métropolitain et en tout temps, "la destruction ou l'enlèvement des œufs ou des nids, la destruction, la mutilation, la capture ou l'enlèvement, la perturbation intentionnelle des animaux dans leur milieu naturel, ainsi que sur l'aire de répartition de l'espèce, la destruction, l'altération ou la dégradation des sites de reproduction" (SHF & MTE, 2020).

2. Matériel et méthode

Le travail de terrain, ainsi que son protocole associé, ont été réalisés par notre encadrant, Robin Furet. La récolte de données a été effectuée au niveau de l'étang des Hautes-Rondières, au sein de la Réserve Naturelle Nationale (RNN) de Chérinne. La finalité de ce travail est d'étudier les comportements thermorégulateurs des Cistudes lors de fortes variations saisonnières.



Figure 8. Localisation de l'étang des Hautes-Rondières (Source des données : BD TOPO 2024)

2.1. Récolte de données



Figure 9. Photographies de pièges verveux dans l'étang des Hautes-Rondières, R.Furet

La méthode employée pour la récolte de données sur les Cistudes repose sur la technique de capture-marquage-recapture (CMR). Cette dernière s'est déroulée sur une période d'une semaine, au cours de laquelle 16 pièges verveux ont été déposés. L'objectif était de capturer aléatoirement 30 individus avec un sex-ratio qui soit le plus équilibré possible (sex-ratio : 0,5).

2.1.1. Données sur la zone d'étude

Concernant la zone d'étude, l'étang des Hautes-Rondières, elle se distingue par une mosaïque d'habitats variés allant des milieux aquatiques, tels que les eaux dormantes de surface et les prairies humides, aux zones boisées, comme les forêts de feuillus. (Figure 10).

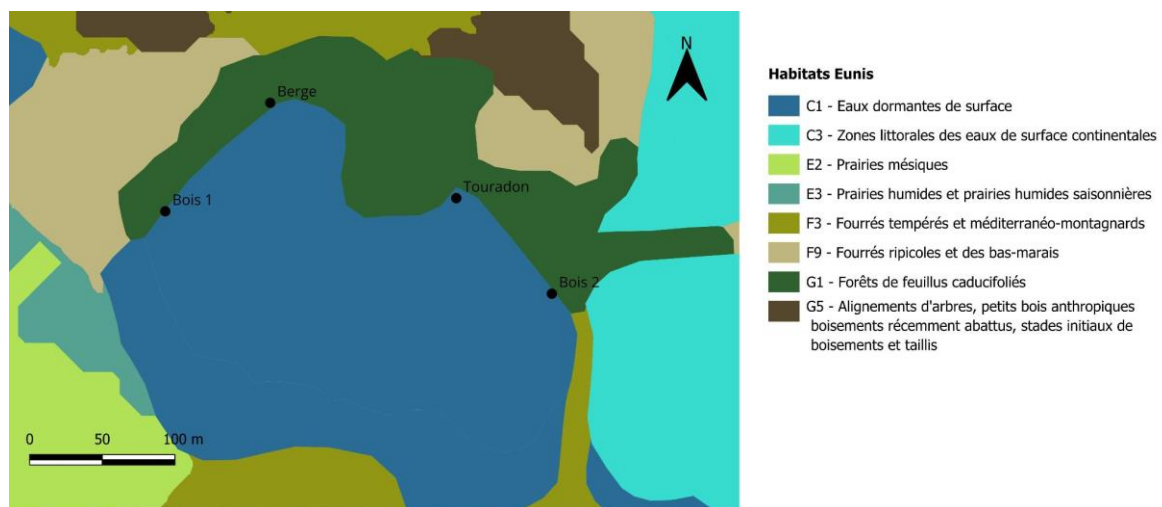


Figure 10. Localisation des habitats caractéristiques de la zone d'étude (étang de la Hautes-Rondières)

Pour cette étude, les données environnementales ont été récoltées au sein des principaux micro-habitats fréquentés par les Cistudes que sont les touradons, les berges et les bois. Des iButton ont été déposés à différents endroits autour de l'étang des Hautes-Rondières correspondant aux 4 milieux précédemment cités (Figure 11).



Figure 11. Localisation des ibuttons placés dans 4 micro-environnements de l'étang des Hautes-Rondières (Photos : R, Furet)



Figure 12. Carte d'exposition de l'étang des Hautes-Rondières, Arcgis pro

Chaque habitat possède une exposition spécifique qui lui est propre (Figure 12). La prise en compte de cette exposition est essentielle dans cette étude, car elle influence directement la perception des températures environnementales. Dans notre cas, tous les environnements ont une exposition Nord. Plus précisément, le Bois 2 est exposé Nord-Est, le Touradon est exposé Nord et la Berge et le Bois 1 sont exposés Nord-Ouest.

Des données supplémentaires sont ensuite utilisées pour la poursuite de l'étude. Les données sur la température de l'eau de l'étang des Haute-Rondières pour l'année 2023, ainsi que celle de la station météorologique de Chérine à Saint-Michel en Brenne (46°47'25.1"N 1°12'01.3"E) pour l'année 2024, nous sont fournies. Les données sur l'eau datant de l'année précédant l'étude, aucun test statistique n'est réalisé. Elles nous permettent cependant d'avoir un aperçu de la température moyenne de l'étang sur les périodes d'étude. Les données de la station météorologique proviennent quant à elles de l'année 2024, soit l'année de l'étude. Elles peuvent donc être utilisées pour les tests statistiques.

En raison de variables externes, seules 5 Cistudes ont pu être capturées lors de la dernière phase. Ainsi, les mesures morphologiques détaillées à la suite ne concernent que les 5 Cistudes capturées. Également, un des capteurs (Cistude 5 - DC) a été trouvé sans l'individu, un mois après le début de l'expérience, les tests statistiques prochainement décrits ne sont effectués que sur les 4 autres individus (1A, 30, E3 et E5). A chaque Cistude et chaque environnement étudié est attribué un code correspondant au code du capteur qui lui est associé (Tableau 1).

Tableau 1. Tableau récapitulatif des ID et des objets d'étude associés

ID Ibuttons	Objet d'étude
32	Touradon
8F	Berge
D2	Bois 1
14	Bois 2
1A	Cistude 1
30	Cistude 2
E3	Cistude 3
E5	Cistude 4
DC	Cistude 5

2.1.2. Mesures morphologiques es Cistudes d'Europe



Figure 13. Photographie de la mesure morphologique d'une Cistude d'Europe au sein de l'étang des Hontes Rondières dans le cadre d'une méthode CMR

Une fois capturée, chaque Cistude a fait l'objet de mesures morphologiques et d'une identification spécifique afin d'assurer leur suivi tout au long de l'étude. Des premières mesures ont été réalisées au niveau de la dossière dont sa longueur, qui correspond à la distance entre l'avant et l'arrière, et sa largeur, qui correspond quant à elle à la distance maximale entre les côtés droit et gauche. Ensuite, des mesures du plastron ont été réalisées dont sa longueur, mesurée sur la face ventrale, de l'avant à l'arrière. Également, la largeur avant et la largeur arrière du plastron ont été mesurées et correspondent aux distances entre les points les plus larges des parties antérieures (avant) et postérieures (arrière). Toutes les mesures précédemment citées ont été prises en millimètres (m)

étant donné la morphologie moyenne des individus. Enfin, la masse de chaque individu a été mesurée en grammes (g).

2.1.3. Mesures thermiques

En ce qui concerne les données thermiques, un iButton, soit un capteur de température, a été fixé sur une écaille dorsale de chacune des cistudes à l'aide d'une colle époxy. Ceux-ci ont permis d'enregistrer la température au niveau des carapaces des Cistudes toutes les 1h30. Parallèlement, des capteurs de température ont été placés dans les quatre milieux précédemment définis afin de recueillir des données sur les conditions environnementales. Ceux-ci ont également permis d'enregistrer la température des différents milieux toutes les 1h30.

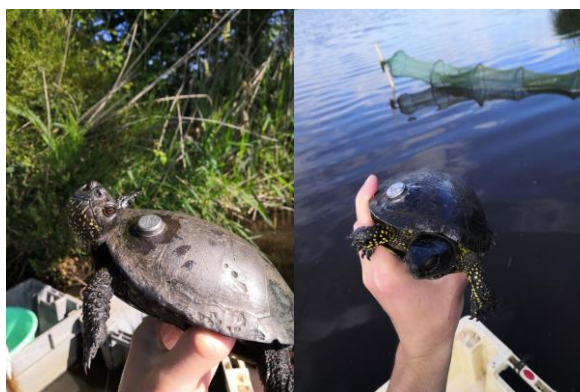


Figure 14. Photographies de la pose de iButton sur la carapace d'une Cistude d'Europe au sein de l'étang des Hautes Rondières dans le cadre d'une méthode CMR

2.2 Analyses statistiques - impact des variations de température sur les comportements

Tous les tests statistiques ont été réalisés à l'aide de RStudio version 4.4.1

L'impact des variations de températures sur les comportements a été mesuré de par les données de températures récoltées sur les différentes carapaces des Cistudes (iButton) et dans les différents milieux. L'effet de l'ensoleillement est quant à lui étudié de par les données de radiation solaire provenant de la station météorologique de Chérine.

