

Lépinoc

Synthèse du démonstrateur

2020-2021



Un projet financé par :



Remerciements

Nous remercions l'ensemble des participants aux démonstrateurs, dont le rôle a été central pour tester la première version du dispositif et du protocole, mais aussi pour tirer de précieux enseignements qui seront mobilisés dans la suite du projet. Nous remercions également l'ensemble des membres du COS qui ont fortement contribué au bon déroulement du démonstrateur. Nous remercions Julien Werly (CRIGEN) pour le développement du prototype du dispositif, et Thomas Féminier (FabLab Descartes) pour la fabrication des dispositifs. Nous remercions également le hackathon Hack4Nature. Enfin, nous remercions l'ensemble des financeurs du projet : la région Île-de-France, ENGIE, Storengy, l'Office Français pour la Biodiversité et la Fondation Humus.

Contributeurs

Jérémie Goulnik, chargé de programme Pollinisateurs sauvages

Caroline Vickridge, chargée de programme Nuits de Noé

Alexandre Briscadieu, stagiaire Master 2 Lépinoc

Contacts

jgoulnik@noe.org

lepinoc@noe.org

Résumé général

Dispositif

Sur le dispositif, nous avons pu développer un prototype fonctionnel. La première campagne de suivi, réalisée au cours de l'été 2021, a été l'objet de nombreux résultats qui confirment la pertinence du dispositif Lépinoc pour le suivi automatisé des Lépidoptères nocturnes ainsi que pour le calcul d'indicateurs de biodiversité. Le pourcentage d'identification des photographies est d'environ 50% à la famille, 30% au genre et 20% à l'espèce. Ces pourcentages sont encourageants mais peuvent être largement augmentés par la suite en améliorant le dispositif. Le dispositif semble échantillonner correctement l'habitat, bien que le faible pourcentage d'identification à l'espèce puisse limiter la précision des résultats des analyses sur la composition des communautés. De manière générale, différentes limites du prototypes actuelles ont émergées au cours des suivis, et les axes qui se dégagent pour régler les problèmes rencontrés et ainsi assurer le développement d'un dispositif déployable à grande échelle sont au nombre de trois : le prix, l'ergonomie et la qualité des photographies et des données en général. Ainsi, il sera nécessaire :

- D'améliorer le dispositif, pour qu'il soit moins couteux, plus facile à monter, plus facile à transporter et moins sensible, pour assurer à la fois une meilleure ergonomie mais également un réglage facilité permettant de garantir des photographies de bonne qualité. Cette amélioration passera également par le développement d'une application smartphone dédiée, qui permettra de sensiblement améliorer la qualité des photographies, de limiter les erreurs de programmation des prises de photographie et de nom des fichiers, et de faciliter la programmation des sessions d'échantillonnage
- D'alléger le protocole, car nous avons pu confirmer qu'un dispositif par site était suffisant. De plus, un seul suivi sera effectué par mois lunaire pour améliorer la durabilité des dispositifs et alléger demander aux

gestionnaires, et la durée d'échantillonnage va être réduite à 3h, avec un impact sur l'autonomie énergétique nécessaire et donc le coût du dispositif.

Protocole et animation

Plus de la moitié des participants se sont montrés assidus et motivés tout au long des relevés. Les raisons principales qui ont poussé certains participants à se démotiver, voire abandonner le suivi, sont les suivantes :

- difficulté à mettre en place le matériel
- protocole trop long ou trop compliqué
- indisponibilité due à la charge de travail ou le planning
- matériel défectueux

Ces problèmes devraient être réglés grâce à la V2 du dispositif qui sera simplifié, allégé, réduit et produira des photos plus fiables et de meilleure qualité avec une transmission simplifiée. De plus, la nouvelle version du protocole, qui consistera à ne mettre en place qu'un dispositif par site et à ne faire qu'un relevé par mois lunaire allègera de manière importante la charge de travail associée à un site.

De plus, la mise en place d'un outil d'aide à la décision pour programmation des sessions via un calendrier interactif qui intégrera la météo, le calendrier lunaire et la date de la précédente session, facilitera grandement l'organisation des participants. L'application facilitera également le transfert des données et sera lié à la construction d'une base de données qui permettra de garantir des données F.A.I.R. **Etant donné le rôle central de l'application dans le protocole et l'animation de Lépinoc, un effort particulier sera mis en place pour assurer à la fois une très bonne expérience utilisateur, et une très bonne interaction homme-machine.**

Le facteur de motivation principal identifié est le retour sur les résultats, c'est-à-dire les photos en elles-mêmes qui doivent être

consultables par les participants et l'identification des papillons photographiés. Pour cela, nous allons développer l'application pour que les photos soient enregistrées et visibles. Il faudra que les retours de l'expert lépidoptéristes soient transmis dès réception au fur et à mesure aux participants.

Le dispositif et l'application devront autonomiser les participants le plus possible pour éviter de devoir compter sur un suivi rapproché comme nous avons fait en 2021 pour assurer des résultats corrects. Il restera éventuellement une part d'accompagnement à assurer nous-même pour le choix des sites de pose.

L'approche de recrutement des sites via l'ARB Île de France et les "têtes de réseau" semble bien fonctionner car ces relais connaissent bien le territoire et peuvent proposer un accompagnement en plus sur le terrain. Ce modèle devra être répliquée à l'échelle nationale avec d'autres ARB et PNR ou des structures comme les CPIE et CEN. De plus, ce suivi intéressait beaucoup les structures privées comme les bureaux d'études ou des groupes tels qu'ENGIE qui mettent en place leurs propres suivis sur leurs sites. Ces cibles seront donc à prendre en compte aussi dans le déploiement national (sur le modèle du suivi Vigie-Chiro, par exemple). Certaines structures comme des associations locales naturalistes ou des Parcs Nationaux ont aussi manifesté leur intérêt pour ce suivi et pourront être sollicités par la suite. Les participants doivent avoir les outils de communication leur permettant d'être eux-mêmes des ambassadeurs du projet.

Intelligence artificielle

Dans le cadre du projet Lépinoc, deux actions principales ont été identifiées pour une IA : 1) segmenter les Lépidoptères nocturnes à partir de photographies complètes d'un support de pose, et 2) classier les Lépidoptères, c'est-à-dire les identifier taxonomiquement. Pour réaliser ces actions, il faut des données (i.e. des images labellisées) d'entraînement et de

validation, des algorithmes et des infrastructures informatiques.

Pour les données, nous avons mis en évidence qu'il était impossible de définir à ce stade un nombre de photographies minimum par taxon pour assurer qu'un modèle puisse être entraîné afin d'en assurer l'identification. Cependant, ce nombre de photographies semble être important, d'autant plus lorsqu'il est rapporté au nombre d'espèces de Lépidoptères nocturnes présentes en France. Ainsi, pour obtenir suffisamment de données d'entraînement et de validation, nous avons identifié les pistes possibles suivantes :

- L'utilisation de bases de données disponibles et déjà existantes, correspondant essentiellement à iNaturalist et au GBIF. Cependant, les photographies qui s'y trouvent, bien qu'abondantes, ne sont pas de la même qualité que les photographies Lépinoc, limitant potentiellement leur capacité à servir de support d'entraînement au moins pour atteindre l'espèce comme niveau taxonomique ;
- L'utilisation des données Lépinoc, mais ces dernières sont limitées en nombre. Par exemple, nos premières estimations indiquent que pour une espèce faiblement abondante dans le jeu de données collecté en 2021 (i.e. environ 20 photographies pour l'espèce), il faudrait plusieurs années de suivi pour avoir un nombre de photographies permettant un apprentissage à l'espèce si l'on retient une valeur proposée dans la littérature scientifique (i.e. 250 photographies par espèce) ;
- L'utilisation de données des projets proches, mais cette utilisation implique la construction d'un projet commun entre les différents projets existants à l'échelle mondiale ;

Afin de prendre en considération ce manque de données, nous avons identifié des catégories de Lépidoptères qui se distinguent selon la facilité à assurer dans le temps leur identification par une IA :

- Les espèces de macro-hétérocères très communes
- Les espèces de macro-hétérocères caractéristiques visuellement
- Les espèces de micro-hétérocères caractéristiques visuellement
- Les espèces peu communes et peu caractéristiques visuellement

Les trois premières catégories seront priorisées dans le cadre du développement d'une IA, alors que la dernière catégorie, qui pourrait rassembler environ 30% des espèces.

Nous avons identifié que deux grands types d'**algorithmes** seraient nécessaires : un de type segmentation visant à détecter et découper les Lépidoptères sur les photographies complètes ; un de type classification visant à identifier les Lépidoptères. Nous avons mené une recherche bibliographique sur ces algorithmes et avons assisté à différents workshops qui nous ont permis de classer les algorithmes selon leur niveau de développement, leur niveau de spécialisation et s'ils sont en accès libres (valables à la fois pour ceux de segmentation et de classification) :

- Des algorithmes déjà existants et d'autres en cours de développement
- Des algorithmes non spécialisés sur les Lépidoptères nocturnes et des algorithmes spécialisés sur ces insectes
- Des algorithmes en accès libres et des algorithmes qui ne sont pas en accès libres

Parmi les algorithmes spécialisés sur les Lépidoptères nocturnes, un seul est finalisé et en accès libre. Cependant, il n'est performant que sur très peu d'espèces (8 espèces). Deux autres algorithmes sont en cours de développement et pourraient présenter un intérêt important pour Lépinoc. Il sera

cependant nécessaire de mieux comprendre dans quelles conditions un partenariat pourrait permettre de travailler à partir de ces outils. Enfin, nous avons trouvé qu'au moins deux autres algorithmes étaient finalisés mais sans être en accès libres. Il sera utile d'étudier quel est l'intérêt de ces algorithmes pour Lépinoc, mais surtout de leurs bases de données d'entraînement qui sont proches en qualité des photographies de Lépinoc (projet Diopsis). De manière générale, Noé de manque de compétence en interne pour développer ces outils, et des partenariats seront nécessaires pour mener à bien la mise en place d'un algorithme d'IA au sein de Lépinoc.

Enfin, pour mener à bien un processus d'automatisation, nous avons identifiés des éléments centraux qui se rapportent à des infrastructures informatiques. En effet, il sera nécessaire :

- De posséder suffisamment de puissance de calcul pour entraîner puis faire tourner les modèles d'IA
- De posséder suffisamment de capacité de stockage, pour supporter à la fois les données d'entraînement et de validation, mais également l'ensemble des photographies brutes complètes et celles des seuls Lépidoptères nocturnes découpés
- De posséder une connexion internet suffisante
- D'optimiser l'infrastructure des bases de données pour atteindre une qualité F.A.I.R (« faciles à trouver, accessibles, interopérables et réutilisables »).

Noé ne possède aucun de ces éléments et n'a pas les compétences pour assurer l'optimisation de l'infrastructure des bases de données.

