

## 6.11 Cistude d'Europe *Emys orbicularis*

**Auteur : Jean-Yves Georges, Contributeurs : Stéphanie Darblade, Didier Leveau**

---

La Cistude d'Europe *Emys orbicularis* est une petite tortue d'eau douce emblématique des zones humides, dont la répartition pan-européenne suggère une certaine capacité d'adaptation face aux conditions climatiques. Par exemple, les femelles suivent la règle de Bergmann (1847) selon laquelle la taille corporelle adulte et la taille de la ponte sont positivement corrélées à la latitude, à l'inverse du nombre de pontes (Joos *et al.*, 2017). De plus, la physiologie ectotherme et l'écologie amphibie de l'espèce font que son cycle de vie et son activité sont directement tributaires des conditions thermiques et hydriques. Ainsi, la Cistude d'Europe est susceptible d'être impactée, directement (par sa physiologie) et indirectement (par ses habitats terrestres et aquatiques) par le changement climatique à différents niveaux de sa morphologie, de sa phénologie et de sa démographie.

Le volet Cistude du programme les sentinelles du climat vise à tester plusieurs hypothèses en lien avec un éventuel impact du changement climatique (LE TREUT, 2013) sur les populations de cistudes de la Nouvelle-Aquitaine. En 2018, à l'instar de l'année précédente, des GPS ont été déployés sur femelles reproductrices afin de tester deux hypothèses principales :

1. Liée à l'augmentation attendue du nombre de journées chaudes, une augmentation de la durée de la saison d'activité est prédite, conduisant, d'après Joos *et al.* (2017), à une augmentation du nombre de pontes par femelle et à une diminution de la taille de ponte ; et d'après la loi de Bergmann (1847), une diminution à plus long terme de la taille corporelle adulte ;
2. Liée à la diminution attendue des précipitations estivales, un assèchement des mares et des sols est prédit, conduisant à une diminution de la disponibilité des zones humides et des habitats favorables à la ponte de la cistude, et *in fine* à des ajustements comportementaux dans l'utilisation de l'espace voire à une redistribution spatiale des noyaux de population.

### 6.11.1 Complément au matériel et méthodes

- Sélection des sites

En 2017, les sites Cistude Nature-Sites des Sources (site des Sources), Parc Ornithologique du Teich (site du teich) et RNN de L'Etang Noir (site de L'Etang Noir) ont été définis comme sites références des zones humides dans la région Nouvelle-Aquitaine (Tab. CXXI). En 2018, ces 3 sites ont été suivis selon le protocole établi lors de l'étude préliminaire de l'année précédente (MALLARD, 2017b).

• Description des sites choisis

**Tab. CXXI. Caractéristiques des sites de suivis zones humides dans le cadre du suivi de la Cistude d'Europe.**

Dép.	Commune	Nom du site	Superficie (m2)	Statut	Propriétaire/ Gestionnaire	Accord	Structure en charge des suivis	Observateurs	Latitude	Longitude
33	Le Haillan	Cistude Nature-Sites des Sources	238 ha	N2000	Syndicat Intercommunal des Jalles de Landes à Garonne	oui	Cistude Nature	Maud Berroneau	████████	████████
33	Le Teich	Parc Ornithologique du Teich	110 ha	ZNIEFF 1		oui	Réserve Ornithologique du Teich,	Didier Leveau	████████	████████
40	Seignosse /Tosse	RNN de L'Étang noir	52 ha	ZNIEFF 1 et 2	Syndicat mixte de gestion des milieux naturels	oui	Réserve Naturelle Nationale de l'Étang Noir	Stéphanie Darbade	████████	████████

• Définition et positionnement des points d'échantillonnage

Sur le terrain, les points de piégeage de cistudes sont établis selon la méthode standard de suivi démographique par capture/marquage/recapture (PRIOL, 2009). Les instruments de piégeage sont des nasses à double-entrée géoréférencées munies d'un appât, d'un flotteur et d'une plaque d'identification. Les instruments sont placés sur les secteurs connus pour être fréquentés par les cistudes.

Les points d'échantillonnages n'ont pas été modifiés sur le Teich (MALLARD, 2017b). En revanche, sur l'Étang Noir, les points d'échantillonnages ont été augmentés et redistribués en tenant compte des succès de piégeage de l'année précédente. Pour ces sites, les nasses de l'année précédente ont été remplacées par des nasses neuves. Sur le site des Sources, la prospection s'est faite de manière active par télémétrie VHF itinérante, de sorte que la position géographique des captures ne peut être répertoriée.

Le nombre total de points d'échantillonnage est de 65 nasses, dont 25 sur le site du Teich et 40 sur l'Étang Noir (Tab. CXXII).

**Tab. CXXII. Caractéristiques des points d'échantillonnage des suivis zones humides du suivi de la Cistude d'Europe.**

Dép.	Nom du site	Dénom. transect	Longueur (en m)	Altitude (en m)	Latitude Y1	Longitude X1
33	Parc Ornithologique du Teich	1	0	0	████████	████████
33	Parc Ornithologique du Teich	2	0	0	████████	████████
33	Parc Ornithologique du Teich	3	0	0	████████	████████
33	Parc Ornithologique du Teich	4	0	0	████████	████████
33	Parc Ornithologique du Teich	5	0	0	████████	████████
33	Parc Ornithologique du Teich	6	0	0	████████	████████
33	Parc Ornithologique du Teich	7	0	0	████████	████████
33	Parc Ornithologique du Teich	8	0	0	████████	████████
33	Parc Ornithologique du Teich	9	0	0	████████	████████
33	Parc Ornithologique du Teich	10	0	0	████████	████████
33	Parc Ornithologique du Teich	11	0	0	████████	████████
33	Parc Ornithologique du Teich	12	0	0	████████	████████
33	Parc Ornithologique du Teich	13	0	0	████████	████████