L'analyse s'est composée en plusieurs étapes décrites ci-dessous.

2.2.1. Distinction de périodes de températures

On cherche à étudier s'il y a des périodes durant lesquelles la température moyenne est significativement différente. Pour cela, on détermine la moyenne de température par mois pour chaque environnement (D2, 8F, 32, 14) ainsi que pour chaque cistude (1A,30, E5, E3). On représente ensuite les données sous forme graphique, ce qui permet d'identifier les différentes périodes. Enfin, on vérifie si les périodes identifiées concordent pour chaque cistude et chaque milieu.

2.2.2. Vérification des conditions d'application

La condition d'application pour un test paramétrique, soit la normalité des données dans notre cas, est vérifiée graphiquement à l'aide d'un histogramme. Ensuite, le résultat est complété par un diagramme quantile-quantile (QQ-plot), permettant de comparer la distribution des données à la distribution dite normale.

Ici, nous transformons les données des températures obtenues sur les carapaces des Cistudes et dans les différents environnements pour respecter les conditions d'application (soit la normalité des données). Nous réalisons ensuite les graphiques de visualisation des données afin de vérifier la distribution des résultats, soient le QQ-Plot et l'histogramme.

2.2.3. Analyse des températures par période

Les données températures sont analysées par période. Pour chacune d'elle, les individus étudiés sont comparés afin d'étudier s'il existe une différence significative entre leurs températures. La comparaison se fait à l'aide d'une ANOVA sur Log10-transformation des données de température. Un test post-hoc de Tukey est ensuite réalisé si la comparaison est significative afin d'en identifier son intensité.

Pour le test ANOVA,

L'hypothèse nulle (H_0) est : "Toutes les moyennes des groupes sont égales", soit "il n'y a pas de différence significative entre les moyennes des groupes et toutes variations observées est due au hasard".

L'hypothèse alternative (H_1) est : "Il existe des différences de moyennes entre les groupes", soit "il existe une différence significative entre les moyennes d'au moins deux groupes et les variations observées ne sont pas dues au hasard".

Si la p-value (p) est inférieure à la valeur seuil de 0,05, on rejette H_0 . Sinon, on ne peut pas rejeter H_0 .

2.2.4. Corrélation entre les données thermiques

La corrélation entre les températures mesurées dans les environnements et celles mesurées sur les Cistudes est étudiée grâce au test de corrélation de Spearman et l'analyse de la p-value (p).

Pour rappel, la p-value montre la significativité statistique de la corrélation. Plus celle-ci est inférieure à la valeur seuil (ici de 0,05), plus la corrélation est significative. Ensuite, le coefficient de corrélation mesure la force et la direction de la relation entre les variables. Une valeur proche de 0 indique une faible corrélation, une valeur proche de 1 ou -1 indique une forte corrélation, respectivement positive ou négative.

Les hypothèses sont :

L'hypothèse nulle (H_0) est "il n'existe aucune relation linéaire significative entre les 2 échantillons"

L'hypothèse alternative (H_1) : "Il existe une relation linéaire significative entre les 2 échantillons".

Si la p-value (p) est inférieure à la valeur seuil de 0,05, on rejette H_0 . Sinon, on ne peut pas rejeter H_0 .

2.2.5. Distinction des périodes d'ensoleillement

On cherche à visualiser les périodes au cours desquelles l'ensoleillement est le plus élevé. Pour cela, on commence par calculer la moyenne de la radiation solaire par heure pour chaque mois. A partir de ces données, on peut réaliser un graphique de l'évolution de la radiation solaire moyenne par heure et par mois. A partir de ce graphique, on peut déterminer visuellement les périodes d'ensoleillement différent.

On réalise également un histogramme de la radiation solaire moyenne selon la période afin de visualiser les différents niveaux de radiation.

2.2.6. Relation entre l'ensoleillement et le comportement des Cistudes

On réalise premièrement un test de corrélation de Spearman afin d'étudier la relation entre les données de températures des Cistudes et celles de la radiation solaire. L'interprétation des résultats se fait d'après la même méthode que celle expliquée dans la partie « 2.2.d) Corrélation entre les données thermiques ».

On réalise ensuite un t-test pour échantillon indépendant dans l'objectif de vérifier si les températures mesurées sur les Cistudes sont statistiquement différentes de celles de l'environnement étudié.

Les hypothèses pour le t-test sont :

Hypothèse nulle (H0) : Les moyennes des deux groupes sont égales : nous pouvons émettre l'hypothèse de la présence des Cistudes dans l'environnement étudié.

Hypothèse alternative (H1) : Les moyennes des deux groupes ne sont pas égales : nous ne pouvons pas émettre l'hypothèse de la présence des Cistudes dans l'environnement étudié.

Si la p-value (p) est inférieure à la valeur seuil de 0,05, on rejette H0. Sinon, on ne peut pas rejeter H0.

Enfin, en complément, nous réalisons un test ANOVA afin de comparer les données récoltées sur les Cistudes avec celles de tous les environnements. L'interprétation des résultats se fait d'après la même méthode que celle expliquée dans la partie "2.2.c) Analyse des températures par période".

3. Résultats et discussion

3.1. Morphologie

Tableau 2. Données morphologiques de 5 Cistudes d'Europe

ID Tortue	iButton	Sexe	Age	Dossière		Plastron			Masse (g)
				Longueur (mm)	Largeur (mm)	Longueur (mm)	Largeur avant (mm)	Largeur arrière (mm)	
3087	1A	M	3	125,9	103,34	108,32	58,79	66,6	334
3040	30	M	4	153,4	119,25	136,38	70,47	84,68	526,6
2765	E5	M	3	142,4	117,68	127,61	66,22	80,36	485,7
3049	DC	M	3	131,34	109,36	123,73	63,58	73,11	385,3
Moyenne		4	3,2±0,8	138,26±19,4	112,41± 11,83	124,01± 18,63	64± 7,79	76,19± 12,69	432,9± 141,06
913	E3	F	4	166,3	130,06	163,77	78,96	95,63	873,2
Moyenne		1	4	166,3	130,06	163,77	78,96	95,63	873,2

Les données ont été récoltées sur 4 individus mâles et 1 individu femelle. L'analyse des résultats morphologiques est essentielle pour la suite. Elle permet de vérifier la bonne santé des individus étudiés, d'identifier d'éventuelles anomalies ou malformations, et de détecter des indices de stress environnemental, comme une croissance anormale ou des carences nutritionnelles. De plus, ces données sont intéressantes pour évaluer le dimorphisme sexuel présenté par les Cistudes d'Europe, les femelles étant en moyenne plus lourdes et plus grandes que les mâles.

Les résultats témoignent du dimorphisme sexuel évoqué, la femelle étant en moyenne deux fois plus lourde que les mâles. Ensuite, d'après les connaissances acquises sur l'espèce, les individus recensés dans cette étude correspondent aux normes vis-à-vis de leur morphologie. D'après une enquête réalisée dans le cadre de la thèse de Perconte-Duplain, F. (2017), les adultes mâles ont en moyenne une longueur dossière comprise entre 120 et 160 cm, une longueur de plastron entre 100 et 140 cm, ce qui est le cas ici. La masse des Cistudes mâles semble légèrement inférieure à celle évoquée dans la précédente thèse, la moyenne décrite étant comprise entre 500 et 600g. Cependant, d'autres études présentent des résultats plus faibles vis-à-vis de la masse des individus mâles. Par exemple, l'étude de Duguy, R. et al. (1976) sur les Cistudes d'Europe rapporte un total de 23 mâles dont la masse varie entre 380 et 615 g, illustrant la diversité pondérale observée entre les individus. Pour la femelle toutes les valeurs morphologiques sont dans la norme décrite par ces deux précédentes études, avec une longueur de dossière comprise en 140 et 200 cm, une longueur de plastron entre 120 et 170 cm et une masse entre 700 et 900g.

3.2. Distinction des périodes de températures

On cherche à visualiser s'il y a des périodes de températures différentes. Pour cela, on commence par calculer la moyenne de température par mois pour chaque environnement (D2, 8F, 32, 14). A partir de ces données, on peut réaliser un graphique de l'évolution des températures mensuelles pour chaque environnement.