Table des matières

Un projet financé par :	1
Remerciements	2
Contributeurs	2
Contacts	2
Résumé général	3
1. Introduction générale	8
1.1. Déclin des insectes et causes	9
1.2. Mais également des espèces gagnantes	9
1.3. Focus sur les hétérocères	9
1.4. Manque général de données et solutions	10
2. Présentation du projet Lépinoc	12
3. Dispositif	16
3.1. Caractéristiques générales du dispositif	18
3.2. Résultats obtenus à l'aide du dispositif	19
3.2.1. Résultats sur la capacité du dispositif à collecter des photographies identifiables.....	21
3.2.2. Capacité du dispositif à collecter des données sur la répartition et l'activité des espèces.....	28
3.2.3. Capacité du dispositif à échantillonner les communautés de manière fiable et précise	30
4. Protocole et animation	37
.....	37
4.1. Introduction et contexte	39
4.2. Tester notre capacité à trouver des équipes motivées et des typologies de sites variés	39
4.2.1. Notre démarche de sélection des sites	39
4.2.2. Conclusions sur la sélection des sites.....	41
4.2.3. Influences du profil des participants et de la typologie des sites	41
4.3. Tester nos outils d'accompagnement et de prise en main du matériel pour le suivi.....	42
4.4. Tester notre capacité à animer le réseau et maintenir la motivation dans la durée	45
4.5. Tester la mise en place du protocole face aux contraintes professionnelles	47
4.5.1. Réception, stockage et transport du matériel	47
4.5.2. Respect du protocole.....	48
4.5.3. Disponibilité, plannings, horaires des participants et du site	48
4.6. Synthèse de l'animation et plan d'actions.....	50
5. Processus de reconnaissance par IA	51
5.1. Cadre d'action pour automatiser la reconnaissance des Lépidoptères dans le cadre de Lépinoc	54
5.2. Éléments nécessaires pour la mise en place d'une intelligence artificielle	54
5.2.1. Jeu de données d'entraînement et de validation	54
5.2.2. Quels algorithmes pour Lépinoc ?.....	64
5.2.3. Infrastructure informatique	66

5.3. Quel cadre de partenariat pour mettre en œuvre une IA ?	67
5.4 Perspectives futures.....	68
5.5. Plan d'action pour 2022-23.....	69
Plan d'action 2022	69
Plan d'action 2023	69
Chantier transverse	70
6. Communication et valorisation du projet.....	71
7. Cahiers des charges.....	73
Dispositif.....	74
Constats	74
Conséquences sur le cahier des charges	76
Protocole :	77
Constats	77
Conséquences sur le cahier des charges	78
Références.....	78
Annexe.....	81
Annexe 1 : notice de fabrication du dispositif Lépinoc	81
1. Contexte	84
2. Matériel nécessaire	84
2.1. Liste du matériel.....	84
2.2. Liste des outils nécessaires	85
3. Fabrication et assemblage.....	85
3.1. Réalisation de la structure de l'ensemble	85
3.2. Support pour insectes.....	91
3.3. Adaptation du boîtier des batteries.....	92
3.4. Réalisation du système d'éclairage.....	94
3.5. Installation du système d'éclairage sur son support.....	97
3.6. Paramétrage de l'application « TimerCamera » sur smartphone	98
Annexe 2 : Notice de protocole Lépinoc	102
1. Introduction.....	102
2. Matériel nécessaire pour une session de terrain	102
3. Fonctionnement du dispositif.....	102
3. Planifier sa session.....	103
4. Vérification du matériel.....	103
5. Mise en pratique.....	104
6. Paramétrage de l'application	109
7. Placement du téléphone	112
8. Remplissage des fiches de terrains.....	113
9. Relève et rangement	113
10. Transmission des données	113
Document 1 : Envoi d'un dossier avec WeTransfer.....	116
Annexe 3 : Abondance de papillons de nuits par site et par session.....	119
Annexe 4 : répartition par genre et par famille	120

1. Introduction générale



1.1. Déclin des insectes et causes

Les insectes terrestres ont connu un déclin important au cours de la seconde moitié du XXème siècle. La tendance de ce déclin varie selon les échelles étudiées, avec de très forte polémique au sein de la communauté scientifique pour la déterminer (e.g. sur le déclin d'arthropodes en Allemagne qui a généré des échanges importants entre chercheurs : [1]–[3]). Ainsi, une valeur proposée est d'environ -7% de l'abondance des insectes terrestres par décennie en Europe [4]. A une échelle plus locale, il atteint -75% en 27 ans pour la biomasse des insectes volants dans un ensemble de sites appartenant à des aires naturelles protégées en Allemagne [5], résultats en concordance avec des études sur des taxons plus spécifiques d'insectes comme les macro-hétérocères (e.g. -61% de leur biomasse entre 1997 et 2017 sur deux sites aux Pays-Bas, l'un de développement de la nature, l'autre une réserve naturelle [6]) avec potentiellement des impacts même sur les espèces les plus communes [7].

Les causes du déclin des insectes sont multiples, avec des variations biogéographiques importantes. En Europe, le déclin des insectes semble majoritairement lié à la perte et la destruction des habitats, ainsi qu'aux diverses sources pollutions (notamment liées aux produits phytosanitaires et aux fertilisants), l'ensemble de ces pressions étant étroitement liés à l'intensification de l'agriculture qui a opéré au cours de la seconde moitié du XXème siècle [8]. Par exemple, dans le cas des pollinisateurs sauvages, la perte d'habitat s'est caractérisée notamment par une perte en ressources alimentaires (essentiellement pollen et nectar) et non alimentaire (ex : sites de nidifications) à l'échelle paysagère et locale (i.e. de la parcelle), générée par l'arrêt de la culture des légumineuses fourragères, le retournement des prairies permanentes à forte diversité floristique ou l'intensification de leur utilisation avec des mises en exploitation plus précoce et l'application de fertilisants azotés mais aussi phosphorés, ainsi que la suppression des haies et des plantes messicoles rendues possibles par une mécanisation plus importante et l'utilisation de pesticides de synthèse comme des désherbants systémiques peu coûteux à la production mais très efficace tel que le glyphosate [9]. Par exemple, environ 3 millions d'ha de prairies permanentes ont été perdus entre 1960 et 2010 en France (soit une perte d'environ 30% de la surface en prairies permanente [10]). De plus, 70% des haies bocagères ont disparu depuis 1950.

1.2. Mais également des espèces gagnantes

Cependant, il est nécessaire de souligner que tous les insectes ne sont pas en déclin. Ainsi, certaines espèces de bourdons sont en expansion (en Europe, respectivement 45,6% des espèces sont en déclin, 13,2% sont en expansion [11]). Par exemple, en Belgique, une étude a montré que certaines espèces comme le bourdon des mousses (*Bombus muscorum*) et le bourdon des sables (*Bombus veteranus*) ont fortement décliné en termes d'aires occupées, alors que d'autres espèces comme le bourdon terrestre (*Bombus terrestris*) et le bourdon des arbres (*Bombus hypnorum*) semblent connaître un accroissement. Ces différences pourraient être liées à de nombreux facteurs, notamment à des préférences variables selon les espèces pour les habitats qu'ils occupent. En effet, les espèces en déclin dans cette étude préfèrent les habitats ouverts alors que les espèces en augmentation préfèrent les habitats forestiers [12]. De manière plus générale, une fraction des espèces d'insectes sont favorisées par l'Anthropocène et les changements globaux qui lui sont liés. Chez les insectes pollinisateurs, il s'agit par exemple d'espèces ayant une mobilité suffisante et une forte résistance à des stress aigus liés à la chaleur, bien que la généralisation des traits permettant de prédire les espèces qui seront gagnantes dans le futur reste délicate [13].

1.3. Focus sur les hétérocères

Les hétérocères, considérés ici par simplicité comme les insectes de l'ordre des Lépidoptères mais n'appartenant pas à la superfamille des Papilionoidea (i.e. l'équivalent de « moth » pour les anglo-saxons), représentent en France environ 5000 espèces soit 95% des espèces de papillons [14]. Ils jouent un rôle essentiel dans le fonctionnement des écosystèmes, étant à la fois un maillon important des réseaux trophiques en étant consommé par d'autres animaux comme les chauves-souris [15]. Une partie d'entre eux participent à la fonction de pollinisation d'espèces de plantes sauvages, de manière complémentaires aux pollinisateurs diurnes, bien que ce rôle soit encore mal évalué [16].

Les hétérocères sont soumis à de nombreuses pressions anthropiques en commun avec les autres insectes, mais également à la pollution lumineuse avec des effets encore mal évalués [17]. Les preuves de leur déclin s'accumulent dans le Nord de l'Europe [18], tout en restant largement lacunaires en France. Par exemple, une augmentation de la biomasse des hétérocères a pu être observé au Royaume-Uni entre 1967 et 1982, suivi d'un déclin de 1982 à 2017, avec de très forte variabilité inter-annuelle et entre familles, soulignant la nécessité d'acquérir des données sur le long terme [19]. Le déclin des hétérocères semble variable selon les taxons. Parmi les macro-hétérocères, les espèces spécialistes, avec des ailes longues, de faibles capacités de dispersion, ou encore associées aux prairies et aux habitats pauvres en nutriment semblent défavorisés par les pressions anthropiques actuelles [18]. Ainsi, bien que de nombreuses espèces soient en déclin, certaines espèces tirent bénéfice de des différentes pressions anthropiques et des changements globaux [20], comme par exemple la Noctuelle mignonne (*Apamea scolopacina*) et l'Albule (*Deltote pygarga*) au Royaume-Uni [21].

1.4. Manque général de données et solutions

Les données pour établir le niveau de menace de nombre des espèces d'insectes et suivre leur évolution au cours du temps sont encore largement lacunaires. De plus, les facteurs affectant leur abondance et leur biodiversité ne sont pas nécessairement les mêmes.

Afin de remédier à ce manque de connaissance sur le déclin des Lépidoptères nocturnes et des insectes en général tout en contribuant à la sensibilisation des citoyens, des préconisations ont été réalisées afin d'augmenter le volume de données sur ces insectes, à la fois spatialement et temporellement. Ces préconisations consistent notamment à développer des protocoles de sciences participatives et à s'appuyer sur les nouvelles technologies comme les approches moléculaires (ex : métabarcoding) ainsi que sur les méthodes de vision par ordinateur et d'intelligence artificielle [22].

Ces deux grands champs méthodologiques ont été développés séparément avec succès par des pays où l'état de connaissance sur les Lépidoptères nocturnes est bien établi. C'est notamment le cas, pour les sciences participatives, des protocoles anglais de Garden moth scheme¹ et Rothamsted Research Insect Survey², ainsi que d'un autre protocole hollandais appliqué en milieu agricole³. Les données ainsi accumulées sont à l'origine de nombreuses publications scientifiques précédemment citées (e.g.[19], [23]). Des dispositifs fondés sur des approches par intelligence artificielle et vision par ordinateur ont été développés par des danois [24] ainsi que des hollandais⁴. Cependant, les dispositifs proposés demeurent trop coûteux pour être inclus dans des protocoles de sciences participatives (estimés entre 500 et 1000€ pièce). Cet engouement pour les méthodes basées sur la vision par ordinateur et l'intelligence artificielle provient du développement considérable de ces technologies au cours de la dernière décennie, de la diminution des coûts des composants et de la mise à disposition d'outils en accès libre comme des algorithmes ou des bases de données d'images. Ainsi, l'intelligence artificielle

¹ <http://www.gardenmoths.org.uk/>

² <https://www.rothamsted.ac.uk/insect-survey>

³ <https://www.vlinderstichting.nl/bimag>

⁴ <https://diopsis.eu/en/>

appliquée à l'entomologie et à l'écologie pourrait révolutionner dans les années à venir ces domaines scientifiques, bien que nous ne soyons qu'au balbutiement de ce phénomène qui prendra nécessairement du temps et impliquera de nombreux problèmes à résoudre pour connaître sa maturité [25], [26].

Ainsi, en combinant ces deux approches, il serait possible d'acquérir massivement des données sur les hétérocères tout en sensibilisant les collecteurs des données à ces insectes. Les données ainsi acquises pourraient permettre de combler les manques de connaissances sur les hétérocères, les tendances des différentes espèces au cours du temps, mais aussi la réponse de ces insectes aux pressions anthropiques. Cette combinaison d'approches, encore inexistante en France pour l'étude des hétérocères malgré les nombreux avantages qu'il serait possible d'en tirer, est l'objet du projet Lépinoc.

2. Présentation du projet Lépinoc



Depuis de nombreuses années, Noé développe une expertise sur les sujets de la **biodiversité nocturne** et des **pollinisateurs sauvages**, afin de contribuer à l'enrayement du déclin de cette biodiversité par des actions concrètes auprès des différents acteurs. De plus, Noé est l'un des acteurs phare des **sciences participatives** en biodiversité en France.

A la croisée de ces trois domaines d'expertise, Noé a lancé en 2020 le **projet Lépinoc**, un démonstrateur de suivi participatif automatisé des papillons de nuit, en Ile-de-France.

Ce projet a deux objectifs centraux :

- **Acquérir des connaissances** sur les papillons de nuits, et notamment leur réponse aux pressions exercées par les activités humaines, en formant le premier réseau national de suivi de ces insectes ;
- **Faire mieux connaître** les papillons de nuit auprès des gestionnaires et du grand public pour enclencher des changements de comportements et de pratiques en leur faveur.

Pour cela, nous nous sommes entourés d'experts naturalistes sur les papillons, de chercheurs du **Muséum National d'Histoire Naturelle**, d'ingénieurs et d'experts du numérique afin de garantir la rigueur et la pertinence scientifique du projet. Ce collectif, réunit sous la forme d'un comité d'orientation scientifique, a été mobilisé six fois au cours du démonstrateur.

