

**Programme « les sentinelles du climat » : protocole de suivis des effets du changement climatique sur la biodiversité en région Nouvelle-Aquitaine – cas d'étude : les lépidoptères de la lande humide de Brousteyrot (Réserve Naturelle Géologique de Saucats-La Brède, France)**

**Climate sentinels program: monitoring protocol of the effects of climate change on biodiversity in the New Aquitaine region - case study: lepidoptera of wet heaths in the Brousteyrot site (the Geological Reserve of Saucats-La Brède, France)**

Fanny MALLARD

Association Cistude Nature, Chemin du Moulinat, F - 33185 Le Haillan  
[fanny.mallard@cistude.org]

&

Sandy BULTÉ

Association Cistude Nature, Chemin du Moulinat, F - 33185 Le Haillan  
[sandy.bulte@cistude.org]

**Résumé** - La mise en place de protocoles de suivis standardisés à long terme par des indicateurs climatiques et biologiques est nécessaire pour la modélisation de projections des impacts du changement climatique sur l'état de la biodiversité. Sur le territoire de la région Nouvelle-Aquitaine, une vingtaine d'indicateurs « sentinelles du climat » ont été développés dont le cortège des lépidoptères répertorié comme indicateurs pertinents des landes humides. En pratique, l'observation exhaustive des espèces de lépidoptères ne peut pas être réalisée. Elle est ainsi remplacée par des échantillonnages dont l'effort d'observation associé est estimé par un taux de couverture calculé à partir du profil de diversité déduit du dénombrement en particulier des singletons. Dans le cas d'étude de la lande de Brousteyrot, le profil de diversité correspond au cumul des observations de mai à août 2017 sur le parcours de 4 transects de 200 m (118 individus, 16 espèces). Le taux de couverture de 92 % est inférieur à un seuil utilisé classiquement en statistique de 95 %. Afin d'améliorer l'effort d'échantillonnage, le nombre de suivis en 2018 a été augmenté à un tous les 15 jours, soit 8 passages entre mai et août. Les graphiques des profils de diversité en fonction de q (nombre de Hill) peuvent être ensuite résumés par 6 paramètres. Sur plusieurs années de suivis, ces données de lissage sont des éléments qui peuvent être comparés pour un même site, dans le temps, par rapport aux variations climatiques, et analysés entre plusieurs sites de même nature, par exemple les landes humides.

**Mots-clés** - Abondance, changement climatique, effort d'échantillonnage, lépidoptères, lande humide, nombre de Hill, profil de diversité, protocole, taux de couverture, La Brède (Gironde).

**Abstract** - The long-term standardized monitoring protocols for climate by biological indicators is necessary for modeling projections of the impacts of climate change on the state of biodiversity.

In the territory of the New Aquitaine region (southwest, France), around 20 "sentinel climate" indicators have been developed, including Lepidoptera, which are listed as relevant indicators of wet heaths. In practice, the exhaustive observation of lepidoptera species can not be carried out. It is replaced by samplings whose associated observation effort is estimated by the coverage rate calculated from the diversity profile, in particular singletons. In the case of the Brousteyrot wet heaths, the diversity profile corresponds to the cumulative observations from May to August 2017 on the 4 transects of 200 m (118 individuals, 16 species). The coverage rate of 92 % is lower than a threshold conventionally one used in statistics of 95 %. In order to improve the sampling effort, the number of observations in 2018 has been increased every 15 days, or 8 passages between May and August. Then, the graphs of the diversity profiles function of  $q$  (Hill number) can be summarized by 6 parameters. Over several years of monitoring, these smoothing data are elements that can be compared for the same site, in time, with climatic variations, and analysed between several sites of the same nature, for example wet heaths.

**Keywords** - Abundance, climate change, sampling effort, Lepidoptera, wet heath, Hill number, diversity profile, protocol, coverage rate, La Brède (Gironde).