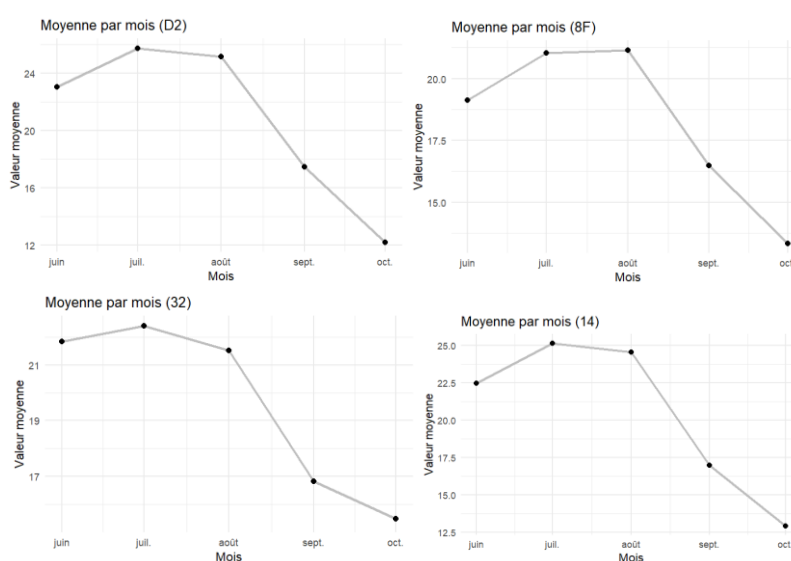


Figure 15. Graphiques des moyennes mensuelles de températures pour chacun des 4 environnements

Ces graphiques révèlent une chute des moyennes mensuelles de températures entre les mois d'août et de septembre. Cela nous permet de distinguer 2 périodes : la première période, nommée « summer », correspond à la période entre les mois de juin et août. La température y est particulièrement élevée et est comprise entre 19 et 25°C en moyenne mensuelle. La seconde, nommée « autumn », correspond quant à elle à la période entre les mois de septembre et octobre. La température y est drastiquement plus faible et est comprise entre 12 et 17°C en moyenne mensuelle. Ces résultats sont cohérents étant donné le changement de saison naturel connu entre ces deux périodes.

On réalise la même méthode d'analyse mais cette fois-ci avec les températures mesurées sur les carapaces de chaque individu (l'individu DC n'ayant pas été recapturé à la seconde phase de CMR, il n'est pas pris en compte dans l'étude).

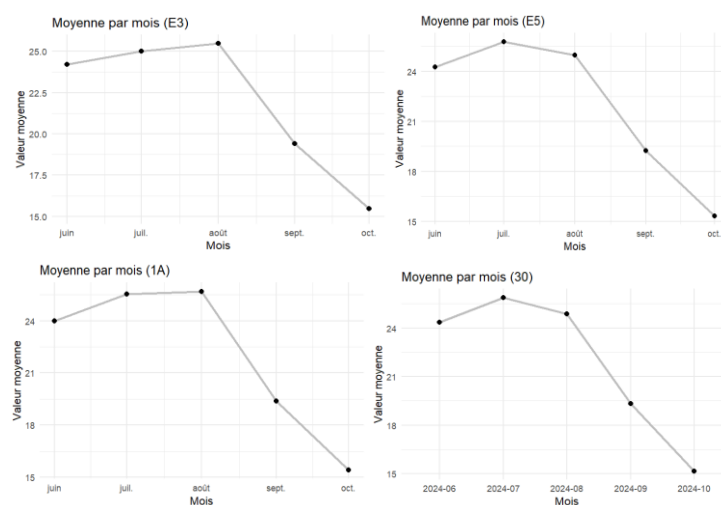


Figure 16. Graphiques des moyennes mensuelles de températures pour chacune des 4 Cistudes

D'après les graphiques, l'évolution des températures mensuelles mesurées sur les carapaces des Cistudes semble suivre la même tendance que celle mesurée dans les différents environnements. Nous appliquons dès lors la même méthode de classification en distinguant la période « summer » de la période « autumn ».

3.3 Conditions d'application

Une distribution normale se lit sur un histogramme par une forme symétrique en cloche, caractéristique de la courbe de Gauss. Les données sont majoritairement regroupées autour de la moyenne, tandis que les extrémités deviennent progressivement plus fines. Le QQ-plot compare quant à lui les quantiles des données observées à ceux d'une distribution normale théorique. Si les points s'alignent le long de la droite, cela suggère que les données suivent une distribution normale.

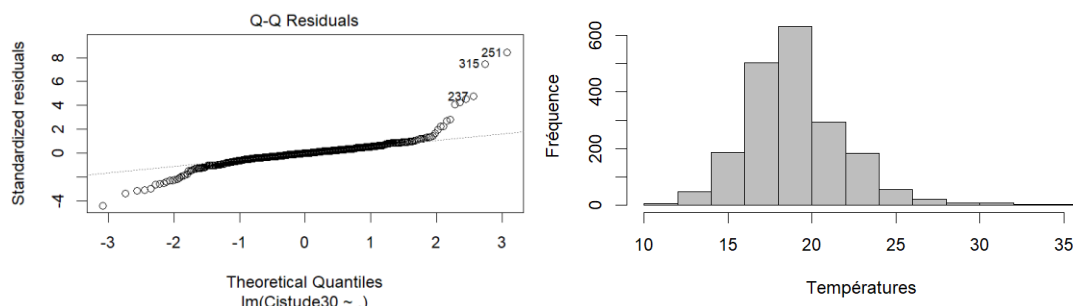


Figure 17. Graphique du Q-Q-plot et histogramme des données transformées des températures des différentes Cistudes d'Europe

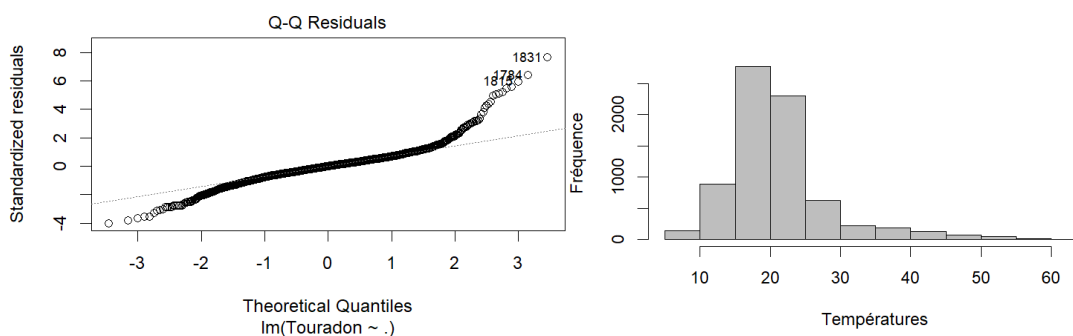


Figure 18. Graphique du Q-Q-plot et histogramme des données transformées des températures des différents environnements

Les graphiques obtenus (histogramme et Q-Q-plot) montrent une distribution normale des données de températures pour les Cistudes et les Environnements après une transformation logarithmique de celles-ci.

Les conditions sont donc vérifiées et nous pouvons réaliser des tests paramétriques.

3.4. Température par période

Tableau 3. Résultats de l'ANOVA des températures des Cistudes par période

Période étudiée	p-value
Totale	0.786
Summer	0.522
Autumn	0.834

*p-value < 0.05, **p-value < 0.01, ***p-value < 0.001, ****p-value < 0.0001

Les p-value sont supérieures à la valeur seuil de 0.05 : l'hypothèse nulle (H_0) ne peut être rejetée, il n'existe pas de différences statistiquement significatives entre les températures des Cistudes.

Les Cistudes ne présentent pas de températures significativement différentes, et ce quel que soit la période étudiée.

Tableau 4. Résultats de l'ANOVA des températures des environnements par période

Période étudiée	P-value
Totale	<2e-16 ***
Summer	<2e-16 ***
Autumn	0.021 *

*p-value < 0.05 , **p-value < 0.01 , *** p-value < 0.001, ****p-value < 0.0001

Les p-value sont inférieures à la valeur seuil de 0,05 : l'hypothèse nulle (H0) est rejetée, il existe une différence statistiquement significative entre les températures des environnements.

Les environnements présentent dans des températures statistiquement significatives, et ce pour toutes les périodes étudiées. La significativité de la différence est cependant plus faible pour la période Autumn. Nous réalisons un test post-hoc de Tukey afin d'observer où se situent les principales différences au cours des différentes périodes.

Tableau 5. Résultats du test post-hoc de Tuckey des températures des environnements pour la période totale

Comparaison	p-value
Bois1-Berge..8F	0.0000000*
Bois2-Berge..8F	0.0000000*
Touradon-Berge..8F	0.0000213*
Bois2-Bois1	0.0759676
Touradon-Bois1	0.0000000*
Touradon-Bois2	0.0000000*

*p-value < 0.05 , **p-value < 0.01, *** p-value < 0.001, ****p-value < 0.0001

Pour la période totale, les p-values sont inférieures à 0,05 pour toutes les comparaisons réalisées, à l'exception des 2 bois. Tous les environnements ont une température significativement différente sur la période totale, excepté les 2 bois étudiés dont la température n'est pas statistiquement significative. Ces résultats semblent cohérents étant donné que les milieux "Bois 1" et "Bois 2" sont tous les 2 des environnements de type "Bois".