  
**les sentinelles du climat**

Dép.	Nom du site	Dénom. transect	Longueur (en m)	Altitude (en m)	Latitude Y1	Longitude X1
33	Parc Ornithologique du Teich	14	0	0		
33	Parc Ornithologique du Teich	15	0	0		
33	Parc Ornithologique du Teich	16	0	0		
33	Parc Ornithologique du Teich	17	0	0		
33	Parc Ornithologique du Teich	18	0	0		
33	Parc Ornithologique du Teich	19	0	0		
33	Parc Ornithologique du Teich	20	0	0		
33	Parc Ornithologique du Teich	21	0	0		
33	Parc Ornithologique du Teich	22	0	0		
33	Parc Ornithologique du Teich	23	0	0		
33	Parc Ornithologique du Teich	24	0	0		
33	Parc Ornithologique du Teich	25	0	0		
40	RNN de L'Étang noir	1	0	10		
40	RNN de L'Étang noir	2	0	10		
40	RNN de L'Étang noir	3	0	10		
40	RNN de L'Étang noir	4	0	10		
40	RNN de L'Étang noir	5	0	10		
40	RNN de L'Étang noir	6	0	10		
40	RNN de L'Étang noir	7	0	10		
40	RNN de L'Étang noir	8	0	10		
40	RNN de L'Étang noir	9	0	10		
40	RNN de L'Étang noir	10	0	10		
40	RNN de L'Étang noir	11	0	10		
40	RNN de L'Étang noir	12	0	10		
40	RNN de L'Étang noir	13	0	10		
40	RNN de L'Étang noir	15	0	10		
40	RNN de L'Étang noir	16	0	10		
40	RNN de L'Étang noir	17	0	10		
40	RNN de L'Étang noir	18	0	10		
40	RNN de L'Étang noir	19	0	10		
40	RNN de L'Étang noir	20	0	10		
40	RNN de L'Étang noir	21	0	10		
40	RNN de L'Étang noir	22	0	10		
40	RNN de L'Étang noir	23	0	10		
40	RNN de L'Étang noir	24	0	10		
40	RNN de L'Étang noir	25	0	10		
40	RNN de L'Étang noir	26	0	10		
40	RNN de L'Étang noir	27	0	10		
40	RNN de L'Étang noir	28	0	10		
40	RNN de L'Étang noir	29	0	10		
40	RNN de L'Étang noir	30	0	10		
40	RNN de L'Étang noir	31	0	10		
40	RNN de L'Étang noir	32	0	10		
40	RNN de L'Étang noir	33	0	10		
40	RNN de L'Étang noir	34	0	10		
40	RNN de L'Étang noir	35	0	10		
40	RNN de L'Étang noir	36	0	10		
40	RNN de L'Étang noir	37	0	10		
40	RNN de L'Étang noir	38	0	10		
40	RNN de L'Étang noir	39	0	10		
40	RNN de L'Étang noir	40	0	10		

• **Méthode de relevés et détermination des espèces**

Comme en 2017, des sessions de piégeage de 5 jours, échelonnées toutes les 3-4 semaines (selon les sites), ont eu lieu de mars à septembre 2018 sur le site du Teich et de l'Etang Noir. Sur le site des Sources, les prospections actives par télémétrie VHF ont été réalisées en fonction des conditions météorologiques du moment. Toutes les cistudes adultes femelles capturées et faisant plus de 450 g étaient équipées d'un GPS miniaturisé (modifié à l'IPHC, masse finale 20 g (GEORGES & ROY, s. d.). Les GPS étaient programmés pour enregistrer, toutes les heures sans cycle de repos, la position horodatée des animaux émergés (un GPS immergé ne fournit pas d'information). Cette fréquence d'échantillonnage permet une autonomie théorique des batteries de 24 jours, compatible avec la fréquence des sessions de piégeage. Les GPS étaient remplacés lors des recaptures successives. En 2018, un émetteur VHF était également déployé pour augmenter la probabilité de recapture, comme cela avait été fait avec succès en 2017 sur le site des Sources.

• **Conditions météorologiques requises**

Compte tenu des autres missions des personnes en charge sur le terrain, les sessions de piégeage étaient planifiées en début de saison pour toute la durée de la saison, sans pouvoir préfigurer des conditions météorologiques aux dates initialement choisies. Ainsi, certaines sessions de piégeage n'ont pas bénéficié des conditions optimales (à savoir temps calme, sec, ensoleillé), en particulier au printemps du fait des fortes précipitations. Cependant, une session de piégeage peut se faire dans n'importe quelles conditions météorologiques, bien que l'efficacité des captures puisse souffrir de conditions météorologiques ventées et humides, sans que cela n'ait jamais été quantifié. Sur le site des Sources, les prospections actives par télémétrie VHF ont été réalisées lorsque les conditions météorologiques y étaient favorables (absence de précipitations).

• **Nombre de campagne de relevés**

Les pièges sont relevés individuellement tous les jours de chaque semaine de chaque session (Tab. CXXIII).

**Tab. CXXIII. Dates des suivis 2017, 2018 de zones humides dans le cadre du suivi de la Cistude d'Europe.**

Nom du site	Session	Passage 1		Observateur
		Date	Horaire	
Cistude Nature-Sites des Sources	2017_1	27/03-07/04/2017	Matin	Maud Berroneau
Cistude Nature-Sites des Sources	2017_2	24-28/04/2017	Matin	Maud Berroneau
Cistude Nature-Sites des Sources	2017_3	15-19/05/2017	Matin	Maud Berroneau
Cistude Nature-Sites des Sources	2017_4	05-09/06/2017	Matin	Maud Berroneau
Cistude Nature-Sites des Sources	2017_5	26-30/06/2017	Matin	Maud Berroneau
Cistude Nature-Sites des Sources	2017_6	17-21/07/2017	Matin	Maud Berroneau
Parc Ornithologique du Teich	2017_1	03-07/04/2017	Matin	Didier Leveau
Parc Ornithologique du Teich	2017_2	24-28/04/2017	Matin	Didier Leveau
Parc Ornithologique du Teich	2017_3	15-19/05/2017	Matin	Didier Leveau
Parc Ornithologique du Teich	2017_4	05-09/06/2017	Matin	Didier Leveau
Parc Ornithologique du Teich	2017_5	26-30/06/2017	Matin	Didier Leveau
Parc Ornithologique du Teich	2017_6	17-21/07/2017	Matin	Didier Leveau
Parc Ornithologique du Teich	2017_7	07-11/08/2017	Matin	Didier Leveau
Parc Ornithologique du Teich	2017_8	28/08-01/09/2017	Matin	Didier Leveau