Encadré 1 : Des experts scientifiques qui nous accompagnent :

- Dr. Colin Fontaine - CESCO - Chercheur et directeur scientifique de Vigie-Nature
- Pr. Romain Julliard - UMS Mosaic - Chercheur et directeur de l'UMS Mosaic
- Antoine Lévêque - UMS PatriNat - Directeur de projet "Surveillance de la biodiversité terrestre"
- François Fournier - Indépendant Lépidoptériste - Président de l'Association des Entomologistes d'Auvergne
- Dr. Antoine Gardarin - UMR Agronomie - Maître de conférence
- Olivier Rovellotti - Natural Solutions - Ingénieur informatique, créateur et gérant de Natural Solutions
- Dr. Alexis Joly - Inria - Chercheur
- Caroline de Zutter - Crigen - Ingénieure de recherche environnement
- Hemminki Johan - ARB Ile de France - Chargé d'études



Le dispositif et le protocole ont été mis en place pour répondre à une réponse scientifique en particulier, qui nécessitera un déploiement national et plusieurs années de suivi avant de pouvoir être réellement traitée. Cependant, le choix de la question scientifique a orienté les spécificités du dispositif et du protocole. En effet, il s'agit de déterminer quelles sont les influences à l'échelle locale des pratiques de gestion, y compris d'éclairage, et des caractéristiques environnementales sur la structure des communautés de Lépidoptères nocturnes au sein des espaces verts et naturels.

Ce projet est prévu pour être conduit sur **quatre ans** : il vise en 2024 à déployer un suivi participatif national des papillons de nuit. Il est mené selon la **méthode Agile** qui permet d'élaborer des prototypes successivement testés et améliorés.

- En 2021, un premier démonstrateur a été développé et testé auprès d'un public de gestionnaires d'espaces verts et naturels en Ile-de-France.
- En 2022, l'objectif est d'améliorer le dispositif et de produire des outils d'animation qui autonomiseront les participants.
- En 2023, il s'agira d'adapter le suivi pour le grand public.
- En 2024, nous déploierons le projet sur l'ensemble du territoire métropolitain.

Ce projet est organisé en **quatre chantiers** :

- **Dispositif** : Développer un dispositif d'acquisition des données automatisé, « low-cost », non légal, robuste et ergonomique

- **Protocole** : Concevoir un protocole standardisé de collecte de données
- **Animation** : Développer les outils nécessaires à l'animation et la mobilisation des observateurs
- **Processus d'identification** : Concevoir un processus d'identification des photographies au travers d'une intelligence artificielle couplée à de l'intelligence collective.



Dispositif



Protocole



Réseau
d'observateurs



Processus
d'identification

Au cours du démonstrateur, sur les quatre chantiers, nous avons :

- **Dispositif** : En partenariat avec son partenaire ENGIE et son laboratoire de R&D le CRIGEN, un dispositif a été développé dans le cadre du démonstrateur. Il s'agit d'un produit minimum viable (i.e. une version de dispositif rassemblant uniquement des fonctionnalités élémentaires). Il repose sur une lampe UV placée au-dessus d'un support blanc. Un smartphone, placé parallèlement au support blanc est programmé pour prendre automatiquement des photographies toute la nuit. Au total, 46 dispositifs ont été fabriqués et mis en place sur un ensemble de sites en Île-de-France
- **Protocole** : Un protocole standardisé de collecte des données a été créé. Il reposait sur la mise en place de trois dispositifs par site sur un même habitat (lorsque cela était possible) afin d'évaluer la répliquabilité entre dispositifs. Les dispositifs ont été placés de manière à ne pas être en compétition les uns avec les autres. Les relevés ont été effectués une nuit par session, en dehors de la pleine lune et d'une fenêtre de dix nuits autour de la pleine lune. Ils ont été répétés de juillet à septembre avec 14 jours entre chaque session d'échantillonnage. Afin de spécifier l'habitat où sont installés les dispositifs, la fiche du protocole Propage (protocole de sciences participatives de suivi des papillons diurnes également à destination des gestionnaires d'espaces verts et naturels et animé par Noé en collaboration avec Vigie Nature) est employée. De plus, les coordonnées GPS de chaque dispositif ont été renseignées.
- **Réseau d'observateurs** : Le protocole a été mis en place sur un réseau de 14 sites pilotes franciliens (**figure 3**) qui a été créé dans le cadre du démonstrateur en s'appuyant notamment sur des têtes de réseau (ex : ARB Île-de-France). Les sites appartenaient à trois grands types de milieu (urbain, péri-urbain et rural) afin d'évaluer si des difficultés particulières émergent selon le milieu (ex : vol de téléphone). Le réseau a été animé de manière rapprochée, à l'aide de différents outils. Enfin, des entretiens ont été menés en fin de campagne afin de recueillir la perception des participants. Un colloque de restitution auprès des participants a également été réalisé.
- **Processus d'identification** : Les Lépidoptères nocturnes ont été identifiés par André Claude, expert lépidoptériste. Cette étape a permis de générer *in fine* une base de données de photographies annotées qui seront utilisables dans le cadre du développement ultérieur d'un algorithme d'intelligence artificielle pour automatiser la segmentation et l'identification des insectes à un niveau taxonomique encore à définir. A partir des données collectées, une analyse

a été effectuée sous R. Un travail de prospection a été mené afin d'identifier les conditions nécessaires pour la mise en place d'une intelligence artificielle dans le cadre de Lépinoc.

La suite du rapport vise à présenter les résultats et les enseignements tirés au cours du démonstrateur pour l'ensemble de ces chantiers.

3. Dispositif



Résumé de la sous-partie

Sur le dispositif, nous avons pu développer un prototype fonctionnel. La première campagne de suivi, réalisée au cours de l'été 2021, a été l'objet de nombreux résultats qui confirment la pertinence du dispositif Lépinoc pour le suivi automatisé des Lépidoptères nocturnes ainsi que pour le calcul d'indicateurs de biodiversité. Le pourcentage d'identification des photographies est d'environ 50% à la famille, 30% au genre et 20% à l'espèce. Ces pourcentages sont encourageants mais peuvent être largement augmentés par la suite en améliorant le dispositif. Le dispositif semble échantillonner correctement l'habitat, bien que le faible pourcentage d'identification à l'espèce puisse limiter la précision des résultats des analyses sur la composition des communautés. De manière générale, différentes limites du prototypes actuelles ont émergées au cours des suivis, et les axes qui se dégagent pour régler les problèmes rencontrés et ainsi assurer le développement d'un dispositif déployable à grande échelle sont au nombre de trois : le prix, l'ergonomie et la qualité des photographies et des données en général. Ainsi, il sera nécessaire :

- D'améliorer le dispositif, pour qu'il soit moins couteux, plus facile à monter, plus facile à transporter et moins sensible, pour assurer à la fois une meilleure ergonomie mais également un réglage facilité permettant de garantir des photographies de bonne qualité. Cette amélioration passera également par le développement d'une application smartphone dédiée, qui permettra de sensiblement améliorer la qualité des photographies, de limiter les erreurs de programmation des prises de photographie et de nom des fichiers, et de faciliter la programmation des sessions d'échantillonnage
- D'alléger le protocole, car nous avons pu confirmer qu'un dispositif par site était suffisant. De plus, un seul suivi sera effectué par mois lunaire pour améliorer la durabilité des dispositifs et alléger demander aux gestionnaires, et la durée d'échantillonnage va être réduite à 3h, avec un impact sur l'autonomie énergétique nécessaire et donc le coût du dispositif.

3.1. Caractéristiques générales du dispositif

Le dispositif a été conçu en partenariat avec le CRIGEN, mais également avec les apports du fablab Descartes. Son cahier des charges devait permettre la conception d'un dispositif simple, fiable et peu onéreux.

Le dispositif Lépinoc est composé de deux tubes d'un mètre chacun, en aluminium (réf : tu-nat-100cm ; Créatube), disposés en croix grâce à un raccord tubulaire également en aluminium (réf : ra-ap ; Créatube). L'un est relié à un pieu de fondation (bleu ; réf : H.74.5 x l.7.5 x P.74.5 cm ; Leroy Merlin) et possède une feutrine blanche (jaune) format A3 (Coupon feutrine épaisse adhésive 3mm, Blanc 0149 ; Feutrine-express), servant de support de pose aux insectes. Ces insectes sont attirés par la lampe UV de 8W et alimentée en 12V la surplombant (rouge 1 ; réf : Two diodes lamp 12v ; Entosphinx). La lampe est allumée via un détecteur crépusculaire (rouge 2 ; réf : PHODET ; Le club LED) qui à partir d'un certain seuil de luminosité ambiant atteint à une heure très proche de celle du coucher du soleil (testé en milieu ouvert et en milieu fermé à l'heure d'été), permet au courant de passer. La lampe est alimentée par deux blocs de batteries (rouge 3 ; réf : 8.4 V 4x18650 ; Return 224), via une prise USB. Les blocs batteries sont composés de 4 accumulateurs chacun (tension de 3.6v, capacité de 2.6ah ; réf : accus lithium-ion icr18650-26j ; Samsung) pouvant être rechargés simultanément via un chargeur (réf : NITECORE i4 10340 à 26650 ; Nitecore). La lampe étant alimentée en 12V, un transformateur/élévateur de tension (réf : Elévateur Transformateur Tension IP-68 Entrée 5-11V Sortie 12V 10A ou 12V Step-Up Voltage Regulator ; Pololu) afin de passer de 8,4V à 12V. Cependant, une opération sur les blocs batteries visant à détruire le système de sécurité est nécessaire pour permettre aux batteries de passer de 5V à 8,4V.

Les composants électroniques sont reliés entre eux de manière étanche à l'aide d'un boîtier de dérivation IP-68 à 2 entrées (OT6643 ; Le club LED). Toute la partie électronique est fixée sur une plaque en PVC (vert) (réf : 5064401 ; Mcover). En face de la feutrine, à 37 centimètres, se trouve un smartphone (orange) (réf : Ulefone Armor X7 IP-68 ; Ulefone), maintenu parallèle à cette dernière grâce à un socle de téléphone (réf : PX2591-908 ; Pearl) vissé sur le tube grâce à une vis ¼ mâle ¼ mâle (réf : Neewer - diamètre de 16 mm ; longueur de 20 mm). Le téléphone est préalablement paramétré grâce à une application (TimerCamera v10.20.05) afin de prendre des photos à intervalle de 15 minutes dès le coucher du soleil et jusqu'à épuisement de sa batterie. Tout est automatique une fois le dispositif placé selon le protocole. Pour assurer la perpendicularité du dispositif par rapport au sol, le tube passant par le pieu de fondation est contraint par deux cales en bois (réf : Leroy Merlin) percées au diamètre du tube et d'épaisseur 3cm. Le pieux doit être entièrement enfoncé dans le sol (variable selon le type de sol), ce qui donne une hauteur totale au dispositif d'un mètre de haut. Enfin, tous les composants électroniques de ce système est sous la norme IP-67 ou 68 qui garantit l'étanchéité du dispositif.

L'ensemble des étapes de fabrication est disponible dans la notice en Annexe 1.

Globalement, le dispositif a été fonctionnel, mais de nombreuses limites sont apparues au cours de la première année de cette première année de test et ont pu affecter le bon déroulement des sessions d'échantillonnage. L'ensemble de ces limites sont présentées dans la **partie 7** de ce document.



Figure 1 : Illustration du dispositif

3.2. Résultats obtenus à l'aide du dispositif

Afin d'évaluer la capacité du dispositif à collecter **1)** des photographies identifiables, **2)** des données sur la répartition des espèces et **3)** à échantillonner les communautés de manière fiable et précise, des analyses ont été réalisées sur les données collectées sur les 14 sites suivis par les gestionnaires d'espaces verts. De plus, des analyses ont également été menées sur les données issues du site au MNHN qui sert à la fin de témoin car le montage des dispositifs y était optimal, et que 3 dispositifs y étaient en configuration standard avec un quatrième en configuration rapprochée (i.e. le smartphone est rapproché de 10 cm) pour évaluer l'amélioration du pourcentage d'identification des papillons. De plus, le site du MNHN a fait l'objet de suivis sur plusieurs nuits consécutives pour évaluer la sensibilité du dispositif à de faibles variations dans la date d'échantillonnage.

Limites de l'étude

Globalement, le développement du dispositif a été un succès et a permis d'obtenir un produit minimum viable. Cependant des problèmes liés aux dispositifs ont émergées au cours du démonstrateur et sont autant de limites qu'il sera nécessaire de dépasser pour assurer le déploiement national du projet. L'ensemble de ces limites ont impacté la qualité des données collectées pendant le démonstrateur. En effet, au sein des différents sites et dispositifs par site, de nombreuses sessions ont été manquantes (ex : liés à une mauvaise programmation de l'heure de déclenchement des photographies, un lancement du mode selfie ou encore un lancement en mode vidéo) ou avec une qualité fortement dégradée (ex : peu d'heures de suivi, nombreuses photographies floues), ce qui a engendré qu'une partie des analyses initialement prévues et avec des tests statistiques (figure 2, annexe 3 pour les détails d'abondance par site et par session).