Tableau 6. : Résultats du test post-hoc de Tuckey des températures des environnements pour la période “Summer”

Comparaison	p-value
Bois1-Berge..8F	0.0000000*
Bois2-Berge..8F	0.0000000*
Touradon-Berge..8F	0.0000061*
Bois2-Bois1	0.1322475
Touradon-Bois1	0.0000000*
Touradon-Bois2	0.0000000*

*p-value < 0.05 , **p-value < 0.01 , *** p-value < 0.001, ****p-value < 0.0001

Pour la période summer, les p-values sont inférieures à 0,05 pour toutes les comparaisons réalisées, à l’exception des 2 bois. Tous les environnements ont une température significativement différente sur la période summer, excepté les 2 bois étudiés dont la température n’est pas statistiquement significative. Ces résultats concordent avec ceux obtenus pour la période totale.

Tableau 7. Résultats du test post-hoc de Tuckey des températures des environnements pour la période “Autumn”

Comparaison	p-value
Bois1-Berge..8F	0.0105905*
Bois2-Berge..8F	0.4187486
Touradon-Berge..8F	0.6061876
Bois2-Bois1	0.3972317
Touradon-Bois1	0.2426736
Touradon-Bois2	0.9907120

*p-value < 0.05 , **p-value < 0.01 , *** p-value < 0.001, ****p-value < 0.0001

Pour la période autumn, les p-values sont supérieures à 0,05 pour toutes les comparaisons réalisées, à l’exception du bois 1 et de la berge. Seuls le bois 1 et la berge présentent des températures significativement différentes sur la période autumn. Les températures des autres environnements étudiés ne présentent pas de différences significatives sur cette période. Les milieux Touradon et Bois 2 ont d’ailleurs une p-value très proche de 1, dévoilant une similitude forte.

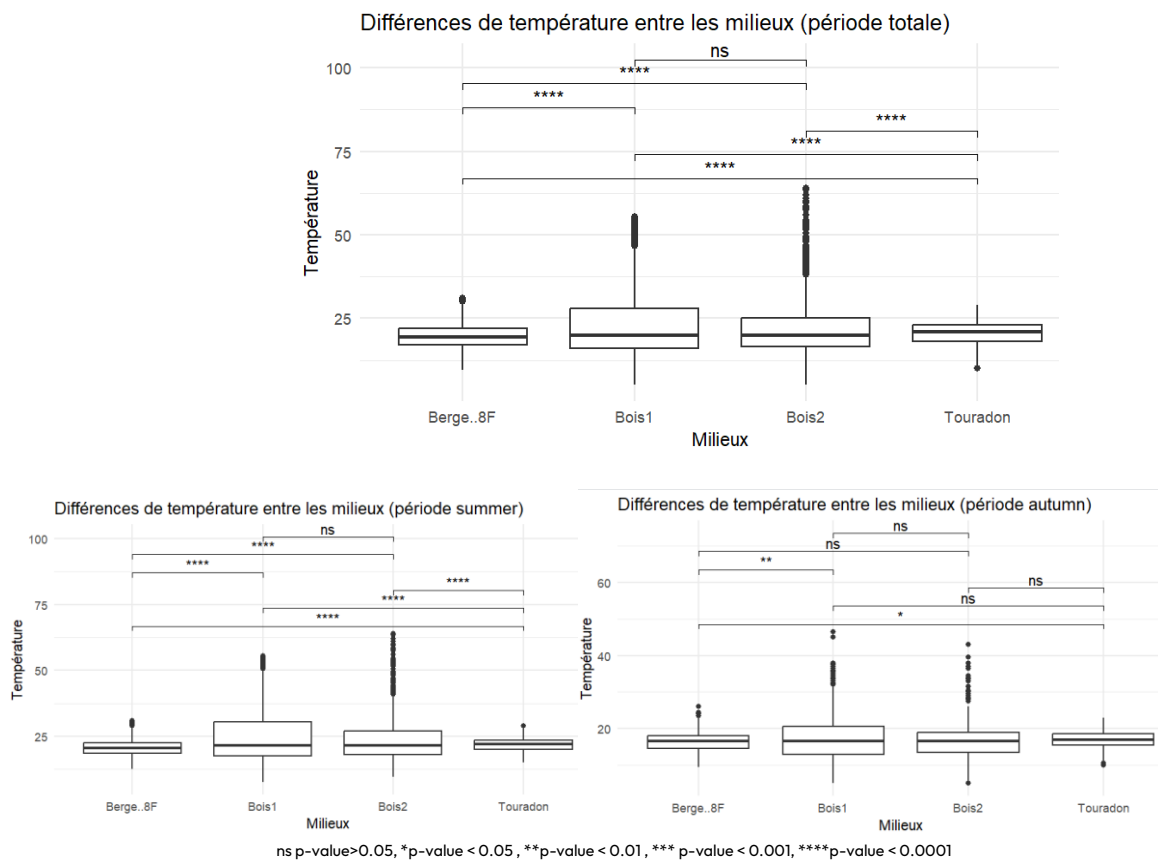


Figure 19. Boxplot des différences de température entre les milieux pour les 3 périodes considérées (totale, summer et autumn)

Les boxplot permettent de résumer les résultats obtenus pour les différents tests post-hoc de Tukey. Au cours des périodes totale et summer, des différences significatives sont observées entre les températures de chaque environnement, excepté entre les 2 bois étudiés.

En comparaison, lors de la période autumn, des différences significatives sont observées uniquement entre les températures de la berge et celles du bois 1 et du touradon.

Ces résultats sont essentiels pour la suite et sont à prendre en compte dans la discussion des résultats des prochains tests.

3.5. Corrélation entre les températures des Cistudes et celles des environnements

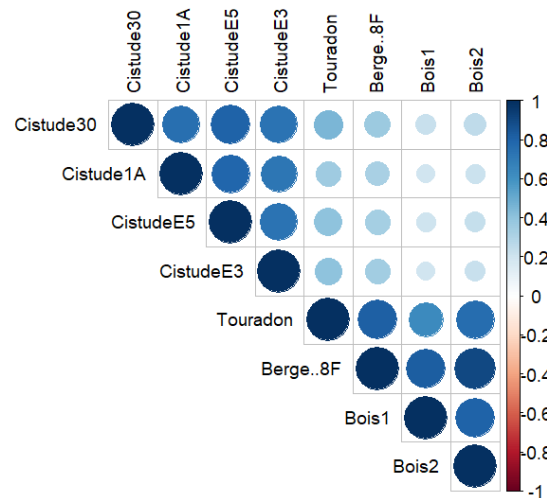


Figure 20. Matrice de corrélation entre les données de températures mesurées sur les Cistudes et les environnements au cours de la période summer

On se concentre sur les résultats obtenus pour les corrélations entre les Cistudes et les environnements. Bien que l'intensité de la corrélation soit assez faible, la matrice de corrélation obtenue pour la période "summer" révèle une corrélation plus forte entre les Cistudes et les environnements "Touradon" et "Berge". Cela suggère une probabilité plus élevée de présence des Cistudes dans l'un de ces 2 environnements par rapport aux autres environnements étudiés. En conclusion, les Cistudes ont moins de probabilité d'être dans les environnements de type "Bois" au cours de la période "summer".

La présence des Cistudes dans les environnements de type Touradon ou Berge en été est finalement assez cohérente. Les touradons sont des milieux ombragés et permettent de modérer les températures, offrant ainsi aux Cistudes un microclimat favorable. Les berges sont quant à elles des zones de transition entre les milieux terrestres et aquatiques, faisant d'elles des milieux essentiels pour les activités quotidiennes des Cistudes (Fediras et al., 2021). Comme l'expliquent Duguy et Baron dans leur étude (1998), pendant l'été, les tortues passent plusieurs heures par jour exposées au soleil afin de réguler leur température interne. Les sites d'insolation préférentiels se trouvent au bord de l'eau, ce qui permet aux tortues de plonger rapidement en cas de danger. Les supports les plus communs sont des débris végétaux (souches et troncs d'arbres) et des touradons de végétation rivulaire, comme *Carex paniculata* (Lebboroni et Chelazzi, 1991). Il est alors probable que les Cistudes soient dans cet environnement à cette période de l'année.