## Introduction

La compréhension des effets locaux du changement climatique sur la biodiversité est essentielle pour orienter les politiques environnementales et la gestion des espaces naturels.

Le constat du manque de connaissances sur le couplage entre changement climatique et biodiversité au niveau régional a conduit à développer un programme de recherche « les sentinelles du climat » (2016-2021). L'hypothèse principale du programme est que les effets sur la biodiversité sont particulièrement détectables chez des espèces ou groupes d'espèces qui ont de faibles capacités de déplacements. Ces espèces dites « sentinelles du climat » seraient les premières à répondre aux variations climatiques locales par adaptation ou par extinction locale (MALLARD, 2016a, 2017a).

La région Nouvelle-Aquitaine est un contexte géographique intéressant. Elle est exposée à l'évolution du climat et elle offre une grande variété de milieux naturels : dunaires, secs, humides, montagnards. Parmi ceux-ci, les habitats de **landes humides** seraient particulièrement sensibles au changement climatique (épisodes de sécheresses et canicules) (LE TREUT, 2013). Ces végétations pourraient se raréfier, voire disparaître, au profit de landes plus sèches et de communautés moins oligotrophiles. Certaines espèces de lépidoptères sont spécifiquement liées à des végétations inféodées à ces milieux (MALLARD, 2016b). Les lépidoptères sont répertoriés pour être des indicateurs pertinents du changement climatique (WILSON & MACLEAN, 2011).

Pour étudier la réponse spatio-temporelle des indicateurs du programme, environ 300 sites ont été choisis selon une répartition spatialement équilibrée à travers la Nouvelle-Aquitaine et avec un bon état de conservation qui sera maintenu dans le temps, permettant de dissocier les effets du changement climatique des autres facteurs anthropiques sur les réponses de la biodiversité (MALLARD, 2016b, 2017b). Parmi les 13 sites de landes humides choisis, **la lande humide de Brousteyrot** à végétations hygrophiles à mésohygrophiles à Molinie et à *Erica tetralix* a été sélectionnée comme cas d'étude sur la base des connaissances et expertises de la Réserve Naturelle Nationale Géologique (RNG) de Saucats-La Brède (**Fig. 1**) ; elle est située sur la commune de La Brède. Une première campagne de terrain en 2016 a permis la mise en place et le test des protocoles de suivis des espèces. Ils seront ajustés et optimisés jusqu'en 2021 pour fournir des suivis scientifiques robustes à long terme.

Cet article présente une description synthétique du protocole du suivi des lépidoptères. Il mentionne des résultats des campagnes d'observation de 2017. Il aborde l'évaluation de la qualité de l'échantillonnage, les perspectives de suivis et d'analyses associés, plus précisément sur le cas d'étude de la lande de Brousteyrot.

## 1- Matériel et méthode

### 1.1- Méthode de relevé des espèces

La méthodologie de comptage des lépidoptères est basée sur le programme national du suivi temporel des Rhopalocères de France (STERF) du programme d'observatoires de la biodiversité Vigie-Nature (MANIL & HENRY, 2007). Elle a été standardisée et adaptée afin de correspondre à la problématique du changement climatique et de la biodiversité.