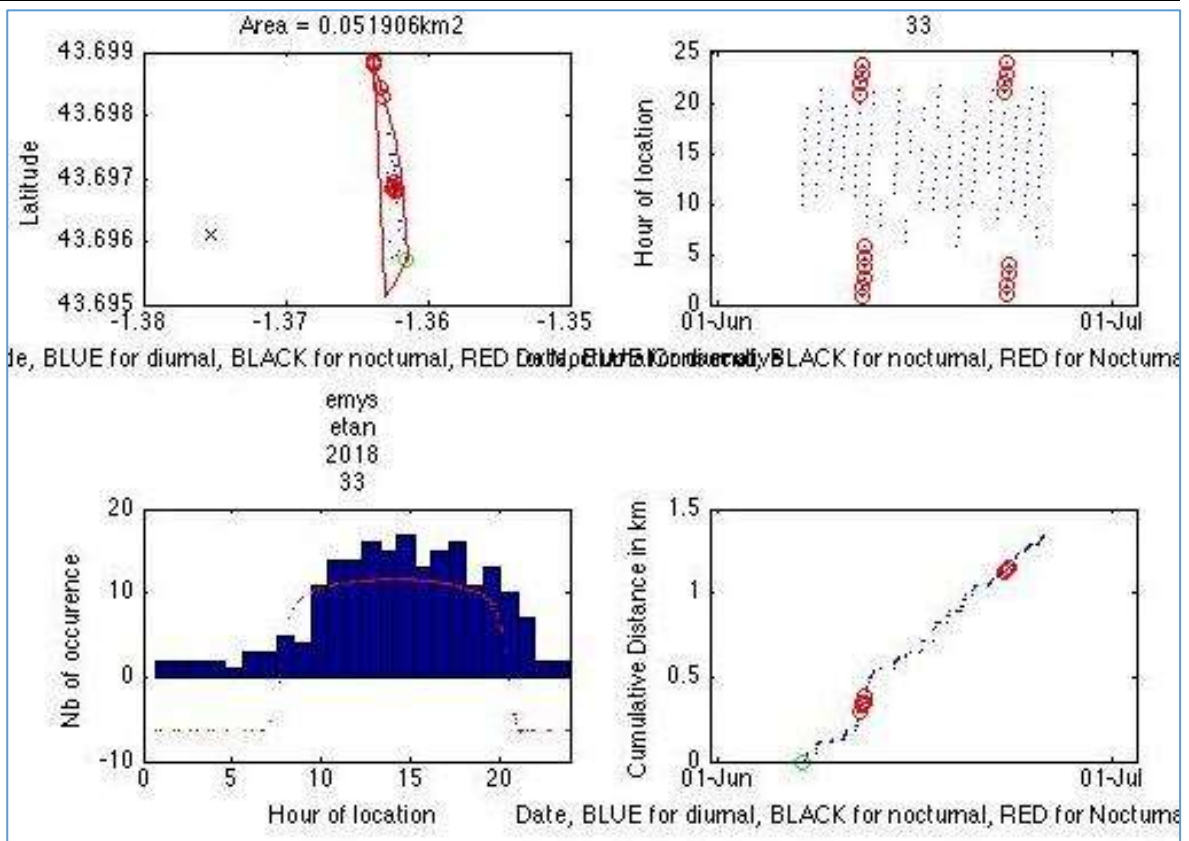
Nom du site	Session	Passage 1		Observateur
		Date	Horaire	
Parc Ornithologique du Teich	2017_9	18-22/09/2017	Matin	Didier Leveau
Parc Ornithologique du Teich	2018_1	17-20/04/2018	Matin	Didier Leveau
Parc Ornithologique du Teich	2018_2	15-18/05/2018	Matin	Didier Leveau
Parc Ornithologique du Teich	2018_3	5-12/06/2018	Matin	Didier Leveau
Parc Ornithologique du Teich	2018_4	26-29/06/2018	Matin	Didier Leveau
Parc Ornithologique du Teich	2018_5	17-20/07/2018	Matin	Didier Leveau
Parc Ornithologique du Teich	2018_6	31/07-03/08/2018	Matin	Didier Leveau
Parc Ornithologique du Teich	2018_7	12-14/08/2018	Matin	Didier Leveau
RNN de L'Etang noir	2017_1	17-21/04/2017	Matin	Stéphanie Darblade
RNN de L'Etang noir	2017_2	08-12/05/2017	Matin	Stéphanie Darblade
RNN de L'Etang noir	2017_3	19-23/06/2017	Matin	Stéphanie Darblade
RNN de L'Etang noir	2017_4	10-14/07/2017	Matin	Stéphanie Darblade
RNN de L'Etang noir	2017_5	31/07-04/08/2017	Matin	Stéphanie Darblade
RNN de L'Etang noir	2017_6	21-25/08/2017	Matin	Stéphanie Darblade
RNN de L'Etang noir	2018_1	23-27/04/2018	Matin	Stéphanie Darblade
RNN de L'Etang noir	2018_2	14-18/05/2018	Matin	Stéphanie Darblade
RNN de L'Etang noir	2018_3	04-08/06/2018	Matin	Stéphanie Darblade
RNN de L'Etang noir	2018_4	25-29/06/2018	Matin	Stéphanie Darblade
RNN de L'Etang noir	2018_5	17-20/07/2018	Matin	Stéphanie Darblade
RNN de L'Etang noir	2018_6	06-10/08/2018	Matin	Stéphanie Darblade
RNN de L'Etang noir	2018_7	10-14/09/2018	Matin	Stéphanie Darblade

- **Fiche de relevés**

Aucun ajustement de la fiche de relevés 2017 n'a été réalisé (MALLARD, 2017b).

- **Analyses mécanistiques et statistiques**

A l'instar de l'année précédente, les données GPS brutes ont été analysées à l'aide d'une boîte à outils développée sous Matlab® (Georges, non publié) : l'analyse permet, dans le cadre de cette étude, de nettoyer les données GPS, retirer les outliers, reconstruire les déplacements des individus, calculer la distance parcourue et le domaine vital et identifier les événements de ponte probable (horodatés et localisés) en considérant que les positions nocturnes sont, chez les femelles adultes, potentiellement associées à un comportement de ponte (Fig. 314).



**Fig. 314. Exemple de sortie de calculs issus de l'analyse des données GPS pour le suivi zones humides dans le cadre du suivi de la Cistude d'Europe.**

Dans le sens des aiguilles d'une montre à partir du haut gauche : positions GPS nettoyées, heure d'acquisition des données GPS brutes en fonction de la date, nombre horaire des de données GPS brutes en fonction de l'heure de la journée (en rouge, hauteur du soleil par rapport à l'horizon, unités arbitraires), distance cumulée en fonction de la date. Légende couleur : croix noire=local technique, point vert=donnée initiale, point bleu=donnée GPS, cercle rouge=donnée GPS nocturne.