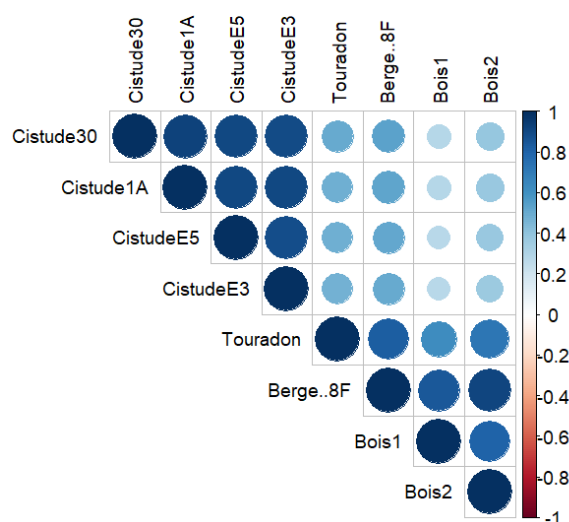


Figure 21. Matrice de corrélation entre les données de températures mesurées sur les Cistudes et les environnements au cours de la période autumn

On se concentre une nouvelle fois sur les résultats obtenus pour les corrélations entre les Cistudes et les environnements. La matrice de corrélation obtenue pour la période "autumn" révèle une corrélation plus forte entre les Cistudes et l'environnement "Berge" et "Touradon". Cela suggère une probabilité plus élevée de présence des Cistudes dans ces deux environnements par rapport aux autres environnements étudiés. Cependant, l'intensité des différentes corrélations au cours de la période autumn est différente de celle de la période summer. La probabilité qu'elles se trouvent dans l'environnement "Berge" ou "Bois 2" est en effet supérieure pendant cette période.

Finalement, les résultats obtenus pourraient révéler un potentiel changement d'environnement des Cistudes entre les périodes "summer" et "autumn". Certains individus pourraient s'être déplacés dans l'environnement "Berge" ou "Bois 2" pendant la période "autumn", augmentant ainsi l'intensité de la corrélation. Des différences significatives ayant été observées entre les températures des environnements pendant la période summer, les mouvements migratoires auraient pu s'expliquer par les différences de température observées. Ce comportement migratoire peut être interprété comme une transition entre les périodes d'estivation et d'hivernage. Une étude sur la Cistude d'Europe a révélé que les zones boisées situées à proximité des étangs semblent en effet propices à l'hivernation des tortues (CLARTE et al., 2020). Cette même étude mentionne également que les zones boisées occupent une place privilégiée parmi les voies de migration terrestre empruntées par les tortues. Il serait alors cohérent que les Cistudes se soient déplacées dans l'environnement "Bois 2" pendant la période autumn.

Cependant, étant donné la non significativité des différences observées au cours de la période autumn, les résultats ne nous permettent pas d'émettre une telle conclusion. L'hypothèse d'un comportement migratoire des Cistudes dû à un changement de température reste donc à vérifier.

Afin de poursuivre notre étude, nous décidons d'étudier l'effet de l'ensoleillement sur le comportement des Cistudes. Comme expliqué précédemment, les Cistudes sont des animaux ectothermes et poïkilothermes. Une radiation solaire trop élevée induirait une surchauffe pour ces individus. Nous émettons donc l'hypothèse que les Cistudes se rendent dans des environnements ombragés, et donc moins exposés, lorsque la radiation est à son maximum. On suppose dès lors que

les individus se trouvent dans un environnement “Bois” entre 12h et 15h, la couverture végétale étant plus importante.

3.6 Relation entre l'ensoleillement et le comportement des Cistudes

3.6.1. Distinction des périodes d'ensoleillement

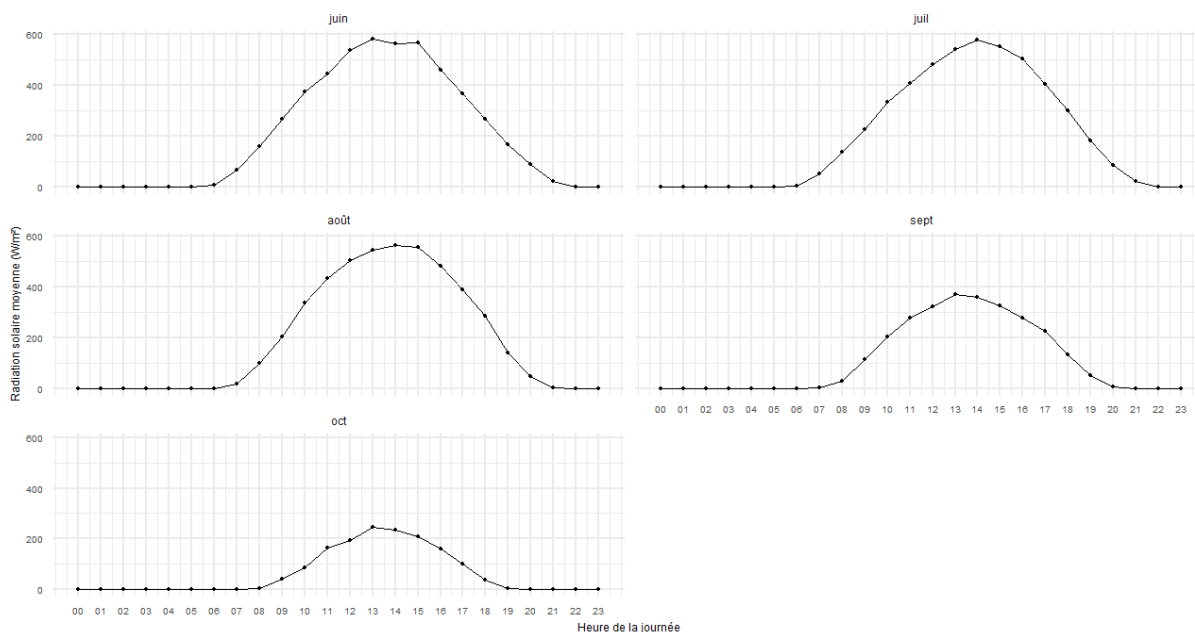


Figure 22. Courbes de la radiation solaire moyenne par heure et par mois

A partir des graphiques obtenus, on distingue 4 périodes au cours desquelles la radiation solaire est différente : on les nomme matin, midi, soirée et nuit.

On considère que la nuit est comprise entre 21h et 6h, le moment où la radiation est nulle. Le matin est compris entre 7h et 11h et correspond à la période de croissance du niveau de radiation solaire. Le midi, compris entre 12h et 15h, correspond à la période au cours de laquelle la radiation atteint son maximum. Enfin, la soirée correspond à la période de décroissance du niveau de radiation solaire et est comprise entre 16h et 20h.

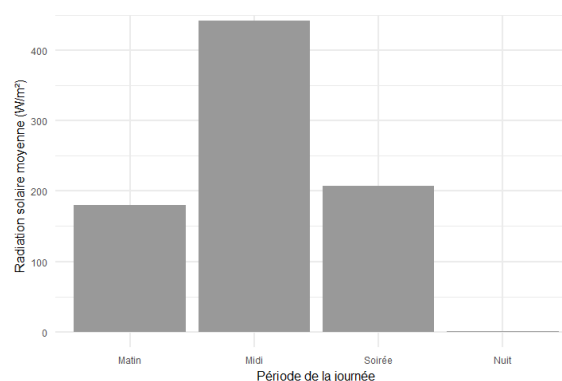


Figure 23. Histogramme de la radiation solaire moyenne selon la période de la journée (Matin, Midi, Soirée et Nuit)

L'histogramme permet de visualiser les différents niveaux de radiation solaire selon les périodes de la journée. Le midi correspond bien à la période d'ensoleillement la plus élevée. Nous continuons dès lors nos analyses sur cette même période.

3.6.2. Corrélation entre la radiation solaire et la température des Cistudes

Tableau 8. Résultats du test de corrélation de Spearman entre les données de température des Cistudes et les données de radiation solaire

Variable	Coefficient de corrélation	P-value
X1A	0.3921	< 2.2e-16****
X30	0.3441	< 2.2e-16****
E5	0.3805	< 2.2e-16****
E3	0.3001	< 2.2e-16****

*p-value < 0.05, **p-value < 0.01, *** p-value < 0.001, ****p-value < 0.0001

La p-value est ici inférieure au seuil de significativité, les 4 étoiles indiquant un niveau de significativité avec une confiance supérieure à 99,9 %. Ainsi, la radiation solaire a un effet sur les températures des Cistudes. Les valeurs du coefficient de corrélation, situées entre 0,3 et 0,4, indiquent une force de corrélation faible et une direction positive. Finalement, plus la radiation solaire est élevée, plus la température mesurée sur la carapace des Cistude a tendance à augmenter.