Les transects sont parcourus sur une durée identique ( $10 \pm 1$  min.). Ce sont des parcours linéaires adoptant la forme de l'habitat (4 transects dans le cas de la lande de Brousteyrot (Fig. 2). La distance minimale entre eux et avec les limites de l'habitat est d'environ 50 m, distance de référence d'après le protocole de suivi des lépidoptères des Réserves Naturelles de France (LANGLOIS & GILG, 2007). La longueur du transect définie en lande humide est de 200 m et a été déterminée par les données exploratoires de 2016. Tous les imagos de lépidoptères observés dans une boîte virtuelle de 5 m de côté sont comptés et identifiés par un observateur. La vitesse de déplacement est fixe et de moins de 2 km/h. La détermination en espèces se fait principalement à vue et si nécessaire avec capture au filet pour les espèces non directement identifiables. Une liste d'espèces à capturer permet de standardiser le prélèvement des spécimens entre les différents observateurs de suivis lépidoptères dans le programme (MALLARD, 2017b). Quatre passages par site sont effectués par an (de 2016 à 2021) et répartis entre mai et août, 1 passage par mois. Les suivis sont espacés d'au moins 15 jours et sont réalisés d'une année sur l'autre aux mêmes semaines. Les 4 transects de la lande de Brousteyrot ont été parcourus en 2017 les 15 mai 2017, 19 juin, 20 juillet, 22 août, entre 10 h et 15 h. Les températures varient de 25 à 35°C, avec en pratique 50 % d'humidité relative et un vent de 4 à 6 km/h.

### 1.2- Analyse mécanistique et statistique

Les dénombrements et identifications des lépidoptères en espèces sont la base des données. Les individus  $N_i$  observés sont répartis en espèces  $i$ . Pour un nombre d'individus ( $> 20$  individus), ces valeurs sont résumables par des proportions d'abondance relative  $p_i = N_i/N$ ,  $N$  nombre total d'individus à différentes échelles, par transect (4 transects), par site (lande de Brousteyrot), par milieu (type lande humide).