Les résultats étaient calculés par individu et moyennés pour chaque population et pour chaque année. Les comparaisons de moyennes entre sites étaient faites à partir de test-t ou d'ANOVA suivie le cas échéant de tests post-hoc de Tukey. La significativité était établie à p=5%.

## 6.11.2 Résultats exploratoires

### • Indice d'abondance

Les sessions de piégeage menées en 2017 et 2018 ont permis d'estimer les populations à 93 cistudes sur le Teich (18 femelles, 41 mâles, 34 immatures/indéterminés) et 44 cistudes sur l'Etang Noir (14 femelles, 16 mâles, 14 immatures/indéterminés). Les suivis de 2017 avaient permis de contacter 50 cistudes sur le Teich et 19 cistudes sur l'Etang Noir. En 2018, 34 et 14 de ces individus ont été recapturés sur le Teich et l'Etang Noir, soit un taux de recapture respectif de 70% et 74%. Les suivis de 2018 ont donc permis de contacter 43 nouveaux individus sur le Teich et 25 nouveaux individus sur l'Etang Noir (Tab. CXXIV).

**Tab. CXXIV. Nombre d'individus capturés et nouvellement identifiés en fonction des sites de zones humides dans le cadre du suivi de la Cistude d'Europe.**

Nom des sites	Session	Nb_ind. capturés	Nb_ind_nouveaux
Parc Ornithologique du Teich	2017_1	11	1
Parc Ornithologique du Teich	2017_2	9	4
Parc Ornithologique du Teich	2017_3	16	8
Parc Ornithologique du Teich	2017_4	21	5
Parc Ornithologique du Teich	2017_5	20	3
Parc Ornithologique du Teich	2017_6	13	2
Parc Ornithologique du Teich	2017_7	3	0
Parc Ornithologique du Teich	2017_8	4	1
Parc Ornithologique du Teich	2018_1	14	6
Parc Ornithologique du Teich	2018_2	18	0
Parc Ornithologique du Teich	2018_3	11	2
Parc Ornithologique du Teich	2018_4	14	3
Parc Ornithologique du Teich	2018_5	11	2
Parc Ornithologique du Teich	2018_6	30	11
Parc Ornithologique du Teich	2018_7	7	5
RNN de L'Etang noir	2017_1	3	3
RNN de L'Etang noir	2017_2	5	5
RNN de L'Etang noir	2017_3	7	6
RNN de L'Etang noir	2017_4	4	2
RNN de L'Etang noir	2017_5	4	1
RNN de L'Etang noir	2017_6	1	0
RNN de L'Etang noir	2017_7	1	1
RNN de L'Etang noir	2018_1	12	5
RNN de L'Etang noir	2018_2	14	4
RNN de L'Etang noir	2018_3	19	8
RNN de L'Etang noir	2018_4	18	4
RNN de L'Etang noir	2018_5	11	4
RNN de L'Etang noir	2018_6	8	1

### • Indice de taille corporelle

La taille des individus capturés, exprimée en longueur de carapace et en masse corporelle, ne présente pas de différence notable entre années pour chaque site. En revanche, les individus du Teich sont globalement plus petits et plus légers que les individus de l'Etang Noir. Pour les deux sites, le dimorphisme sexuel est bien exprimé, les femelles étant 1.7 à 1.9 plus lourdes que les mâles. Pour chaque site et chaque sexe, les effectifs comptent plusieurs individus identiques d'une année à l'autre, limitant à ce stade une approche statistique plus complète (Tab. CXXV).

**Tab. CXXV. Taille corporelle moyenne des individus capturés en fonction des sites de zones humides dans le cadre du suivi de la Cistude d'Europe.**

Nom des sites	Année	Sexe	Nb ind (Nb individus communs 2017-2018)	Longueur dossière (mm)	Masse corporelle (g)
Parc Ornithologique du Teich	2017	F	12	136±24	692±198
Parc Ornithologique du Teich	2018	F	15 (6)	151±14	638±168
Parc Ornithologique du Teich	2017	M	31	126±13	331±84
Parc Ornithologique du Teich	2018	M	42 (22)	129±12	355±95
RNN de L'Etang noir	2017	F	8	155±12	757±146
RNN de L'Etang noir	2018	F	11 (4)	152±13	723±177
RNN de L'Etang noir	2017	M	5	140±11	418±72
RNN de L'Etang noir	2018	M	16 (5)	143±10	450±63

### • Déploiements de GPS

Afin de satisfaire la règle des 5% en deçà desquels est estimé comme négligeable l'éventuel dérangement lié à la pose du matériel sur la carapace, seules les femelles de plus de 450g ont été équipées de GPS (complété par un émetteur VHF en 2017 sur le site des Sources et en 2018 sur les 3 sites).

Au total, 17 femelles (5, 6 et 6 femelles sur les sites des Sources, du Teich et de L'Etang Noir, respectivement) ont été équipées et recapturées, dont 5 (2 sur le Teich, 3 sur l'Etang Noir) ont été suivies en 2017 et 2018. Le suivi de 2018 a permis de récupérer deux individus (identifiés par un \* dans la table ci-dessous) qui n'avaient pas été recapturés en 2017. Parmi les 51 GPS utilisés à ce jour, 15 sont encore déployés (4, 5 et 6 unités sur les sites des Sources, du Teich et de L'Etang Noir, respectivement) (Tab. CXXVI).

Les cistudes présentent le plus grand domaine vital et parcourent de plus longues distances sur l'Etang Noir (0,115 km<sup>2</sup> et 2,76 km, respectivement) que sur le site des Sources (0,068 km<sup>2</sup> et 2,83 km) ou que sur le Teich (0,012 km<sup>2</sup> et 0,69 km). Cependant, le domaine exploité par les cistudes a diminué de moitié sur l'Etang Noir entre 2017 et 2018 (respectivement 0,148 km<sup>2</sup> à 0,088 km<sup>2</sup>) alors qu'il a quintuplé sur le Teich dans le même temps (de 0,005 km<sup>2</sup> à 0,024 km<sup>2</sup>). Les données de télémétrie 2018 ne sont pas disponibles pour le site des Sources (Tab. CXXVI).