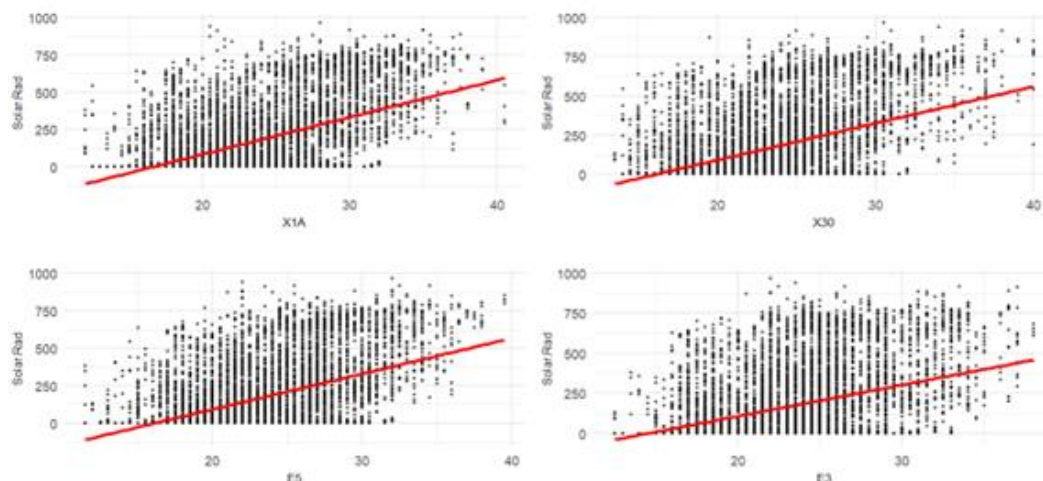


Figure 24. Représentation de la corrélation entre les données de température des Cistudes et les données de radiation solaire

Les nuages de points associés à la courbe de tendance reflètent les résultats obtenus précédemment. Les 2 variables étudiées sont corrélées entre elles. Une élévation de la radiation solaire engendre une légère augmentation de la température mesurée sur la carapace des Cistude.

3.6.3. Détermination de l'environnement le plus probable

Maintenant que l'on a montré un lien entre la radiation solaire et la température mesurée sur les Cistudes, nous cherchons à observer les potentiels effets d'une élévation de la radiation sur les Cistudes. Nous testons notre hypothèse selon laquelle les Cistudes se déplacent dans un environnement de type "Bois", moins exposé, pendant les périodes d'ensoleillement élevé.

On réalise un boxplot afin de visualiser les données et d'avoir un premier aperçu des potentiels similarités/dissimilarités entre les Cistudes et les environnements de type "Bois".

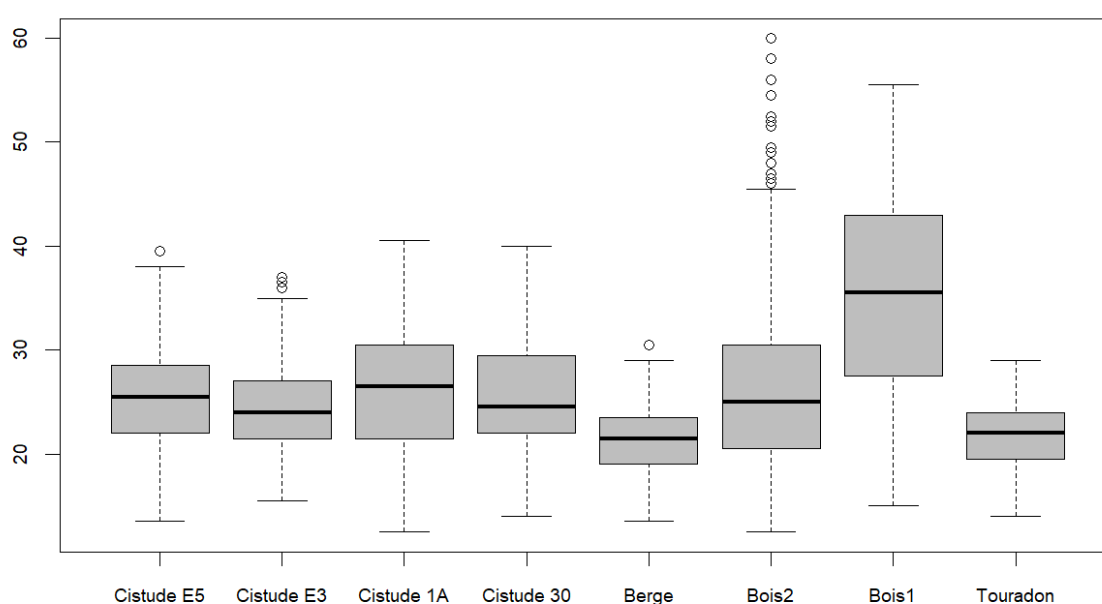


Figure 25. Boxplot des températures des Cistudes et des environnements pour la période "Midi" - période totale

D'après le résultat obtenu après avoir réalisé le boxplot, il semble que les Cistudes aient, en moyenne, des températures plus proches de celles de l'environnement "Bois 2" que celles des autres environnements. Cela semble valider notre hypothèse de départ de la présence des Cistudes dans un environnement de type "Bois" pendant la période d'ensoleillement élevé.

Nous réalisons différents tests pour continuer de questionner cette hypothèse. Afin de poursuivre notre logique, nous réalisons les mêmes tests pour les différentes périodes d'études, soient la période totale, la période "summer" et la période "autumn".

Nous réalisons d'abord un t-test pour échantillons indépendants. L'objectif est de poursuivre notre vérification quant à la similarité/dissimilarité entre les températures de l'environnement "Bois2" et celles des Cistudes au cours des différentes périodes.

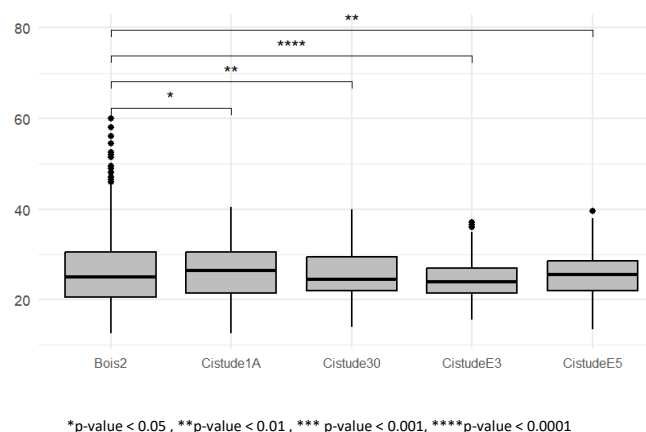


Figure 26. Boxplot des différences de températures entre le milieu "Bois 2" et les 4 Cistudes étudiées au cours de la période "Midi" - période d'étude totale

Bien que le niveau de significativité soit plus ou moins élevé, les résultats obtenus pour la période totale montrent des différences significatives entre les températures du Bois 2 et celles des Cistudes étudiées. Nous ne pouvons donc pas émettre de conclusions quant à l'hypothèse de présence des Cistudes dans le Bois 2 au cours de la période "Midi".

On réalise ce test pour les périodes "Summer" et "Autumn" afin de vérifier s'il y a des différences en termes de résultats statistiques.

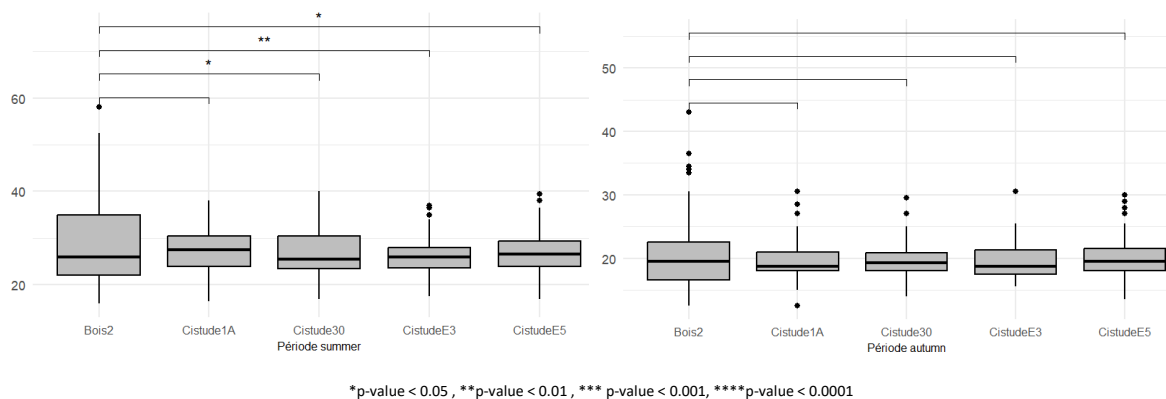


Figure 27. Boxplot des différences de températures entre le milieu "Bois 2" et les 4 Cistudes étudiées au cours de la période "Midi" - périodes d'étude "Summer" et "Autumn"

Pour la période “Summer”, les températures mesurées sur la Cistude 1A ne présentent aucune différence significative avec celles de l’environnement “Bois 2”. Ensuite, bien que le niveau de significativité soit plus faible que pour la période totale, les autres Cistudes ont des températures significativement différentes de celles de l’environnement “Bois 2” pour la période summer. Ainsi, nous ne pouvons émettre de conclusions précises pour l’ensemble des individus. Seule la Cistude 1A semble présenter une forte probabilité de présence dans cet environnement à cette période.

Pour la période “Autumn”, les températures mesurées sur les Cistudes sont toutes significativement différentes de celles du “Bois 2”. Il y a donc de forte probabilité que les Cistudes se trouvent dans l’environnement “Bois 2” au cours de cette période.