Enfin, les résultats présentés couvrent l'ensemble des Lépidoptères, macro et micro confondus. Cependant, par la suite de Lépinoc, nous nous concentrerons sur les macro-hétérocères et potentiellement nous incluerons également Tortricidae et les Pyralidae car ils sont facilement identifiables (André Claude, communication personnelle). Lépinoc a également permis d'échantillonner de nombreux autres Ordres qui ne sont pas actuellement la priorité du projet, mais qui pourront être traités a posteriori.

Parmi les photographies non-identifiées, nous n'avons également pas pu déterminer si elles n'étaient pas identifiables avec la qualité optimale de Lépinoc, ou s'il s'agissait de problèmes survenus au cours des échantillonnages (ex : flou, contre-jour...).

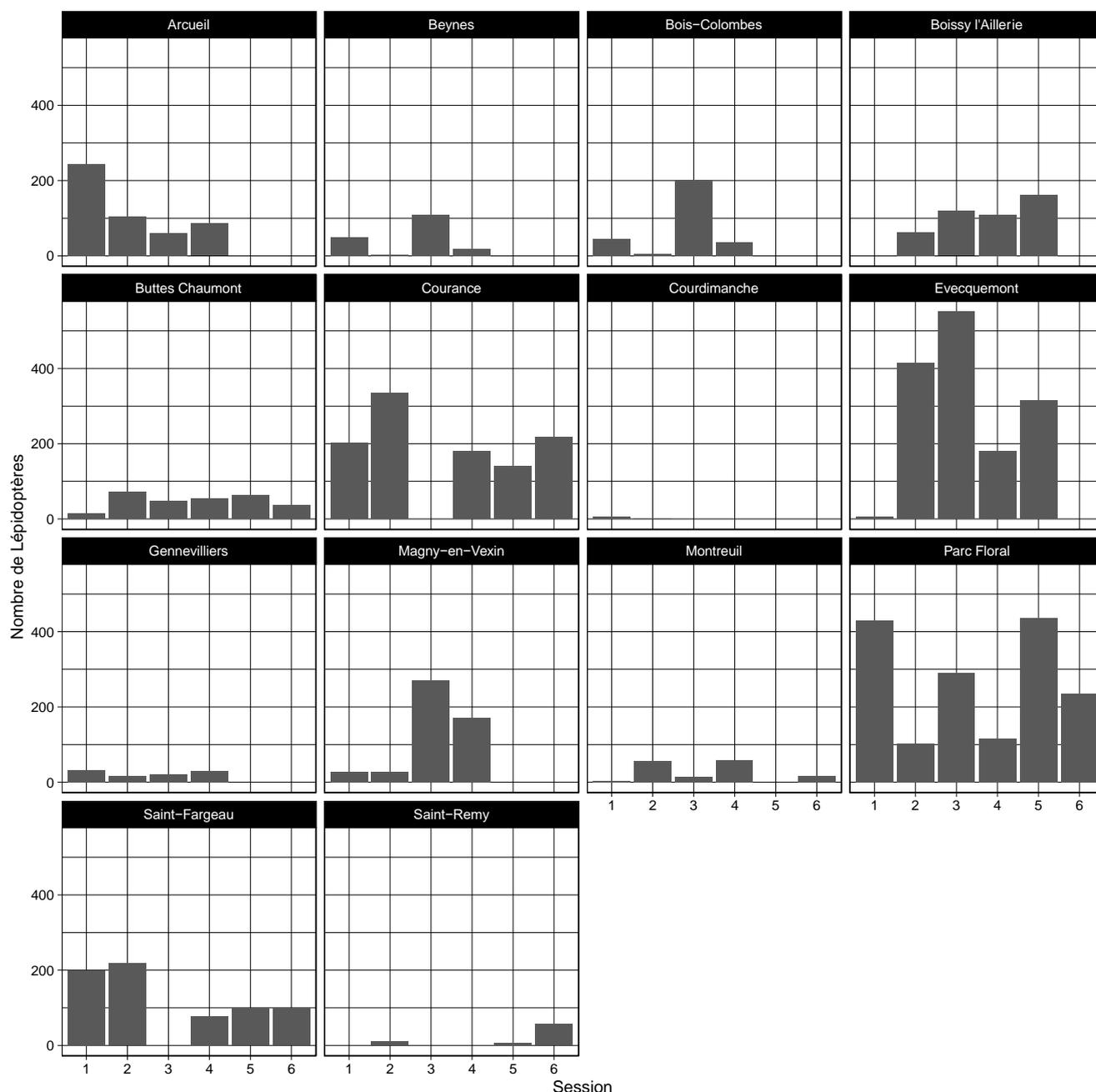
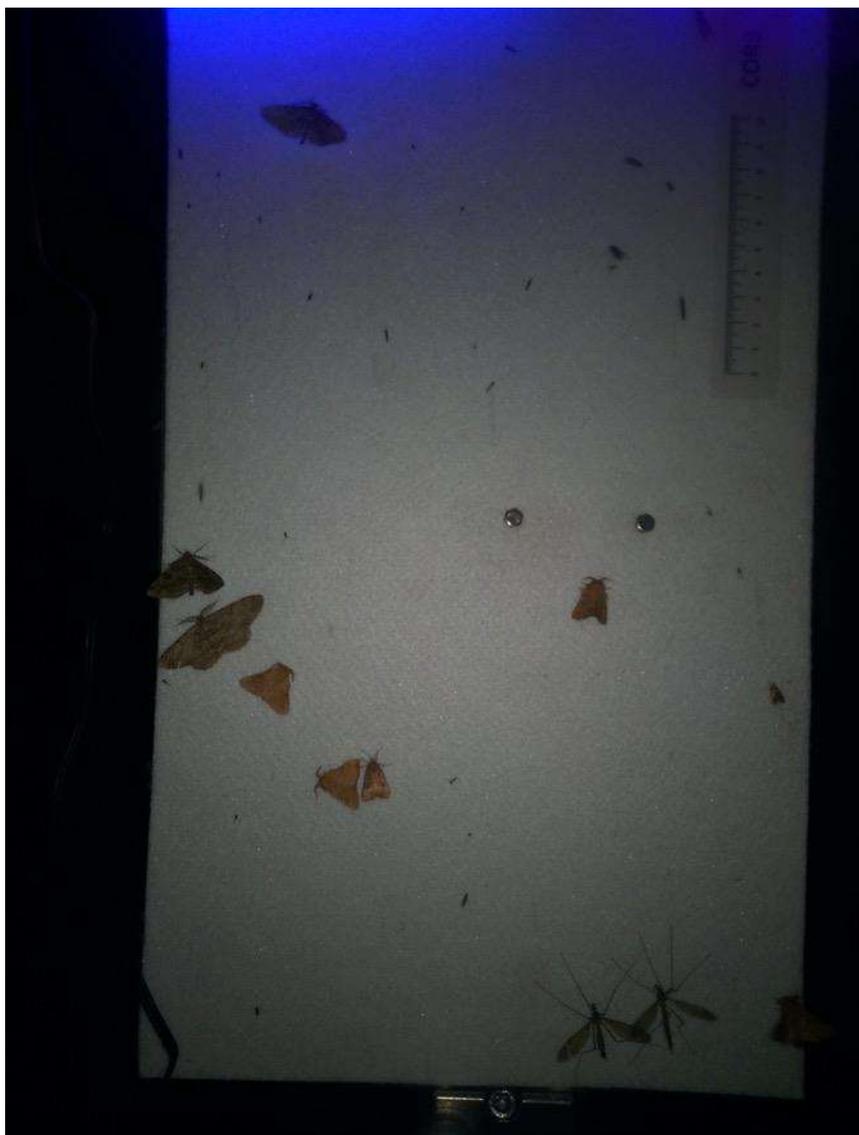


Figure 2 : Abondance par site et par session pour les sites suivis par les gestionnaires



3.2.1. Résultats sur la capacité du dispositif à collecter des photographies identifiables

La figure 3 représente une photographie obtenue en position standard, la figure 4 une photographie obtenue en position rapprochée.

Sur les 7 375 papillons pris en photographie sur les sites suivis par les gestionnaires, environ 56% ont été identifiés à la famille, 39% au genre et 22% à l'espèce (figure 4).

Figure 3 : exemple de photographie avec le dispositif en position standard



Figure 4 : Exemple de photographie en position rapprochée

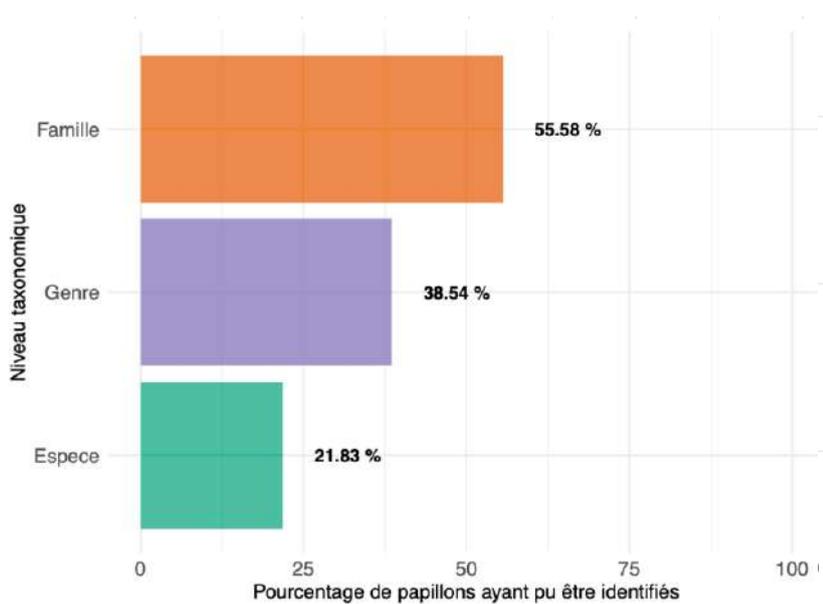


Figure 5 : Pourcentage d'identification par niveau taxonomique pour les sites suivis par les gestionnaires

En comparaison, sur les 1 846 photographies de papillons obtenues à l'aide des trois dispositifs en configuration standard qui ont valeur de témoin, 53% des papillons ont été identifiés à la famille, 33% au genre et 27% à l'espèce (figure 6).

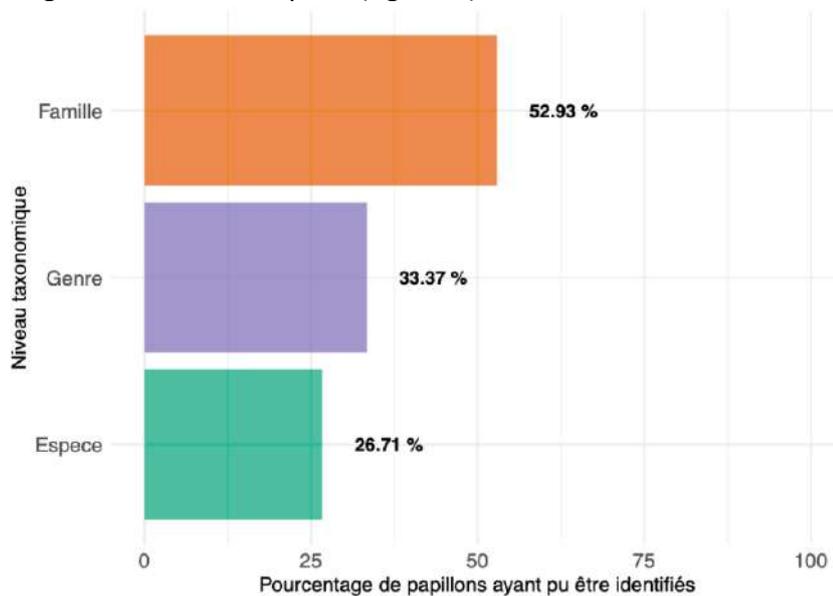


Figure 6 : Pourcentage d'identification par niveau taxonomique pour les dispositifs en position standard au MNHN

Pour le seul dispositif au MNHN en position rapprochée, sur 615 photographies de papillons, 80% ont été identifiées à la famille, 63% au genre et 47% à l'espèce (figure 7).