**Tab. CXXVI. Bilan du suivi télémétrique par GPS et utilisation de l'habitat en fonction des sites de zones humides dans le cadre du suivi de la Cistude d'Europe.**

Nom des sites	Année	ID	Nb_GPS_ déployés	Début	Fin	Durée (j)	Interruption (j)	Nb_loc_ GPS	DistCumulée (km)	Domaine (km <sup>2</sup> )
Cistude Nature-Site des Sources	2017	33	2	29/03/17	18/07/17	111,1		602	3,43	0,21
Cistude Nature-Site des Sources	2017	56	2	07/04/17	07/06/17	61,3		490	2,28	0,02
Cistude Nature-Site des Sources	2017	58	1	19/05/17	21/06/17	33,1		479	2,05	0,03
Cistude Nature-Site des Sources	2017	70	3	29/03/17	28/07/17	120,9		1636	2,57	0,02
Cistude Nature-Site des Sources	2017	102	1	16/05/17	27/06/17	41,6		672	3,81	0,06
Parc Ornithologique du Teich	2017	7	1	20/06/17	15/07/17	24,7	-	169	0,34	0,004
Parc Ornithologique du Teich	2017	18*	1	02/06/17	08/07/17	35,5	-	248	0,62	0,003
Parc Ornithologique du Teich	2017	212	1	12/04/17	26/05/17	43,8	-	379	0,75	0,012



Nom des sites	Année	ID	Nb_GPS_ déployés	Début	Fin	Durée (j)	Interruption (j)	Nb_loc_ GPS	DistCumulée (km)	Domaine (km <sup>2</sup> )
Parc Ornithologique du Teich	2017	231	2	11/04/17	09/06/17	59,2	0	480	0,73	0,002
Parc Ornithologique du Teich	2017	250	1	21/06/17	17/07/17	25,9	-	126	0,49	0,004
Parc Ornithologique du Teich	2018	18	1	21/04/18	18/05/18	27,3	-	317	0,53	0,001
Parc Ornithologique du Teich	2018	222	1	17/04/18	14/05/18	27,2	-	267	1,17	0,005
Parc Ornithologique du Teich	2018	250	1	29/06/18	20/07/18	21,2	-	112	0,89	0,065
RNN de L'Étang noir	2017	3	2	19/04/17	11/07/17	83,2	24	569	3,62	0,179
RNN de L'Étang noir	2017	8	1	11/05/17	12/06/17	32,2	-	396	3,17	0,114
RNN de L'Étang noir	2017	12	1	01/06/17	13/07/17	41,6	-	196	2,88	0,146
RNN de L'Étang noir	2017	13*	1	02/06/17	20/07/17	48,3	-	291	2,46	0,152
RNN de L'Étang noir	2018	3	1	27/04/18	08/06/18	41,93	-	368	2,27	0,081
RNN de L'Étang noir	2018	12	2	16/05/18	27/06/18	42,34	0,05	653	3,12	0,061
RNN de L'Étang noir	2018	13	3	27/04/18	05/06/18	38,97	0,27	425	3,14	0,153
RNN de L'Étang noir	2018	17	1	25/04/18	05/06/18	40,97	-	366	2,84	0,093
RNN de L'Étang noir	2018	33	1	07/06/18	25/06/18	18,46	-	200	1,34	0,052

### • Indices de reproduction

Les GPS fournissent des données lorsqu'ils sont émergés. Ainsi, les données GPS nocturnes obtenues sur une période ininterrompue peuvent être attribuées, chez les femelles, à un comportement de prospection de site de ponte, de tentative de ponte ou de ponte probable, dont la position peut être estimée avec une moyenne et une erreur (GEORGES & ROY, s. d.). La distinction entre prospection, tentative et ponte probable se fait selon 2 critères principaux : une ponte a plus probablement lieu après des tentatives de ponte durant les nuits précédentes, et une ponte ne peut avoir lieu dans l'eau (identifiée à partir des cartes habitats). Une ponte ainsi identifiée est souvent suivie de plusieurs heures sans données GPS, suggérant une phase de repos immergée.

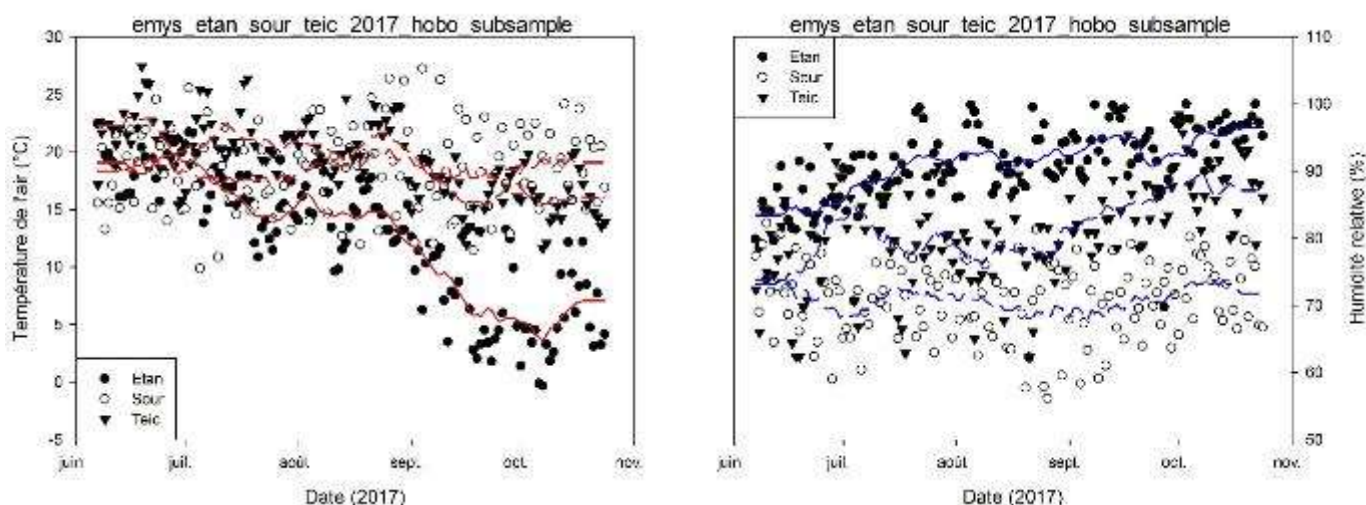
Parmi les 17 cistudes suivies par GPS, l'absence de données nocturnes chez 2 d'entre elles (Teich 212 et Teich 250) suggère qu'elles n'ont pas pondu et 4 autres individus présentent des périodes de plusieurs [jours+nuits] successives continuellement émergées qui empêchent l'interprétation des données et l'identification d'un éventuel événement de ponte. Pour les autres individus, les pontes ont été identifiées entre le 21 avril et le 9 juillet 2017 et entre le 26 avril et le 2 juillet 2018, sans distinction notable entre les sites ni entre les années. En 2017, parmi les 10 cistudes identifiées comme ayant pondu, 4 ont pondu 1 fois et 6 ont pondu 2 fois, avec un intervalle inter-ponte de  $27,5 \pm 11,0$  j. Parmi les 7 cistudes identifiées comme ayant pondu en 2018, 3 ont pondu 1 fois, 1 ou 2 ont pondu 2 fois et 2 ou 3 ont pondu 3 fois, avec un intervalle inter-ponte de  $14,8 \pm 2,6$  j (Tab. CXXVII).