Le t-test nous a permis de vérifier si les Cistudes ont des températures similaires à celles de l’environnement “Bois 2”. Les résultats obtenus semblent montrer une différence significative pour les périodes Totale et Summer et non-significative pour la période Autumn. Nous cherchons maintenant à approfondir notre analyse en étudiant les différences avec les autres milieux. En effet, bien qu’il existe des différences significatives entre les températures des Cistudes et celles du Bois 2 pour la majorité des périodes, ces différences sont peut-être moindres face à celles avec les autres environnements.

Nous réalisons donc le test ANOVA pour étudier les différences entre les températures des Cistudes et des environnements pendant la période Midi. Après sa réalisation, le test ANOVA montre des différences significatives entre les Cistudes et les Milieux au cours de cette période. Nous réalisons donc un test post-hoc de Tukey.

Les résultats du test sont présentés sous forme de graphiques ci-dessous.

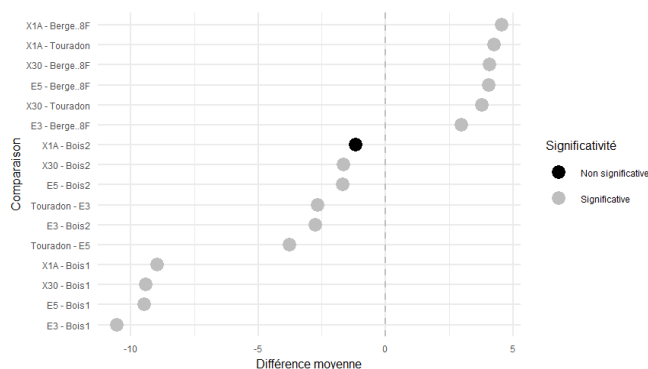


Figure 28. Représentation graphique des résultats du test post-hoc de Tukey - période d’étude totale

Pour la période totale, le graphique montre que seules les températures de la Cistude 1A ne présentent aucune différence significative avec celles de l’environnement “Bois 2”. Les autres Cistudes présentent des températures significativement différentes. Cependant, la différence moyenne des températures entre les Cistude et les environnements est en général plus faible lorsqu’il s’agit de l’environnement “Bois 2”. Il s’agit de l’environnement le plus probable pour les Cistudes E5 et 30 dont la différence est proche du seuil de “non-significativité”. Pour la Cistude E3, les milieux “Touradon” et “Bois 2” sont tous deux les plus probables.

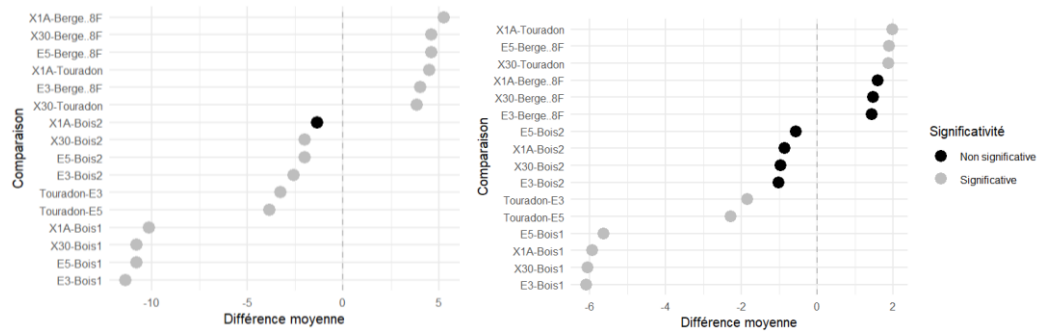


Figure 29. Représentation graphique des résultats du test post-hoc de Tuckey - périodes d'étude "Summer" et "Autumn"

Pour la période "Summer", le graphique montre de nouveau que seules les températures de la Cistude 1A ne présentent aucune différence significative avec l'environnement "Bois 2". Les autres Cistudes présentent des températures significativement différentes. Cependant, la différence moyenne entre les températures des Cistudes et celles des environnements est, pour tous les individus, plus faible lorsqu'il s'agit de l'environnement "Bois 2". Il s'agit de l'environnement le plus probable pour chacune des Cistudes, dont la différence est proche du seuil de "non-significativité".

Pour la période "Autumn", le graphique montre que les températures de l'ensemble des Cistudes n'ont aucune différence significative avec celles de l'environnement "Bois 2". Il est donc possible que les individus se trouvent dans cet environnement à cette période. Ce résultat semble confirmer les résultats du t-test précédemment réalisé. Cependant, les températures des Cistudes 1A, 30 et E3 ne présentent également aucune différence significative avec celles de l'environnement "Berge". Il est donc également possible que les Cistudes se trouvent dans cet environnement à cette période.

Finalement, ces résultats semblent cohérents étant donné les connaissances acquises sur les Cistudes d'Europe. En effet, comme expliqué précédemment, les Cistudes sont des animaux poïkilothermes, leur thermorégulation se fait donc dépendamment de l'environnement. Comme mentionnée dans les parties précédentes, Duguy et Baron présentent dans leur étude (1998) le comportement d'insolation des Cistudes d'Europe. Ils y expliquent que cette activité a lieu en général en fin de matinée et en début de soirée. Selon eux, une exposition aux heures les plus chaudes de la journée engendrerait une montée de la température interne au-dessus de 35°C, température maximale critique. Étant donné ces connaissances, nous nous attendons à observer les Cistudes dans des endroits ombragés pendant la période d'ensoleillement maximal. Finalement, bien que les résultats obtenus ne permettent pas de conclure définitivement sur la présence des Cistudes dans le Bois étudié, notre hypothèse reste plausible et cohérente.

5. Discussion et limites

Finalement, les différentes analyses de l'effet de la température sur le comportement des Cistudes d'Europe mettent en évidence des tendances alignées avec les connaissances scientifiques actuelles sur cette espèce.

Durant la période estivale, les Cistudes semblent privilégier les environnements de type Touradon et Berge, probablement en raison des avantages thermiques qu'ils leur offrent. Les touradons, de par leur ombrage naturel, offrent un microclimat propice, tandis que les berges, en tant que zones intermédiaires entre milieux terrestres et aquatiques, facilitent la thermorégulation. Ensuite, les observations réalisées en automne suggèrent une possible migration des Cistudes vers des environnements boisés, probablement en réponse aux variations de température saisonnières. Ce comportement pourrait également refléter une transition progressive entre les périodes d'estivation en été et d'hivernage en automne. Les zones boisées sont en effet des milieux propices à l'hivernage, renforçant la plausibilité de ces déplacements. Enfin, les derniers résultats obtenus semblent confirmer l'influence de la radiation solaire sur les comportements des Cistudes. Comme le soulignent Duguy et Baron dans leur étude (1998), les Cistudes adoptent des comportements spécifiques selon le niveau d'ensoleillement et recherchent des zones ombragées pour éviter des températures critiques. Ainsi, notre hypothèse sur la présence des Cistudes dans des milieux ombragés lors des périodes d'ensoleillement maximal s'inscrit dans cette logique écologique.

Cependant, les hypothèses émises ne peuvent être validées de façon définitive. En effet, bien que les résultats des différents tests semblent corroborer notre hypothèse, la majorité ne sont pas statistiquement significatifs. Cette absence de significativité pourrait s'expliquer par la taille réduite de notre échantillon et notre période d'analyse assez courte. L'échantillon était en effet constitué de 5 Cistudes, dont seulement 4 ont pu être analysées, et ce sur une période de 6 mois. Il serait dès lors intéressant de reproduire cette étude avec un échantillon plus grand et sur une période plus longue. Au faible échantillonnage s'ajoute le fait que la recapture des Cistudes n'ait pas été constante, influant sur la significativité des résultats. En effet, une des Cistudes (Cistude 5) n'a pas pu être recapturée, et donc utilisée pour les tests statistiques. Ensuite, les mesures de température ayant été effectuées sur la carapace, nous avons été en mesure d'étudier la température externe et non interne des Cistudes. Les données sur leur température interne auraient pu apporter des informations cruciales sur leurs comportements de thermorégulation. Concernant l'étude du déplacement des Cistudes, le suivi GPS des individus s'est révélé impossible en raison de son coût élevé, ce qui a restreint notre capacité à obtenir des données précises sur leur utilisation des différents habitats. Enfin, les données relatives à la température de l'eau de l'étang des Hautes-Rondières n'ont pas pu être recueillies pour l'année 2024. Disposant uniquement de celles de l'année 2023, nous n'avons pas pu les inclure dans notre analyse. Or, les Cistudes d'Europe, étant des tortues semi-aquatiques, ont un cycle de vie marqué par de nombreuses phases passées dans l'eau. Il serait donc intéressant d'ajouter un axe d'étude en lien avec leur habitat aquatique, en particulier pendant la saison estivale au cours de laquelle les Cistudes sont particulièrement actives dans l'eau.