**Figure 1.** Échanges sur le terrain entre Cistude Nature et la RNG de Saucats - La Brède  
© Fanny Mallard.

**Figure 2.** Positionnement des transects de suivis des lépidoptères sur le site de la lande de Brousteyrot.

**Figure 3.** Fadet des laïches, *Coenonympha oedippus* (Fabricius, 1787) © Sandy Bulté.

**Figure 4.** Profil asymptotique estimé, incertitudes à 95 % de confiance.



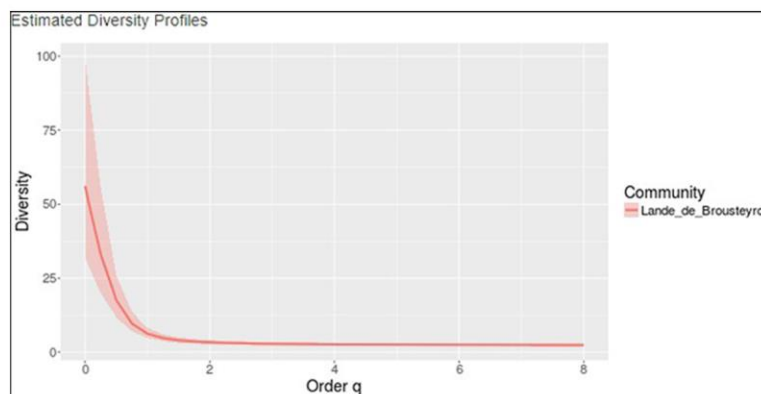
1



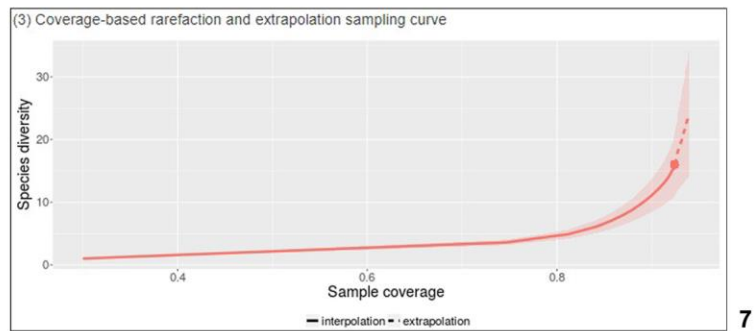
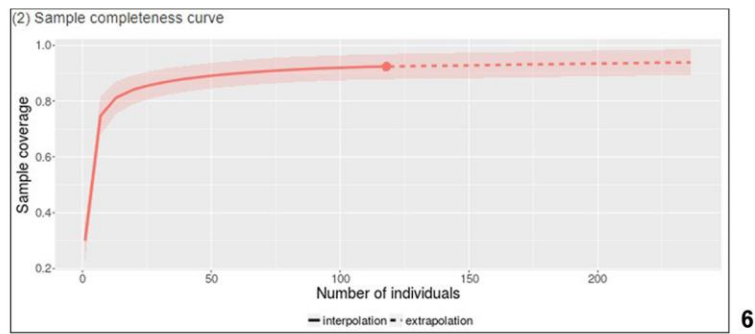
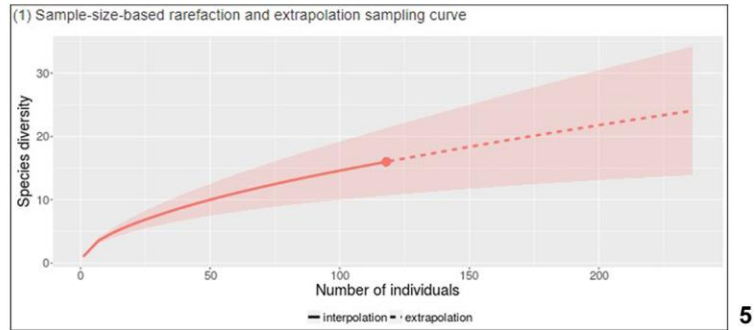
3



2



4





**Figure 5.** Nombre d'espèces total,  $q = 0$ , en fonction du nombre d'individus, incertitudes à 95 % de confiance.

**Figure 6.** Couverture du site en nombre d'espèces,  $q = 0$ , en fonction du nombre d'individus, incertitudes à 95 % de confiance.

**Figure 7.** Diversité en nombre total d'espèces,  $q = 0$ , en fonction du taux de couverture, incertitudes à 95 % de confiance.

**Figure 8.** Positionnement de la station météorologique dans la lande de Brousteyrot.

À partir de cette base de données, l'utilisation des « nombres de Hill » permet de généraliser les indices de diversité classiquement utilisés en écologie (diversité de Shannon-Wiener, indice de Simpson, Berger-Parker, etc.) et de les inclure. Le tracé du profil de diversité (proportions relatives des espèces rares, communes, abondantes) est une conséquence de ce choix d'analyse. L'utilisation des nombres de Hill s'impose peu à peu dans la littérature depuis quelques années (CHIU *et al.*, 2014). Le profil est décrit par une fonction contenant un paramètre  $q$ , dit « d'indifférence aux espèces rares » (MAGURRAN, 2004 ; CHAO *et al.*, 2012 ; CHAO & CHIU, 2016). Plus  $q$  est grand et moins les espèces rares sont prises en compte dans l'état de l'écosystème. Le profil caractérise ainsi en résumé l'hétérogénéité des abondances des espèces entre elles. Il est une image de la fragilité du milieu (MALLARD, 2016b, 2017b).

En fonction des résultats des campagnes de dénombrements des espèces sur le terrain, en complément des courbes d'accumulation des observations, la notion de couverture de l'échantillonnage en mesure ensuite la qualité. Elle est liée à la probabilité qu'un individu d'une campagne d'observation totale, exhaustive, se retrouve dans une des espèces de l'échantillonnage partiel obtenu. Elle est estimée en particulier à partir des singletons de l'échantillon (espèce représentée par un seul individu) et des doubletons (espèce représentée par deux individus).

Les profils de diversité peuvent être générés sur les données brutes puis sur des données corrigées par le niveau de couverture pour comparer par exemple les sites à effort d'échantillonnage identique. Si les profils des sites sont observés à taux de couverture constant, ils sont comparables entre eux sans correction. Si les profils se retrouvent à différents taux, les formules d'interpolation ou d'extrapolation sont à combiner pour déterminer le nombre d'espèces et leurs proportions à un niveau de couverture constant. Cette normalisation des données des profils des sites, leurs combinaisons, donnent aussi accès à des indices d'agrégation des sites au niveau de la région. Ce sont alors des mesures de recouvrements, de similarités, d'échanges d'espèces inter-sites qui peuvent être injectées dans des analyses statistiques plus générales.