**Tab. CXXVII. Dates et positions de pontes estimées par télémétrie GPS en fonction des sites de zones humides dans le cadre du suivi de la Cistude d'Europe.**

Nom des sites	Année	ID	Taille (cm)	Date	Latitude (°)	Longitude (°)
Cistude Nature-Site des Sources	2017	33**	143	21/06/17		
Cistude Nature-Site des Sources	2017	33**	143	09/07/17		
Cistude Nature-Site des Sources	2017	56	160	?		
Cistude Nature-Site des Sources	2017	58**	145	28/05/17		
Cistude Nature-Site des Sources	2017	58**	145	14/06/17		
Cistude Nature-Site des Sources	2017	70**	144	18/05/17		
Cistude Nature-Site des Sources	2017	70**	144	01/07/17		
Cistude Nature-Site des Sources	2017	102	144	?		
Parc Ornithologique du Teich	2017	7	153	21/06/17		
Parc Ornithologique du Teich	2017	18	152	06/07/17		
Parc Ornithologique du Teich	2017	212	154	-		
Parc Ornithologique du Teich	2017	231**	145	21/04/17		
Parc Ornithologique du Teich	2017	231**	145	29/05/17		
Parc Ornithologique du Teich	2017	250	146	-		
Parc Ornithologique du Teich	2018	18	152	26/04/18		
Parc Ornithologique du Teich	2018	222		07/05/18		
Parc Ornithologique du Teich	2018	250	152	02/07/18		
RNN de L'Étang noir	2017	3**	164	29/04/17		
RNN de L'Étang noir	2017	3**	164	22/05/17		
RNN de L'Étang noir	2017	8	162	22/05/17		
RNN de L'Étang noir	2017	12	140	10/06/17		
RNN de L'Étang noir	2017	13**	162	07/06/17		
RNN de L'Étang noir	2017	13**	162	02/07/17		
RNN de L'Étang noir	2018	3***	164	05/05/18		
RNN de L'Étang noir	2018	3***	164	22/05/18		
RNN de L'Étang noir	2018	3***	164	07/06/18		
RNN de L'Étang noir	2018	12**(*)	143	26/05/18		
RNN de L'Étang noir	2018	12**(*)	143	09/06/18		
RNN de L'Étang noir	2018	12**(*)	143	?		
RNN de L'Étang noir	2018	13	164	?		
RNN de L'Étang noir	2018	17***	177	02/05/18		
RNN de L'Étang noir	2018	17***	177	20/05/18		
RNN de L'Étang noir	2018	17***	177	02/06/18		
RNN de L'Étang noir	2018	33**	162	11/06/18		
RNN de L'Étang noir	2018	33**	162	22/06/18		

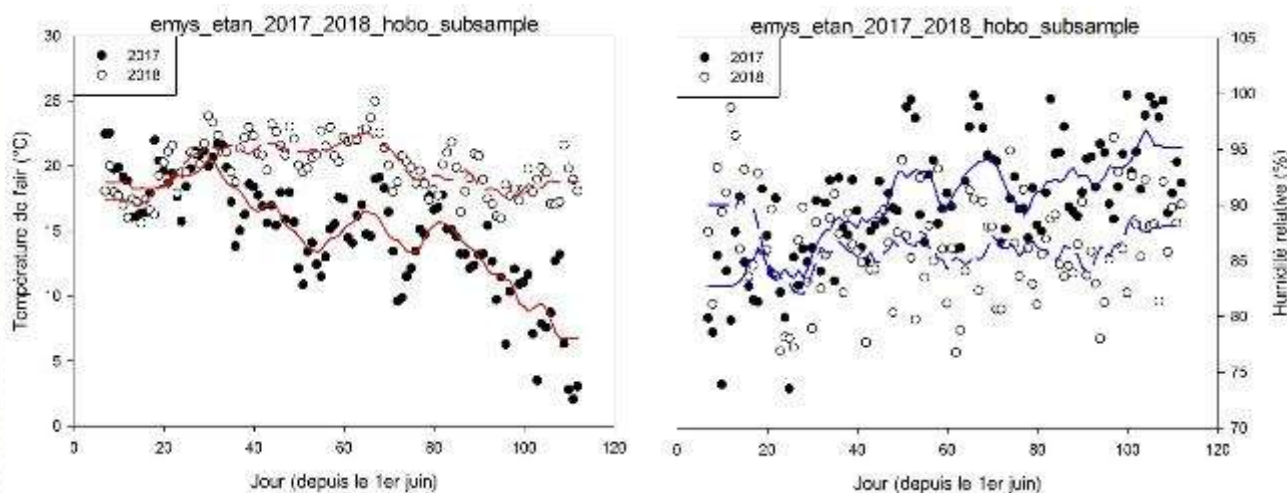
• **Conditions météorologiques**

Les données météorologiques sont disponibles pour les trois sites validés sur la période commune du 7 juin au 24 octobre 2017. Sur cette période commune, la température de l'air moyenne présentait des différences significatives entre les sites (ANOVA :  $F=93,1$ ,  $P<0,0001$ ). Un test post-hoc indique que si la température de l'air des sites des Sources et du Teich ne différaient pas significativement (test de Tukey :  $P=0,367$ ), mais qu'elle était significativement plus chaude d'environ 6°C que l'Étang Noir (test de Tukey :  $P<0,0001$  dans les deux cas). L'humidité relative moyenne présentait également des différences significatives entre sites (ANOVA :  $F=340,2$ ,  $P<0,001$ ). Un test post-hoc indique que les trois sites diffèrent significativement (test de Tukey :  $P<0,0001$  dans tous les cas), avec par ordre croissant d'humidité les Sources, Le Teich et l'Étang Noir (Fig. 315).



**Fig. 315.** Conditions météorologiques moyennes (température de l'air en rouge, humidité en bleu) sur la période commune 7 juin-24 octobre 2017 sur les sites d'étude validés pour le suivi zones humides dans le cadre du suivi de la Cistude d'Europe.