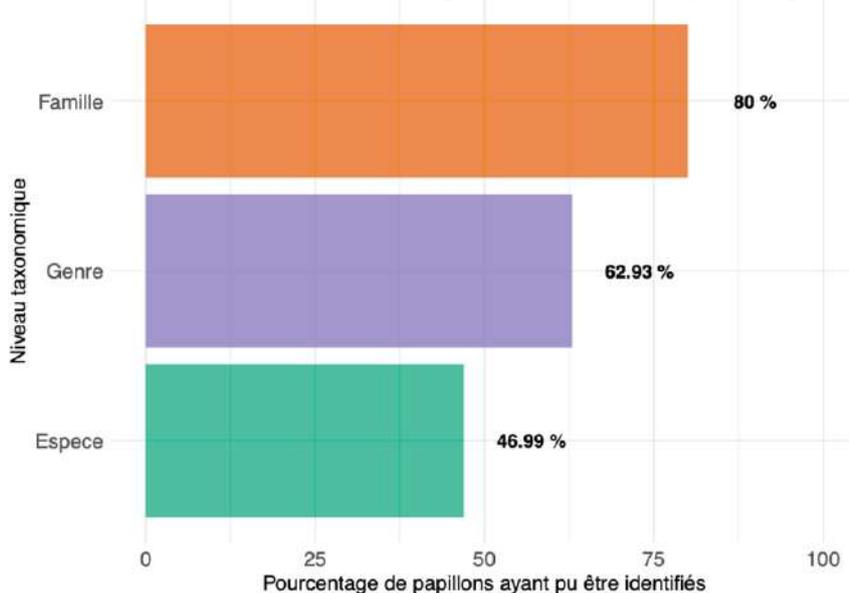


Figure 7 : Pourcentage d'identification par niveau taxonomique pour le dispositif en position rapprochée au MNHN

Sur un sous-jeu de données de 1004 photographies, les causes de non-identification au moins à la famille sont le contre-jour (59% des non-identifications) puis le flou (32%) pour les dispositifs des sites suivis par les gestionnaires (figure 8). Au MNHN (figure 9), sur 100 photographies pour les dispositifs en configuration standard, le flou est la principale cause de non-identification (50%), suivi par le contre-jour (41%)

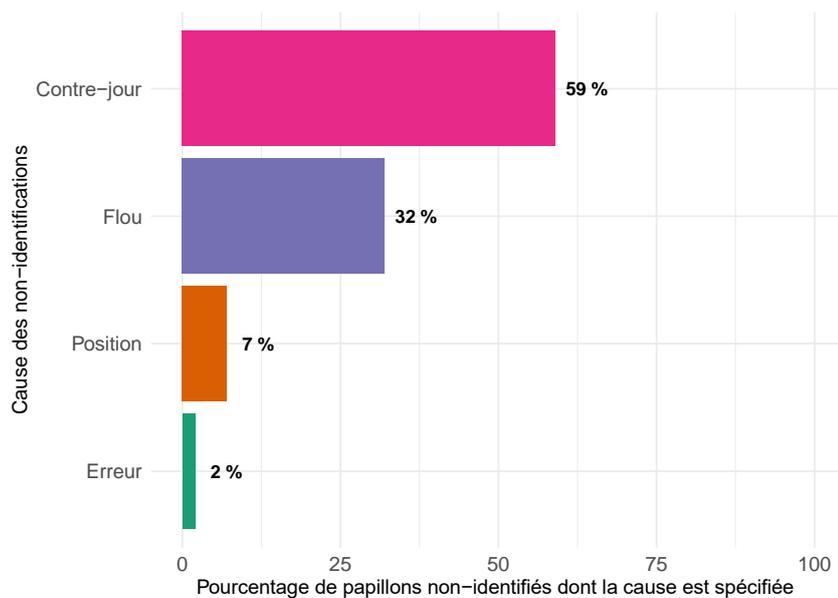


Figure 8 : Causes de non-identification sur un sous-jeu de données des sites suivis par les gestionnaires

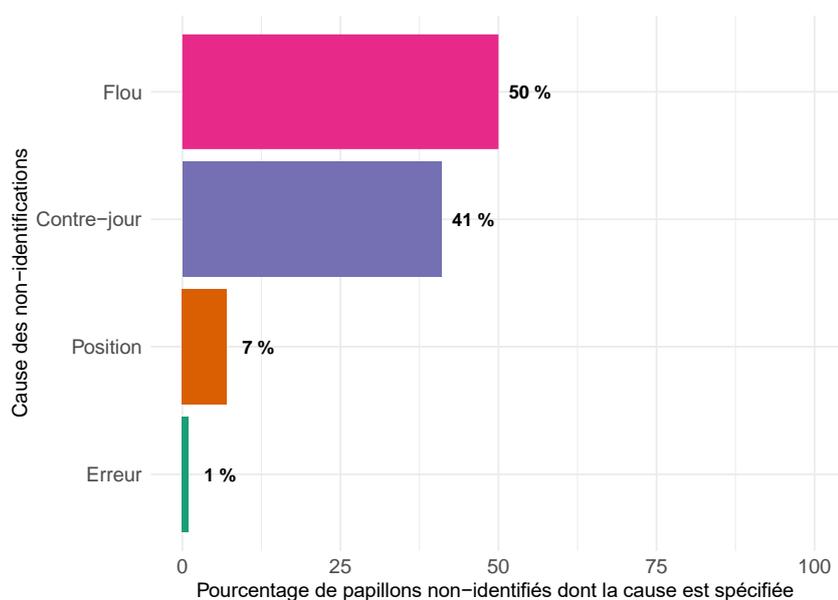


Figure 9 : Causes de non-identification sur un sous-jeu de données des dispositifs en position standard au MNHN

Pour le dispositif en configuration rapprochée (figure 10) et sur 47 photographies, le flou devient la cause majeure de non-identification (64%), loin devant le contre-jour (11%).

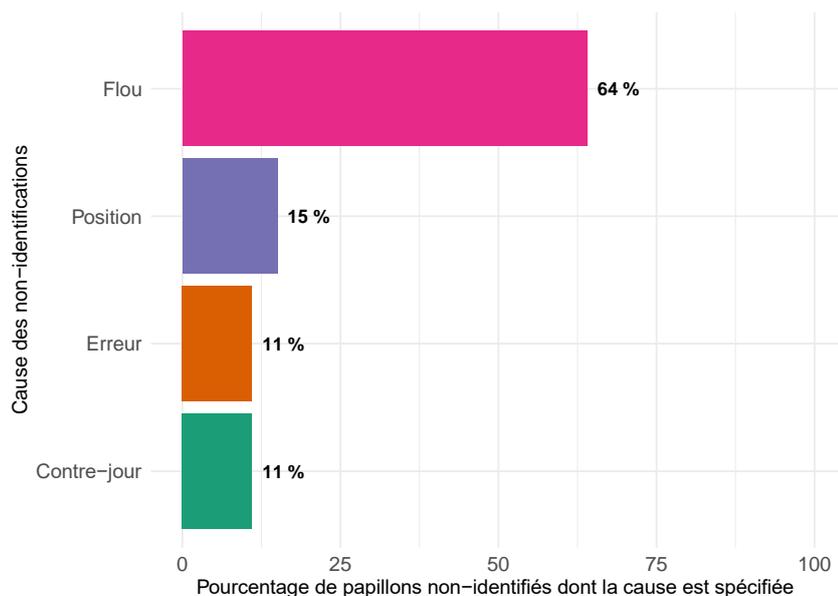


Figure 10 : Causes de non-identification sur un sous-jeu de données issu du dispositif en position rapproché au MNHN

Ainsi, le contre-jour est un facteur limitant pour l'identification des papillons. De manière plus générale, les papillons positionnés au centre de la feutrine sont plus nets et leurs couleurs sont mieux représentées que les papillons en bordure, qu'ils soient proches de la lampe à l'origine du contre-jour ou non (tableau 1). En rapprochant le téléphone, on diminue fortement le nombre de non-identification, et le flou devient la cause principale de non-identification.

Contre-jour

Cependant, on ne peut pas comparer l'abondance et la diversité obtenu avec le dispositif en disposition rapproché avec les dispositifs en position standard, car les conditions ne sont pas du tout semblables, notamment en termes d'habitat. En effet, le dispositif en position rapproché était placé dans un habitat forestier, proche d'une marre. Il en résulte que la grande majorité des insectes pris en photographies sont des Trichoptères et pas des Lépidoptères.

Cependant, le dispositif développé par [24] puis repris par Donald Hobern pour le développer d'un dispositif mondial, montre une distance entre la caméra et le support de pose des Lépidoptères bien plus faible que dans notre cas, bien que la caméra employée soit équipée d'un objectif avec un plus grand angle que le smartphone employé dans le cadre de Lépinoc (figure 11).

Tableau 1 : Exemple de photographies zoomées de Lépidoptères se trouvant au centre ou en bordure de la feutrine

	Boarmie	Lithosie complanule	Réseau	<i>Ethmia terminella</i>	Céladon	Livrée des arbres
Centre						
Bordure						Geometridae 



Figure 11 : Dispositif issu de Bjerge et al. (2021) et adapté par Donald Bohern, ainsi qu'un exemple de photographie issu de ce dispositif

Flou

Le flou pour sa part a plusieurs origines (figure 12). Dans au moins un cas, il était lié à une rayure de la caméra du smartphone. Dans une partie des autres cas, il était issu d'un mauvais parallélisme de la feutrine par rapport au smartphone, essentiellement à la première session où le niveau d'identification

était globalement plus bas qu'au cours des sessions suivantes (figure 13). Cependant, pour une large proportion de photo floues, aucune cause évidente n'a été identifiée. En effet, fréquemment, le smartphone ne semblait pas être en mesure de faire le point sur la feutrine sans raison évidente. Une possibilité tiendrait à la présence de rosée sur la caméra. Une autre solution est que l'application smartphone était peu adaptée pour ce type d'utilisation, avec un comportement difficile à anticiper.

Feutrine mal orientée



Probable écran rayé



Inexpliqué



Figure 12 : Exemples de photographies floues

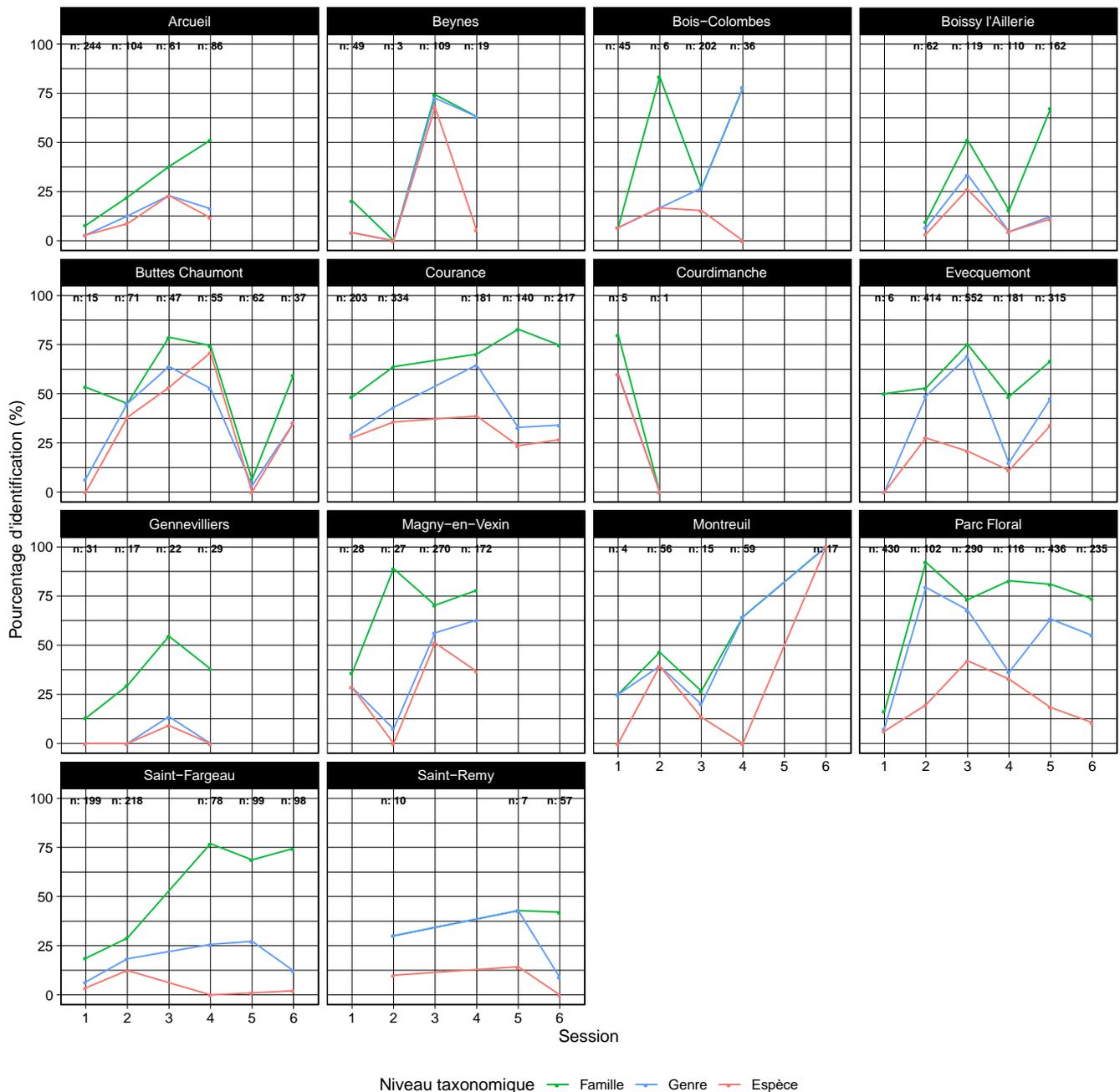


Figure 13 : Evolution du pourcentage d'identification par niveau taxonomique et par site en fonction de la session