Une méthode de ré-échantillonnage peut s'appliquer pour aborder ensuite l'incertitude des paramètres identifiés ou des tracés (méthode de *bootstraps* par exemple). Les formules d'interpolation et extrapolation par le taux de couverture sont basées aussi sur les travaux d'Alan TURING présentés par GOOD (1953). Des développements et des utilitaires de calculs et de tracés en logiciels libres se mettent en place sous « R », sur les tableurs. Les tracés suivants sont par exemple réalisés sur le site <https://chao.shinyapps.io/iNEXTOnline> qui cite toutes les références des développements associées (CHAO *et al.*, 2016).

## 2- Résultats exploratoires

### 2.1- Profil de diversité estimé

Le profil de diversité correspond au cumul des observations de mai à août sur le parcours des 4 transects de 200 m du site de la lande de Brousteyrot. Le cumul du nombre d'individus observés lors de ces 4 dates est de 5, 13, 89, 118. Le nombre d'espèces cumulées est de 3, 9, 13, 16, dont 13 sont identifiées à l'espèce : l'Amaryllis [*Pyronia tithonus* (Linné, 1771)], l'Azuré de la faucille [*Cupido alceas* (Hoffmannsegg, 1804)], l'Azuré du trèfle [*Cupido argiades* (Pallas, 1771)], l'Azuré porte-queue [*Lampides boeticus* (Linné, 1767)], le Citron [*Gonepteryx rhamni* (Linné, 1758)], le Demi-deuil [*Melanargia galathea* (Linné, 1758)], le Fadet commun/Procris [*Coenonympha pamphilus* (Linné, 1758)], le Fadet des laïches [*Coenonympha oedippus* (Fabricius, 1787), **Fig. 3**], le Grand nègre des bois [*Minois dryas* (Scopoli, 1763)], le Miroir [*Heteropterus morpheus* (Pallas, 1771)], le Souci [*Colias croceus* (Geoffroy in Fourcroy, 1785)], la Sylvaine [*Ochlodes sylvanus* (Esper, 1777)], la Thécla de la ronce/l'Argus vert [*Callophrys rubi* (Linné, 1758)] ; et 3 spécimens en morphe-espèce (*Melitaea* sp., *Limnitis* sp. et indéterminé).

L'effort d'échantillonnage du site est quantifié par le taux de couverture qui est de 92 % pour les comptages de 2017. Le nombre d'espèces observées sur le site de Brousteyrot est de 16 avec un nombre d'individus de 118.

À partir des espèces observées, en particulier celles avec 1 et 2 individus, il est possible d'estimer le profil de diversité exhaustif dit asymptotique pour un effort de couverture qui serait de 100 %. L'estimation limite conduirait à 56 espèces. Ces estimations pour un taux de 100 % sont aussi accompagnées d'incertitudes calculées par ré-échantillonnages des données à 95 % de confiance (**Fig. 4**).

### 2.2- Interpolation et extrapolation des données

Le nombre d'espèces est tracé pour illustration pour  $q = 0$ , il s'agit du nombre total d'espèces. Des tracés identiques en nombres d'espèces ignorant plus ou moins la part des espèces rares s'effectuent pour des valeurs de  $q$  comprises entre 0 et 4 en pratique.

La figure des données d'espèces en fonction du nombre d'individus montre (**Fig. 5**) : le point d'observation sur le terrain (point rouge), ici 118 individus et 16 espèces, et le trait continu de l'interpolation entre 1 et 118 individus. Le trait en pointillés de l'extrapolation est calculé à partir du point observé. Il est tracé jusqu'à un dénombrement double de 236 individus. La zone autour du tracé en rouge clair est l'incertitude associée. Elle est importante et ne permet pas d'atteindre le seuil de taux de couverture de 95 % en doublant les observations (**Fig. 6-7**).