Par ailleurs, les conditions météorologiques sont disponibles pour L'Etang Noir sur une période commune (du 7 juin au 20 septembre) de 2017 et de 2018. Sur cette période commune, la température de l'air moyenne présentait des différences significatives entre les deux années, 2018 étant significativement plus chaude (en moyenne de 4,9°C) que 2017 (t-test,  $P < 0,0001$ ). L'humidité relative moyenne présentait également des différences significatives entre les deux années, 2018 étant 4% moins humide que 2017 (t-test,  $P < 0,0001$ ). Les données météorologique 2018 ne sont pas disponibles pour le site du Teich (Fig. 316).



**Fig. 316.** Conditions météorologiques moyennes (température de l'air en rouge, humidité en bleu) sur la période commune 7 juin-20 septembre en 2017 et 2018 sur le site d'étude RNN de L'Etang noir validés pour le suivi zones humides dans le cadre du suivi de la Cistude d'Europe.

### 6.11.3 Discussion

- Validation des sites de suivis des sentinelles du climat

Les résultats de ces deux premières années de suivi sur le Teich et l'Etang Noir confirment la pertinence et la validité de ces sites dans le suivi zones humides dans le cadre du suivi de la Cistude d'Europe. D'une part, ces sites présentent, pour une même année, des conditions météorologiques contrastées (Fig. 315). D'autre part, ces sites présentent une variabilité interannuelle prononcée des conditions météorologiques (Fig. 316 pour l'Etang Noir), illustrative des conséquences possibles du changement climatique tel qu'il est prédit par les modèles actuels (LE TREUT, 2013). Enfin, ces sites offrent la possibilité de suivis longitudinaux de Cistude d'Europe sur plusieurs années consécutives à partir de notre protocole, ce qui permet d'étudier à une échelle temporelle pertinente l'impact des changements climatiques à l'échelle individuelle, et par extension à l'échelle de la population (voir § perspectives). Les sites du Teich et de l'Etang Noir constituent ainsi des sites de référence pour la poursuite du programme les sentinelles du climat. Le site des Sources, bien qu'ayant souffert d'un manque de suivi en 2018, contribue à illustrer cette diversité de conditions environnementales à l'échelle de la Nouvelle-Aquitaine pour le suivi zones humides. Le site des Sources doit bénéficier d'un effort pour être maintenu à l'avenir.

Bien que le nombre d'individus suivis par télémétrie GPS reste réduit en 2017 et 2018 (mais voir § perspectives), les données GPS apportent des éléments de réponse à nos hypothèses. D'une part, concernant la phénologie de la reproduction, la période de pontes a été identifiée pour les 3 sites confondus, entre le 21 avril et le 9 juillet 2017 et entre le 26 avril et le 2 juillet 2018. Il semble donc qu'il existe une certaine constance dans les dates de début et fin de ponte indépendamment des conditions météorologiques enregistrées entre les sites et entre les années. En revanche, le nombre de pontes par femelle présente de fortes variations entre sites et entre années. En 2017, le site des Sources était le plus productif des 3 sites, les femelles effectuant majoritairement des double-pontes, suivi de l'Etang Noir où les femelles ont pondu équitablement 1 ou 2 fois alors que sur le Teich, les femelles ont pondu majoritairement une seule fois (MALLARD, 2017b). Lors de l'année 2018 particulièrement chaude à l'Etang Noir (données non disponibles pour les autres sites), 3 des 4 femelles suivies ont pondu 3 fois, la dernière ayant fait une double-ponte. Il semble donc que conformément à notre hypothèse, l'effort de reproduction augmenterait avec la température ambiante (conformément à Joos *et al.*, (2017). Le fait que les femelles réalisent plus de pontes en 2018 qu'en 2017 alors que les périodes de ponte ont la même durée peut s'expliquer par le fait que l'intervalle entre deux pontes successives diminue de moitié entre 2017 et 2018. Cette diminution notable de la durée de l'intervalle inter-ponte pourrait être illustrative de la physiologie ectotherme de la cistude (en l'occurrence un développement embryonnaire plus rapide en conditions chaudes, conformément à Christie & Geist (2017) directement impactée par la température ambiante. Ces résultats constituent une explication mécanistique des patrons annuels de la phénologie de la reproduction observés chez la Cistude d'Europe en Nouvelle-Aquitaine.

D'autre part, concernant l'écologie et l'utilisation de l'habitat, les domaines vitaux et l'activité de prospection horizontale montrent des différences notables entre les sites et entre années. Ainsi, les femelles de l'Etang Noir ont réduit leur domaine vital de moitié entre 2017 et 2018, alors qu'elles ont maintenu une activité de prospection horizontale moyenne stable. Ces résultats contradictoires peuvent s'expliquer par le fait qu'en 2018 certaines femelles ont effectué de très longues incursions dans les terres durant la période de prospection d'un site favorable à la ponte. A l'inverse, les femelles du Teich ont plus que doublé leur domaine vital entre 2017 et 2018, ainsi que leur activité de prospection horizontale. Sur le Teich, les cistudes n'ont accès qu'à des points d'eau douce de petite taille dans un

vaste marais saumâtre à salé, ce qui les contraint habituellement à rester confinées sur les points d'eau douce. Ainsi en 2018, les fortes pluies enregistrées jusqu'en juin (Didier Leveau, communication personnelle) auraient conduit à une désalinisation globale de l'ensemble du site du Teich, ce qui semble avoir permis aux cistudes une plus grande dispersion. Sur l'Étang Noir, il semblerait que les cistudes aient été confrontées à une diminution notable des habitats favorables suite aux fortes chaleurs de 2018, alors que sur le Teich, les fortes pluies hivernales ayant perduré jusqu'en juin 2018 ont ouvert des habitats favorables. Si ces premiers résultats rendent une conclusion confuse par rapport à nos hypothèses, ils sont en accord avec notre prédiction selon laquelle la répartition spatiale des Cistude d'Europe est affectée par les conditions météorologiques de l'année illustratives des conséquences attendues du changement climatique.

• **Etat de référence des sites de suivis**

Cette étude montre une variabilité annuelle prononcée des conditions météorologiques, 2018 étant significativement plus chaude et plus sèche que 2017 en saison estivale. De telles différences peuvent être considérées comme illustratives des conséquences attendues du changement climatique (LE TREUT, 2013) : réchauffement estival. L'année 2017 semble donc représenter « l'état de référence », auquel peuvent être associés différents paramètres liés à la phénologie, à la physiologie et à l'écologie de la Cistude d'Europe (Tab. CXXVIII).