3.2.2. Capacité du dispositif à collecter des données sur la répartition et l'activité des espèces

Résultats généraux

Au total, sur l'ensemble des sites et des sessions incluant le site suivi au MNHN, 9 836 papillons appartenant à au moins 22 familles, 101 genres et 105 espèces ont été pris en photographie. De plus, de nombreux autres Ordres ont été observés sans être identifiés à des niveaux taxonomiques plus précis (Coléoptères, Hyménoptères, Diptères, Ephéméroptères, Trichoptères, Araneae, Stylommatophora) ainsi que des interactions types proies-prédateurs. Parmi les espèces de papillons ayant été identifiées, une d'entre elle était déterminante ZNIEFF pour la région Île-de-France (*Arctia villica*), 5 d'entre elles ne sont pas référencées à Paris sur l'INPN (*Perinephela lancealis* ; *Dolicharthria punctalis* ; *Archips xylosteana* ; *Colocasia coryli* ; *Spilonota ocellana*), et d'autres sont faiblement documentées en Île-de-France dans l'INPN (ex : *Palpita vitrealis* et *Gastropacha quercifolia*). De plus, des espèces nuisibles ont été échantillonnées (*Cydalima perspectalis*, *Thaumetopoea pityocampa*).

Malgré cette diversité d'insectes observés, une minorité de taxons dominant le jeu de données. Par exemple, sur les 104 espèces strictement identifiées, 82 ont moins de 20 observations (figure 14 ; cf annexe 4 pour les figures équivalentes pour la famille et le genre).

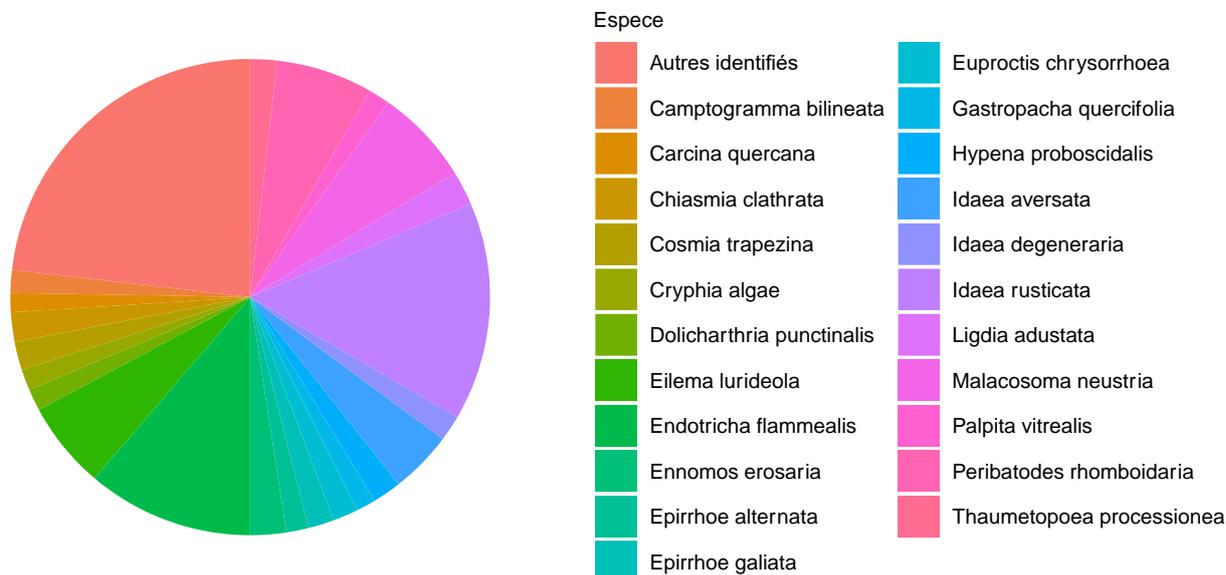


Figure 14 : Répartition par espèces sur l'ensemble des insectes identifié à l'espèce. Les espèces "Autres identifiées" correspondent à l'ensemble des espèces avec moins de 20 photographies. Les autres espèces ont 20 ou plus de photographies

Parmi ces espèces, seulement neuf d'entre elles totalisent plus de 60 observations, avec un maximum de 625 observations pour une espèce (Acidalie rustique ; *Idaea rusticata*). Ainsi, ces neuf espèces représentent entre 0,6 et 6,4% de l'ensemble des papillons photographiés (figure 15).

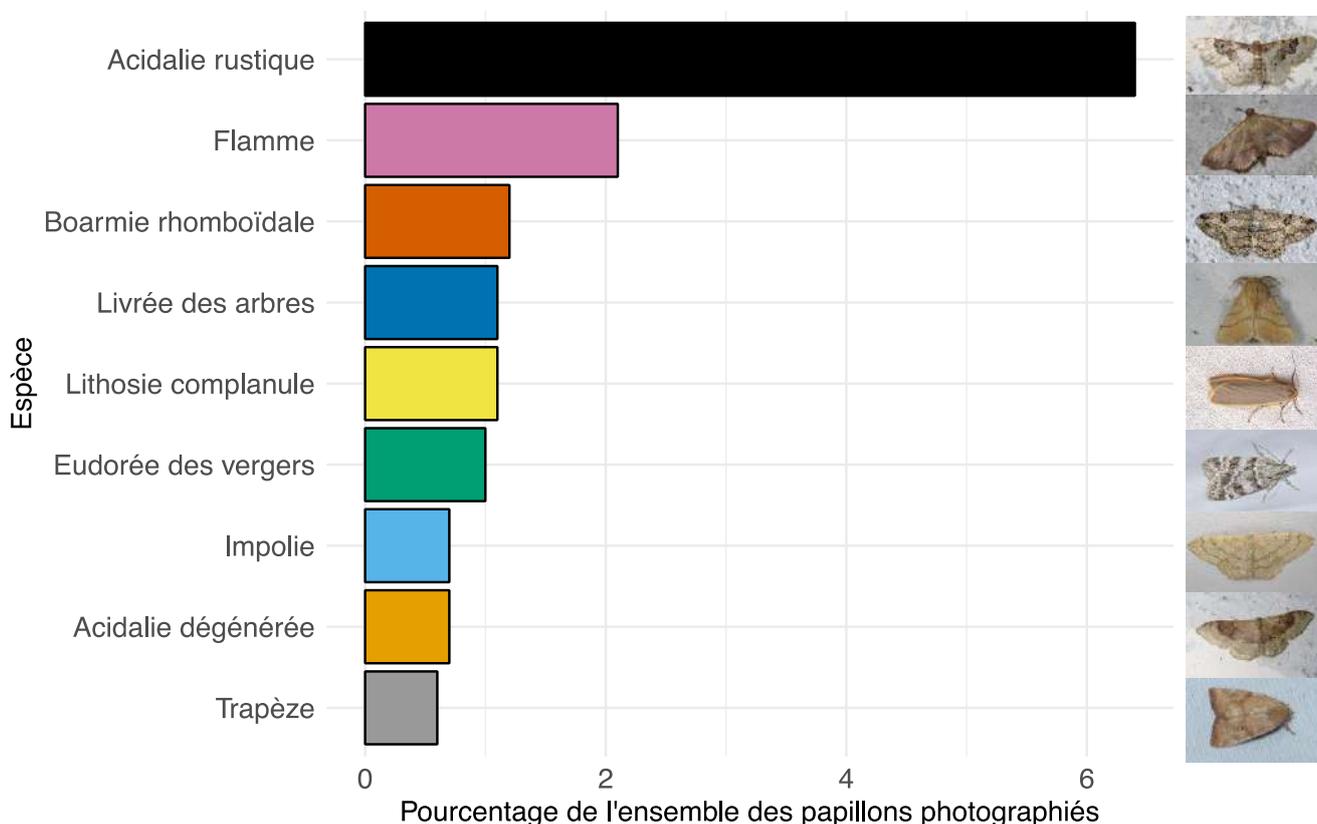


Figure 15 : pourcentage de l'ensemble des papillons photographiés représentés par les 9 espèces les plus abondantes du jeu de données.

Courbe d'activité par espèce

Le dispositif Lépinoc pourrait également permettre d'évaluer les heures d'activités des différentes espèces de papillon de nuit. Il s'agit ici d'une réelle plus-value d'un dispositif de suivi automatisé fondé sur des photographies, les données sur l'activité des papillons de nuit par taxon étant globalement manquantes dans la littérature scientifique (André Claude, communication personnelle). Dans l'exemple ci-dessous (figure 16) qui porte sur les espèces strictement identifiées les plus abondantes (nombre d'occurrence compris en 34 et 84, moyenne = 64), on peut observer que l'activité des espèces est très variable selon les taxons. Cependant, c'est l'acquisition massive de données standardisées sur ces insectes qui permettra d'évaluer réellement leurs heures d'activité.

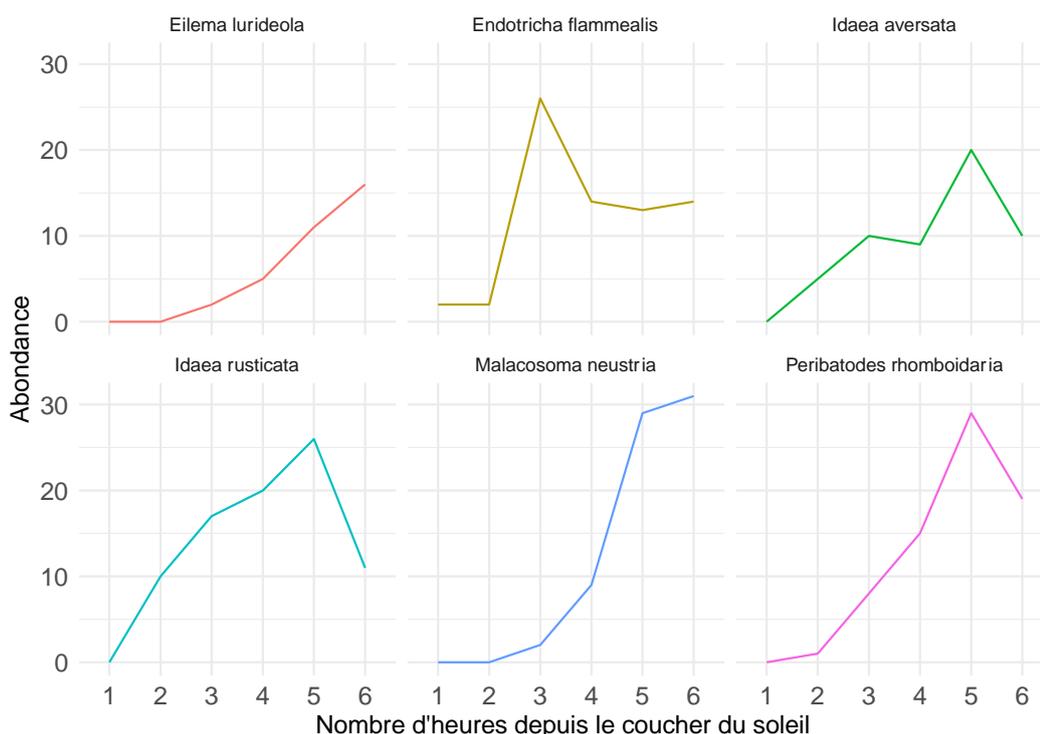


Figure 16 : courbe d'activité en fonction du nombre d'heures depuis le coucher du soleil pour les 6 espèces les plus abondantes au sein des sites suivis par les gestionnaires

3.2.3. Capacité du dispositif à échantillonner les communautés de manière fiable et précise

Des courbes d'accumulation, d'abondance et de richesse en fonction du nombre d'heures depuis le coucher de soleil ont été réalisées en ne considérant que les données issues des sites suivis par les gestionnaires, et sur un jeu de données limité permettant un effort d'échantillonnage commun. Ainsi, seules les données comprises entre 0h depuis le coucher du soleil et 6h après le coucher du soleil ont gardées.