## 3- Discussion

Dans le cadre du programme les sentinelles du climat, l'année 2016 a permis la mise en place du protocole de suivis des lépidoptères par exemple dans le cas des landes humides et notamment sur le site de la lande de Brousteyrot (MALLARD, 2016b). La méthode de comptage est ajustée, évaluée et optimisée au cours du temps par l'intermédiaire de l'analyse mécanistique et statistique du profil de diversité.

Les profils sont des graphiques calculés à partir des abondances de chaque espèce. La littérature indique fortement que leur examen est une donnée importante d'analyse (CHIU *et al.*, 2014). Les graphiques des profils de diversité en fonction de «  $q$  », paramètre d'indifférence aux espèces rares, comme celui de la lande de Brousteyrot, peuvent être ensuite résumés par 6 paramètres, évitant des analyses générales complexes avec des dizaines de paramètres (quantité liée au nombre d'espèces). Le cumul du nombre d'espèces dites « abondantes » s'obtient avec le paramètre  $q$

supérieur à 2, par exemple  $q = 4$  (part de l'espèce la plus abondante avec  $q = \text{infini}$ ). Le cumul du nombre d'espèces communes et abondantes est donné avec  $q = 2$  (indice de Simpson). Le cumul du nombre d'espèces rares, communes, abondantes, revient à utiliser  $q = 1$  (indice de Shannon). Enfin, le nombre total d'espèces du milieu est donné par  $q = 0$  (MAGURRAN, 2004 ; CHAO *et al.*, 2012 ; CHAO & CHIU, 2016 ; MALLARD, 2016b, 2017b). Ces paramètres de lissage proposés dans le cadre du programme, avec leurs incertitudes, sont des éléments qui peuvent être comparés pour un même site dans le temps par rapport aux variations climatiques, et examinés entre plusieurs sites de même nature, par exemple ici les landes humides. Les variations climatiques sont mesurées sur le terrain à l'aide d'un enregistreur de température/humidité relative externe avec interface USB optique [HOBO datalogger U23 Pro V2 (HOBO U23 Pro v2, Hobo®, Onset Computer Corporation, Bourne, MA, USA)] (MALLARD, 2016b ; MALLARD, 2017b) (Fig. 8).

En pratique, l'observation exhaustive des espèces ne peut pas être réalisée. Elle est ainsi remplacée par des échantillonnages dont il faut mesurer le taux de couverture ou effort d'échantillonnage et qui est calculable grâce aux travaux d'Alan TURING et I.J. GOOD (1953). Si cela est nécessaire, si les comparaisons entre sites, dans l'espace, dans le temps, doivent être abordées à taux de couverture constant, il est plus adapté d'extrapoler les données des sites moins bien échantillonnés avec son incertitude et d'interpoler les sites les mieux échantillonnés. L'extrapolation est un moyen à privilégier pour conserver les données des sites les mieux dénombrés, mais dans le cas d'indices globaux, agrégeant les sites, elle ajoute une incertitude aux résultats qui sont ceux des sites avec un taux de couverture maximal. L'interpolation est plus fiable, entraîne peu d'incertitudes, mais les valeurs sont rapportées à un taux de couverture moyen plus faible (MALLARD, 2016b, 2017b).