**Tab. CXXVIII.** « Etat de référence » des sites de zones humides dans le cadre du suivi de la Cistude d'Europe.

Nom des sites	Saison de ponte	Effort de ponte (pontes/femelle/an)	Intervalle interponte (j)	Domaine vital (km <sup>2</sup> )	Prospection horizontale (m/j)
Cistude Nature-Site des Sources	18 mai-9 juillet	2,0	27	0,070	50
Parc Ornithologique du Teich	21 avril-6 juillet	1,33		0,005	15
RNN de L'Étang noir	29 avril-2 juillet	1,5		0,150	70

• **Complément et ajustement de la méthode de suivi**

En 2018, 3 ajustements majeurs ont bénéficié aux suivis : l'emploi d'émetteurs VHF pour localiser les animaux avant la pose des pièges, l'emploi de pièges neufs et leur redistribution sur les zones les plus profitables identifiées en 2017. Ces ajustements ont probablement contribué à l'augmentation notable de captures de nouveaux individus et aux bons taux de recapture d'une année sur l'autre alors que l'effort de piégeage n'a pas été modifié. Cependant, les VHF semblent plus profitables sur le Teich que sur l'Étang Noir, où le milieu particulièrement impénétrable limite la pose des pièges aux berges de l'étang. En 2019, les émetteurs VHF non utilisés sur l'Étang Noir seront redistribués sur les autres sites. Sur le site des Sources, les conditions exceptionnelles de 2018 (niveau d'eau très bas et disponibilité des agents) n'ont pas permis de renouveler les bons résultats obtenus en 2017. Un effort doit être mis en place sur le site des Sources pour maintenir ce site de référence.

• **Evaluation de l'effort d'échantillonnage**

Le nombre de points d'échantillonnages (65 pièges sur les sites du Teich et de l'Étang Noir) et la fréquence des sessions (toutes les 3 à 4 semaines selon les sites) semblent adaptés pour mener un suivi régulier des cistudes et atteindre les objectifs de l'étude. Pour rappel, 2 individus équipés mais non recapturés à la fin de la saison 2017 (donc sans VHF) l'ont été en début de saison 2018 : ceci a permis d'actualiser les résultats de 2017 et de maintenir les effectifs pour 2018. Cependant, les effectifs restent encore limités, du fait de la contrainte liée à la masse des GPS qui impose de ne travailler que



sur des individus de plus de 450 g. L'emploi d'unités plus légères permettra d'équiper des individus plus petits et ainsi augmenter les effectifs sans modifier le protocole validé au cours de ces deux années.

- Perspectives de suivis

- validation de l'analyse GPS par l'accélérométrie : l'identification des évènements de ponte à partir des positions GPS nocturnes souffre de deux limites : d'une part technique (l'autonomie des batteries n'est que de 4 semaines et ne couvre pas les 3 mois de la période de ponte) et d'autre part d'interprétation (pour 5 des 22 individus équipés sur 2 ans, l'analyse des données GPS seules n'a pas permis d'attribuer de ponte). Nous proposons de pallier aux limites de la méthode GPS en la combinant à une méthode récente basée sur l'accélérométrie embarquée. Un accéléromètre permet d'enregistrer automatiquement, sur plusieurs mois et à très fine échelle (de l'ordre de la seconde), tous les mouvements des animaux tels que la nage, la marche ou encore le creusement d'un nid (MARCHAND & GEORGES, soumis). En déployant simultanément un GPS et un accéléromètre, il est donc possible de confronter les interprétations issues des deux méthodes, trouver des solutions aux interprétations délicates des données GPS et *in fine* valider la méthode de détection des dates de ponte par GPS. En début de saison 2019, nous déploierons donc des accéléromètres ultraminiaturisés sur les femelles également équipées de GPS. Ces accéléromètres seront récupérés à la fin de la saison de ponte (juillet 2019) pour permettre l'analyse séparée puis combinée des données GPS et accélérométriques.

- identification des dates de fin et début de la saison d'activité : les accéléromètres ayant une taille très réduite (<10 g) pour une autonomie de 12 mois, ils peuvent être déployés sur des animaux sans limite de taille et de temps, contrairement aux GPS. Ceci permet d'augmenter le nombre d'animaux suivis (en ciblant des individus de taille < 450 g) pour atteindre l'objectif initial de 15 individus par site et ainsi donner à notre étude une échelle populationnelle. Ainsi, en priorité, les accéléromètres récupérés en juillet 2019 seront remplacés par d'autres unités qui seront déployées jusqu'à la saison suivante. Les accéléromètres excédentaires seront déployés sur des animaux supplémentaires. Les données ainsi collectées permettront d'établir la date d'entrée et de sortie d'hivernage sur une quinzaine d'individus supplémentaires, d'établir les liens avec les conditions environnementales (température de l'air et de l'eau obtenue par les stations météorologiques du programme les sentinelles du climat et par les accéléromètres, respectivement).

- Liée à la poursuite attendue du réchauffement, une augmentation de la température d'incubation des œufs est prédite, conduisant à la féminisation des populations (PIEAU, 1975) ; des enregistreurs de température seront enfouis à une profondeur équivalente à celle des nids de cistude sur les principaux sites de ponte localisés par GPS. Le régime de température auquel sont confrontées les pontes sera ainsi établi pour chaque site pour estimer la sex-ratio à partir de la biologie connue de l'espèce (PIEAU, 1975).

- **Perspectives d'analyses mécanistiques et statistiques**

Comme énoncé précédemment, l'étude souffre à ce stade d'effectifs limités qui seront complétés à 15 individus par site grâce à l'utilisation d'accéléromètres plus légers que les GPS. De plus, l'étude étant basée sur un suivi longitudinal incomplet (tous les individus suivis en 2017 n'ont pas été systématiquement suivis en 2018), nous sommes confrontés à un cas particulier de pseudoréplication. Cependant, l'amélioration de la méthode d'échantillonnage constatée en 2018 et l'augmentation des effectifs par l'utilisation d'accéléromètres ultra-miniaturisés préfigurent de meilleurs résultats dès l'année prochaine.

Le déploiement d'accéléromètres permettra par ailleurs de définir avec précision les dates de début et fin de la saison d'activité des cistudes en Nouvelle-Aquitaine. Cette information permettra d'établir les liens possibles entre phénologie et conditions environnementales (mesurée par les stations météorologiques du programme les sentinelles du Climat). La prise en compte de ces derniers est essentielle pour parvenir aux objectifs de l'étude.