Abondance et richesse

De plus, abondance et richesse augmentent jusqu'à environ 4h après le coucher du soleil, puis stagnent pour l'abondance ou décroissent pour la richesse (figure 18). Ces courbes ne représentent cependant pas uniquement l'activité des papillons car elles sont cumulatives pour deux raisons principales :

- des papillons se posent et restent pendant une durée variable selon les espèces et les individus, mais sans que l'on puisse distinguer à ce stade s'il s'agit d'un même individu ou d'individus différents ;

- en laissant la lampe allumée toute la nuit, le dispositif attire de plus en plus d'individus car les insectes ont plus de temps pour détecter la lampe

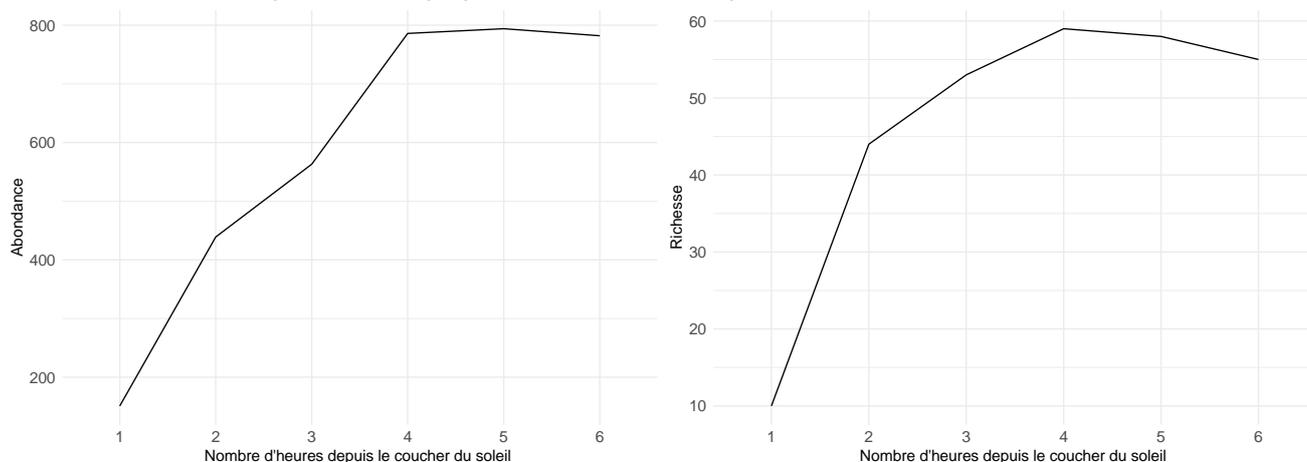


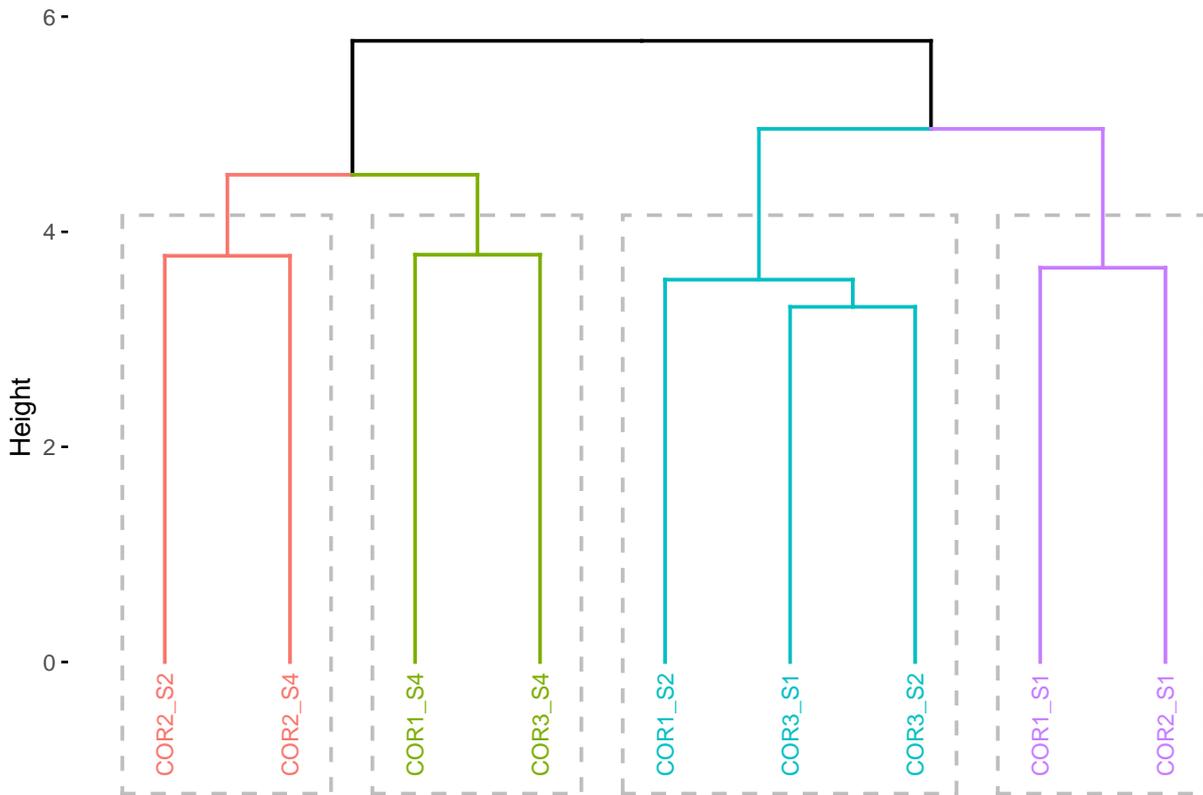
Figure 17 : Abondance et richesse en fonction du nombre d'heures depuis le coucher du soleil pour les sites suivis par les gestionnaires

Pour réduire le coût des dispositifs, il pourrait donc être envisagé de réduire la durée des sessions, par exemple en ne gardant que 3h de suivis (entre 1h et 4 après le coucher du soleil), sans impacter sensiblement la représentativité de l'échantillonnage.

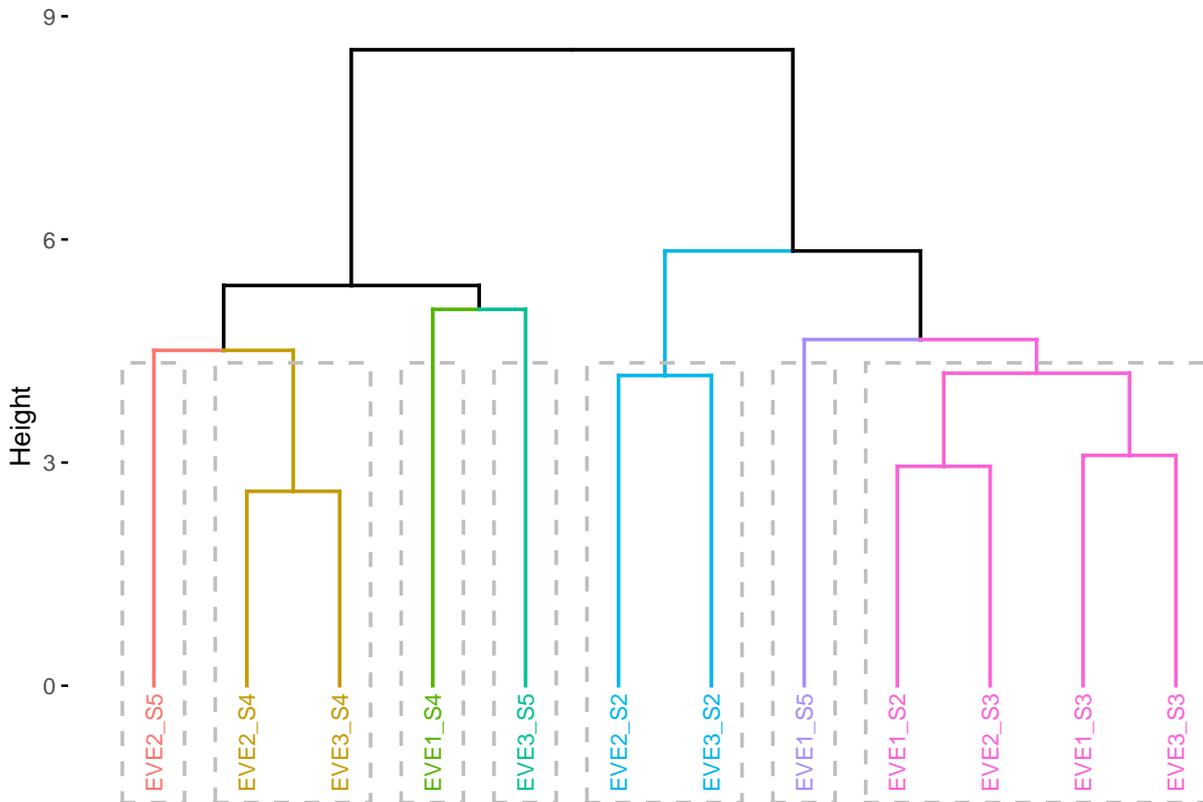
Homogénéité de la composition des communautés

De plus, les dispositifs semblent échantillonner correctement les sites, sans être fortement influencés par les micro-habitats sur lesquels ils sont situés. En effet, dans la majorité des cas où l'analyse a pu être effectuée, la composition des communautés semble d'avantage expliquée par la session que par la position du dispositif, bien que ce résultat semble être infirmé à Saint-Fargeau (code SFP) où le dispositif 1 se distingue des deux autres (figure 18). Cependant, dans ce cas le dispositif 1 était situé très proche de bâtiments et de surfaces artificialisées, ce qui n'était pas le cas des deux autres dispositifs.