Dans ce cas d'étude de la lande de Brousteyrot, le seuil du taux de couverture est inférieur à un seuil utilisé classiquement en statistique de 95 %. Il est difficile à augmenter car il ne passe qu'à 94 % par exemple en doublant le nombre d'individus. Le calcul est toutefois plutôt pessimiste dans la mesure où ce taux est basé sur les singletons et les doubletons observés et ne prend pas en compte le fait que ceux-ci diminuent en fonction du taux de couverture (LOPEZ *et al.*, 2012). Pour augmenter l'effort d'échantillonnage, il existe deux possibilités, soit augmenter le nombre de transects, soit augmenter la fréquence des suivis dans le temps. Le nombre et le positionnement des transects ont été élaborés pour couvrir la surface de l'habitat homogène mais également pour éviter le biais du double comptage (MALLARD, 2016b, 2017b). Il a ainsi été décidé d'augmenter le nombre de suivis tous les 15 jours, soit 8 passages entre mai et août. Cet ajustement du protocole sera évalué à son tour en 2018.

Dans l'avancement actuel du projet, les observations sur le terrain dans le temps conduisent à des dénombrements d'individus qui sont répertoriés dans des espèces. Cela conduit à des données premières et un traitement de mesure de biodiversité est effectué à partir de leurs proportions relatives. Des profils de diversité résument l'information et sont liés principalement à ces proportions ici illustrées suivant le cas d'étude de la lande de Brousteyrot. Les espèces ne sont donc différenciées que par leurs dénombrements. Il est possible d'ajouter une pondération, une distance entre les espèces issues de différents traits biologiques (par exemple la taille). En complément, ces espèces peuvent être dissociées selon leurs histoires évolutives (MALLARD, 2016b). La théorie de l'évolution est reconnue comme la référence pour décrire l'évolution des espèces de plantes et d'animaux dans le temps. La discipline associée est la phylogénétique pour décrire la genèse des différentes classes où les individus peuvent être regroupés. La méthode représentant le processus d'évolution des espèces dans le temps est généralement un arbre bien que les nouveaux développements le transforment en un réseau. Les feuilles de cet arbre sont les espèces étudiées. Le développement de la biologie moléculaire a ensuite permis l'utilisation de séquences de



macromolécules biologiques pour obtenir des informations sur l'histoire évolutive des espèces. Celles qui présentent des séquences identiques ou similaires sont posées comme provenant d'un ancêtre commun construisant ainsi peu à peu cet arbre de façon statistique. Les branches de l'arbre présentent des longueurs associées qui pondèrent les espèces entre elles, comme les distances précédentes (MARCON, 2015 ; PAVOINE *et al.*, 2017). L'analyse des profils de diversité peut être complétée au cours du projet par l'intégration des traits biologiques et de la diversité phylogénétique.

### Remerciements

Nous remercions l'Union Européenne, la région Nouvelle-Aquitaine, le Département de Gironde et le Département des Pyrénées-Atlantiques pour leur soutien et le financement du programme « les sentinelles du climat ». Nous remercions également nos partenaires (<https://technique.sentinelles-climat.org/les-acteurs/>) plus particulièrement pour cette étude sur la Réserve Naturelle Nationale Géologique (RNG) de Saucats-La Brède et le Conservatoire d'espaces naturels d'Aquitaine (CEN Aquitaine) pour leur expertise naturaliste, et les membres du conseil scientifique du programme pour leurs conseils sur les méthodes, les protocoles et les résultats.

### Les auteurs :

Fanny Mallard, coordinatrice du programme les sentinelles du climat, Association Cistude Nature, Tél : 05 56 28 47 72, Email : [fanny.mallard@cistude.org](mailto:fanny.mallard@cistude.org)

Sandy Bulté, chargée d'études flore/habitats/lépidoptères, Association Cistude Nature, Tél : 05 56 28 47 72, Email : [sandy.bulte@cistude.org](mailto:sandy.bulte@cistude.org)

Pour plus d'informations sur le programme « les sentinelles du climat » : [www.sentinelles-climat.org](http://www.sentinelles-climat.org)