4. Conclusion

En conclusion, cette étude nous a permis d'émettre différentes hypothèses quant aux effets de la température sur les comportements migratoires des Cistudes d'Europe. Il semblerait que celles-ci privilégient les touradons et les berges pendant la saison estivale alors qu'elles semblent migrer vers des habitats boisés en Automne. Enfin, les Cistudes semblent rechercher des zones ombragées, telles que les zones boisées, lorsque l'ensoleillement est maximal.

Ces résultats ouvrent des pistes de réflexions quant à l'impact du dérèglement climatique sur les Cistudes d'Europe. En effet, les variations de températures sont aujourd'hui plus marquées et plus fréquentes. Les comportements des Cistudes d'Europe risquent d'être bouleversés, et leur cycle de vie impacté. C'est pourquoi la connaissance de leurs habitats privilégiés peut permettre de limiter et/ou compenser les impacts d'un tel dérèglement par des actions de préservation.

Cependant, bien que cette étude ait pour objectif d'étudier l'impact du réchauffement climatique sur les Cistudes, il est essentiel de la replacer dans son contexte. En effet, celle-ci a été réalisée dans le cadre du Projet de Recherche et d'Innovation (PRI) de la dernière année d'école d'ingénieur. Par conséquent, le traitement des données, l'analyse des résultats et la rédaction de ce rapport se sont déroulés sur une période de temps restreinte. Nous n'avons pas eu accès aux données des années précédentes et étudier le potentiel impact du dérèglement climatique sur les Cistudes d'Europe.

Pour enrichir notre étude, le projet de Robin Furet, le principal encadrant de cette étude, pourrait apporter une dimension aquatique à nos analyses. En effet, ce projet vise à étudier l'impact de l'assec d'un étang sur le comportement migratoire des Cistudes d'Europe. Les résultats d'une telle expérience pourraient fournir des réponses cruciales concernant le rôle du milieu aquatique dans le cycle de vie des Cistudes. En reliant ces résultats aux conditions environnementales et au changement climatique, il serait possible de prédire les conséquences d'un tel événement.

Références

- Biot, L. (2017). *Synthèse des connaissances actuelles sur la cistude d'Europe (Emys orbicularis) et étude d'une pathologie de sa carapace*. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse - ENVT, 2017, 187 p., <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04541831v1>
- Beau, Frédéric. (2019). Écologie de la Cistude d'Europe *Emys orbicularis* en Brenne : histoire de vie des nouveau-nés et influence des modes de gestion sur les populations. 10.13140/RG.2.2.35153.48485.
- Bensettiti, F., Gaudillat, V., Arthur, L., Baglinière, J.-L., Barataud, M., Barbier, B., ... & Vandel, J.-M. (2004). *Emys orbicularis*. Dans *Cahiers d'habitats Natura 2000 : Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire* (Tome 7, Espèces animales). La Documentation française.
- Berger, A. (2006). Les causes astronomiques des grandes variations du climat au Quaternaire. *Comptes Rendus Palevol*, 5(1-2), 21-26. <https://doi.org/10.1016/j.crpv.2005.09.009>
- Butler, C. J. (2019). A review of the effects of climate change on chelonians. *Diversity*, 11(8), 138. <https://doi.org/10.3390/d11080138>
- Cadi, A., Nemoz, M., Thienpont, S., & Joly, P. (2004). Home range, movements, and habitat use of the European pond turtle (*Emys orbicularis*) in the Rhône-Alpes region, France. *Biologia*, 59(Suppl. 14), 89–94.
- Calvin, K., et al. (2023). *IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (Eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. <https://doi.org/10.59327/ipcc/ar6-9789291691647>
- Clarte, P., Pinet, F., & D'Amico, F. (2020). Importance des habitats terrestres dans la dynamique d'occupation d'*Emys orbicularis* (Linnaeus, 1758) sur le site Natura 2000 « Grande Brenne ». *Naturae*, (4).
- Didierlaurent, S., Didierlaurent, J.-F., & Corolla, J.-P. (2024, 31 mai). *Emys orbicularis* (Linnaeus, 1758). Dans DORIS. <https://doris.ffessm.fr/ref/espece/2630>
- Dournon, C., Houillon, C., & Pieau, C. (1990). Temperature sex-reversal in amphibians and reptiles. *PubMed*, 34(1), 81-92. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2393628>
- Duguy, R., & Baron, J.-P. (1976). *La Cistude d'Europe, Emys orbicularis dans le marais de Brouage (Char.-Mar.) : cycle d'activité, thermorégulation, déplacements, reproduction et croissance*. La Terre et la Vie, 30, 247–283.
- Fediras, S., Benslimane, N., Ghezali, F. Z., & Guezoul, O. (2021). Choix de l'habitat chez la Cistude d'Europe (*Emys orbicularis* [Linnaeus, 1758]) dans le canal Messida (Parc National d'El Kala, Algérie). *Revue d'Écologie (Terre et Vie)*, 76(2), 123-134.
- Hernandez-Divers, S. J., Hensel, P., Gladden, J., Hernandez-Divers, S. M., Buhlmann, K. A., Hagen, C., Sanchez, S., Latimer, K.S., Ard, M., & Camus, A. C. (2009). Investigation of shell disease in map turtles (GRAPTEMYS SPP.). *Journal Of Wildlife Diseases*, 45(3), 637-652. <https://doi.org/10.7589/0090-3558-45.3.637>

Lebboroni, M., & Chelazzi, G. (1991). Activity patterns of *Emys orbicularis* L. (*Chelonia Emydidae*) in central Italy. *Ethology Ecology & Evolution*, 3(3), 257–268. <https://doi.org/10.1080/08927014.1991.9525373>

Mosimann, D. (2008). *Notice La Cistude d'Europe*. infofauna (karch), Centre national de données et d'informations sur la faune de Suisse. https://www.infofauna.ch/sites/default/files/files/publications/cistude_deurope.pdf

Owen-Jones, Z. (2011). *Plan Régional d'Actions en faveur de la Cistude d'Europe 2011-2015*. Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Centre https://www.centre-val-de-loire.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/pracistude_version08112011_cle165b52.pdf.

Perconte-Duplain, F. (2017). *Pathologie de la Cistude d'Europe (Emys orbicularis) juvénile : enquête auprès d'élevages européens*. Thèse de doctorat vétérinaire, École Nationale Vétérinaire d'Alfort, Maisons-Alfort, France. Disponible sur : <https://theses.vet-alfort.fr/telecharger.php?id=2202>

Refsnider, J. M., & Janzen, F. J. (2016). Temperature-dependent sex determination under rapid anthropogenic environmental change: Evolution at a turtle's pace? *The Journal of Heredity*, 107(1), 61–70. <https://doi.org/10.1093/jhered/esv053>

Société Herpétologique de France, & Ministère de la Transition écologique. (2020). *Plan national d'actions en faveur de la Cistude d'Europe (Emys orbicularis) 2020-2029*. Société Herpétologique de France & Ministère de la Transition écologique. https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/PNA_Cistude_2020_2029.pdf

Thienpont, S. (2011). *Plan national d'actions en faveur de la Cistude d'Europe - 2011-2015*. Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement.

Directeur de recherche :
Robin Furet

Béatrice Gouraud
Morgane Zanini
PRI/DAE5
IMATGE/ADAGE
2024-2025

Le changement climatique et les tortues d'eau douce : impact des variations de température sur les comportements de thermorégulation -cas de la Cistude d'Europe.

Résumé :

Cette étude explore l'impact du changement climatique sur les comportements de thermorégulation de la Cistude d'Europe (*Emys orbicularis*), une espèce de tortue ectotherme et semi-aquatique native de France. La Cistude d'Europe occupe une mosaïque complexe d'habitats comprenant des milieux aquatiques et terrestres. Classée « quasi-menacée » par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN). Cette espèce protégée est particulièrement vulnérable en raison de la dégradation, de la fragmentation et de la destruction de son habitat. Elle est également menacée par d'autres facteurs comme l'introduction d'espèces exotiques et l'augmentation des températures. Cependant, l'impact du réchauffement climatique sur ses comportements et son écologie demeure encore peu étudié. Ainsi, dans le cadre de cette recherche, des données de température ont été collectées au sein de la Réserve Naturelle Nationale de Chérine, plus précisément dans l'étang des Hautes-Rondières. Une méthode de capture-marquage-recapture (CMR) a été utilisée pour équiper trente Cistudes, de capteurs de température (ibuttons) fixés sur leur carapace. Dans un même temps, des capteurs ont été installés dans trois types d'habitats fréquentés par cette espèce : touradon, bois, berge. Les résultats indiquent qu'un changement de température pourrait induire des déplacements chez les individus étudiés. L'étude semble révéler le déclenchement d'un mouvement de migration des berges vers les habitats boisés à la suite d'un changement saisonnier. Ces conclusions soulignent l'importance de mieux comprendre les réponses comportementales de la Cistude face au changement climatique pour orienter les efforts de conservation.

Mots Clés : Cistude d'Europe, *Emys Orbicularis*, Centre-Val-de-Loire, Hautes-Rondière, Changement climatique, Température, Comportement