### Références bibliographiques

- CHAO A. & CHIU C.-H., 2016. - Bridging the variance and diversity decomposition approaches to beta diversity via similarity and differentiation measures. *Methods in Ecology and Evolution*, 7 (8), p. 919-928. doi : 10.1111/2041-210X.12551.
- CHAO A., CHIU C.-H. & HSIEH T.C., 2012. - Proposing a resolution to debates on diversity partitioning. *Ecology*, 93 (9), p. 2037-2051. doi : 10.1890/11-1817.1.
- CHIU C.-H., JOST L. & CHAO A., 2014. - Phylogenetic beta diversity, similarity, and differentiation measures based on Hill numbers. *Ecological Monographs*, 84 (1), p. 21-44. doi : 10.1890/12-0960.1.
- CHAO A., MA K.H. & HSIEH T.C., 2016. iNEXT (iNterpolation and EXTrapolation) Online: Software for Interpolation and Extrapolation of Species Diversity. Program and User's Guide published at [http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software\\_download/](http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software_download/).
- GOOD I.J., 1953. - The Population Frequencies of Species and the Estimation of Population Parameters. *Biometrika*, 40 (3-4), p. 237-264. doi : 10.1093/biomet/40.3-4.237.
- LANGLOIS D. & GILG O., 2007. - Méthode de suivi des milieux ouverts par les Rhopalocères dans les Réserves Naturelles de France. Réserves Naturelles de France, 34 p.
- LE TREUT H., 2013. - Les impacts du changement climatique en Aquitaine : Un état des lieux scientifique. Pessac, France : Presses Universitaires de Bordeaux, 360 p.
- LOPEZ L.C.S., DE AGUIAR FRACASSO M.P., MESQUITA D.O., PALMA A.R.T. & RIUL P., 2012. - The relationship between percentage of singletons and sampling effort: A new approach to reduce the bias of richness estimates. *Ecological Indicators*, 14 (1), p. 164-169. doi : 10.1016/j.ecolind.2011.07.012.
- MAGURRAN A.E., 2004. - Measuring biological diversity. Blackwell Science Ltd.: Oxford., 256 p.
- MALLARD F., 2016a. - Programme les sentinelles du climat. Tome I: Développement d'indicateurs des effets du changement climatique sur la biodiversité en Nouvelle Aquitaine. Le Haillan, France : C. Nature, 86 p.

- MALLARD F. (coord.), 2016b. - Programme les sentinelles du climat. Tome II : Protocoles d'échantillonnage des indicateurs des effets du changement climatique sur la biodiversité en Nouvelle Aquitaine. Le Haillan, France : C. Nature, 453 p.
- MALLARD F. (coord.), 2017a. - Programme les sentinelles du climat. Tome III : Cadre de la modélisation prédictive des réponses des espèces face au changement climatique en Nouvelle-Aquitaine. Le Haillan, France : C. Nature, 90 p.
- MALLARD F. (coord.), 2017b. - Programme les sentinelles du climat. Tome IV : Ajustement des protocoles d'échantillonnage et analyses exploratoires des indicateurs des effets du changement climatique sur la biodiversité en Nouvelle-Aquitaine. Le Haillan, France : C. Nature, 966 p.
- MANIL L. & HENRY P.-Y., 2007. - Suivi Temporel des Rhopalocères de France (STERF) - Suivi Temporel des Insectes Communs (STIC) - Protocole national, 10 p.
- MARCON E., 2015. - Mesures de la Biodiversité. AgroParisTech, 256 p.
- PAVOINE S., BONSALE M.B., DUPAIX A., JACOB U. & RICOTTA C., 2017. - From phylogenetic to functional originality: Guide through indices and new developments. *Ecological Indicators*, 82 (Supplement C), p. 196-205. doi : 10.1016/j.ecolind.2017.06.056.
- WILSON R.J. & MACLEAN I.M.D., 2011. - Recent evidence for the climate change threat to Lepidoptera and other insects. *Journal of Insect Conservation*, 15 (1-2), p. 259-268. doi : 10.1007/s10841-010-9342-y.