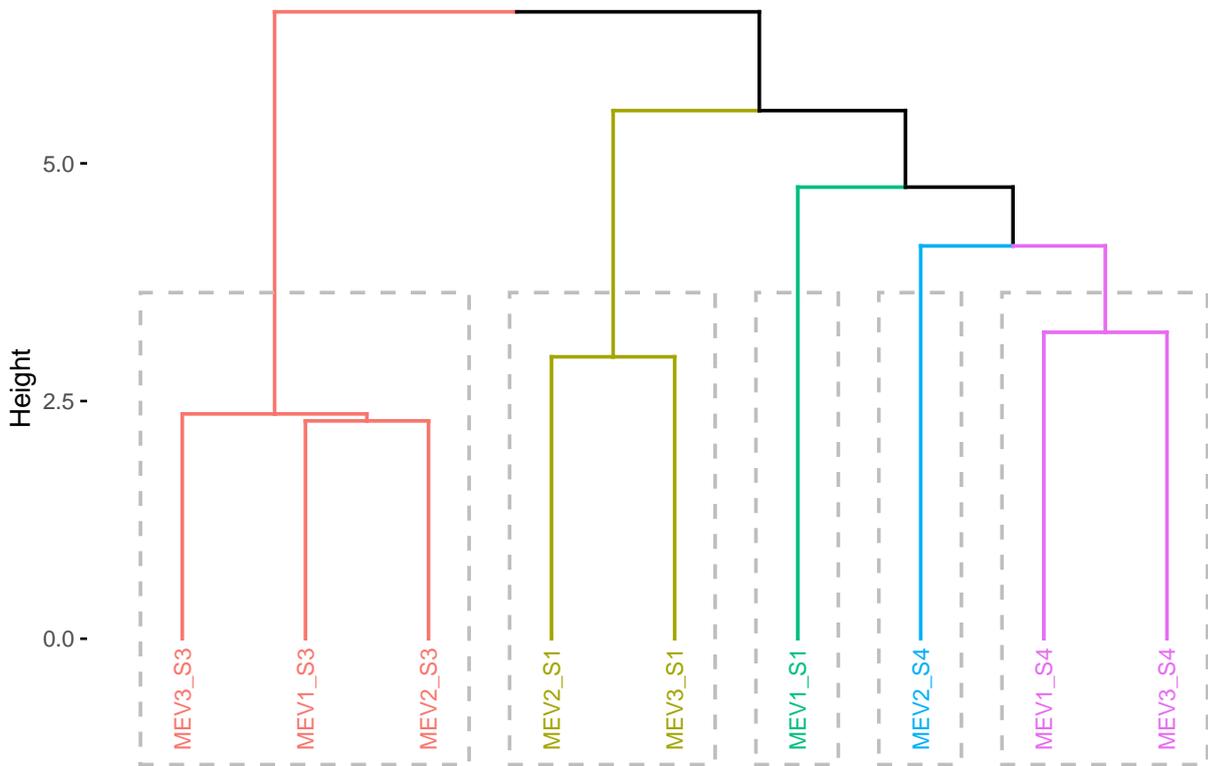
Clusterisation par dispositif et session pour Courance



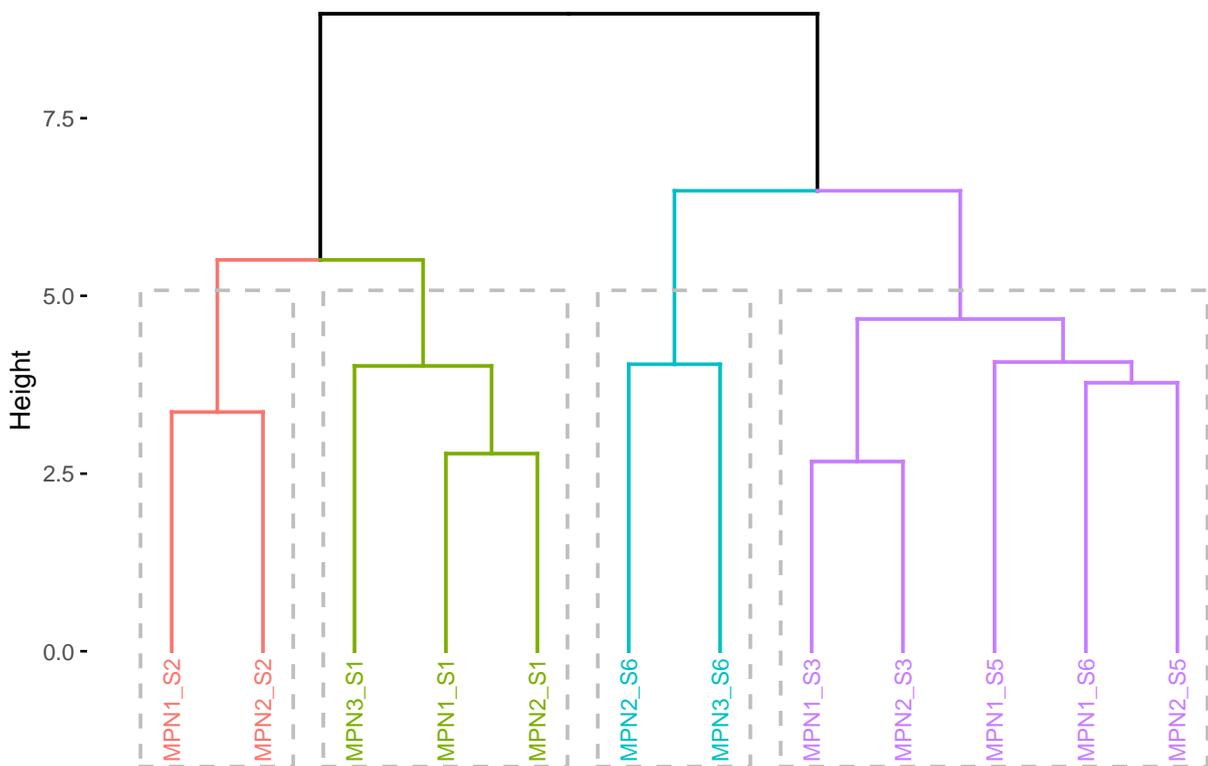
Clusterisation par dispositif et session pour Evecquemont



Clusterisation par dispositif et session pour Magny-en-Vexin



Clusterisation par dispositif et session pour le Parc Floral



Clusterisation par dispositif et session pour Saint-Fargeau

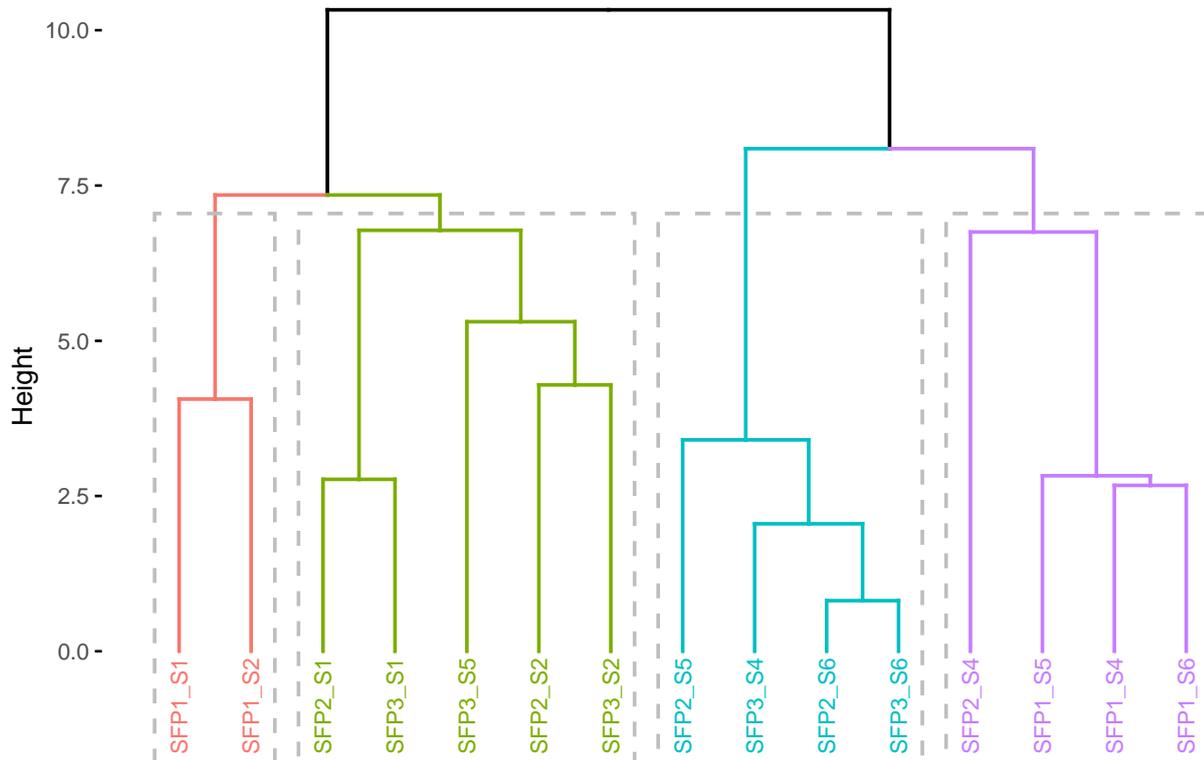


Figure 18 : Clusterisation pour différents sites suivis

Ce résultat semble être confirmé au MNHN (figure 19), même pour des sessions effectuées sur des sessions proches temporellement. Il en résulte qu'un seul dispositif pourrait suffire pour échantillonner les papillons de nuit. Cependant, il est à noter que la majorité des papillons n'ont pas pu être identifiés à l'espèce et que les matrices de distance ont été construites en supprimant les papillons n'ayant pas pu être identifiés au moins à la famille. Ainsi, notre capacité à évaluer la sensibilité du dispositif aux micro-habitats en est nécessairement influencée. Il pourrait être envisagé de garder au moins un site expérimental avec trois dispositifs pendant la phase de test de la nouvelle version du dispositif, qui permettra d'augmenter de manière importante le pourcentage d'espèces identifiées.

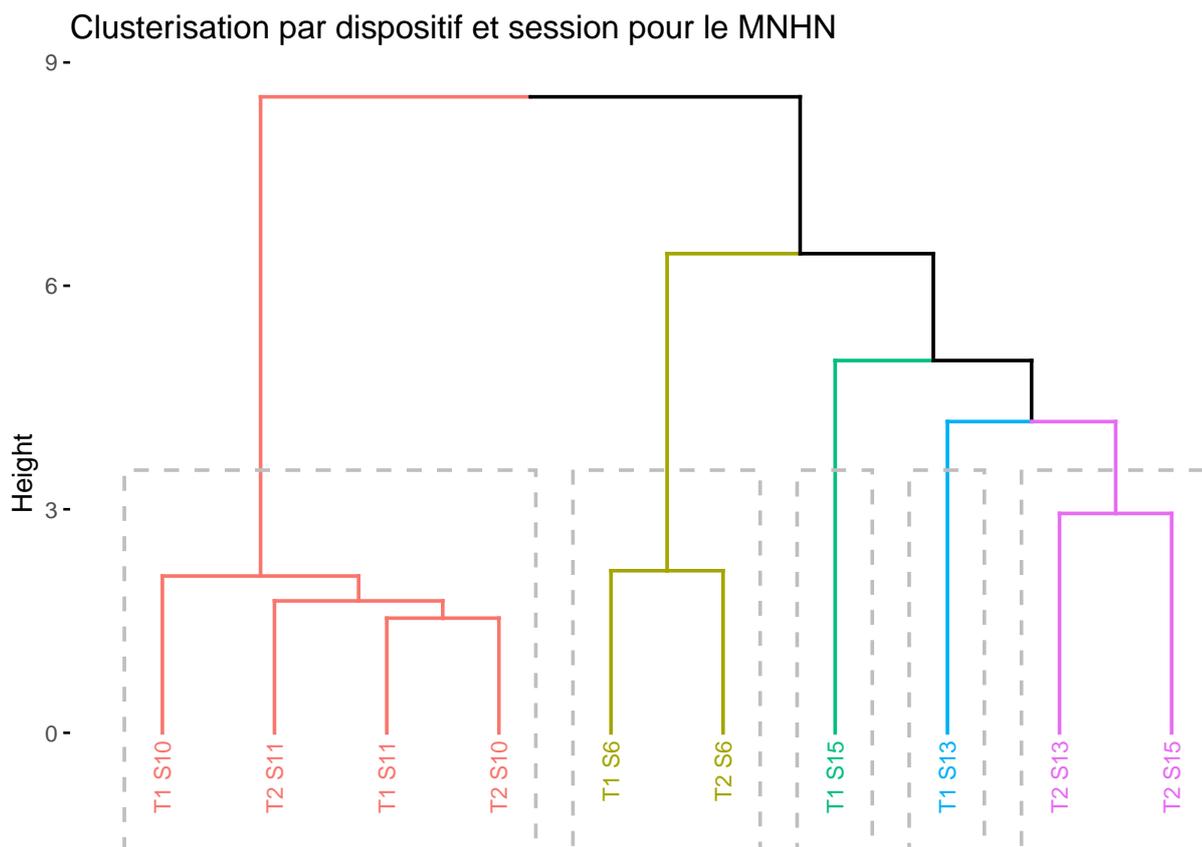


Figure 19 : Clusterisation pour le MNHN

Homogénéité de l'abondance sur plusieurs nuits d'affilées

Sur plusieurs nuits consécutives suivies MNHN, l'abondance totale est fortement variable (figure 20). Bien que le faible nombre de données empêche d'évaluer la cause de cette variabilité (météo, cycle de la lune...) ainsi que sa traduction sur la composition des communautés de papillons, ces premières tendances confirment la très forte variabilité de l'activité des papillons de nuit. Ainsi, il sera nécessaire d'assurer la collecte des variables environnementales (ex : météo, stade de la lune) et sur un nombre conséquent de points d'échantillonnage (tant spatialement que temporellement) pour valoriser les données collectées sur les papillons.

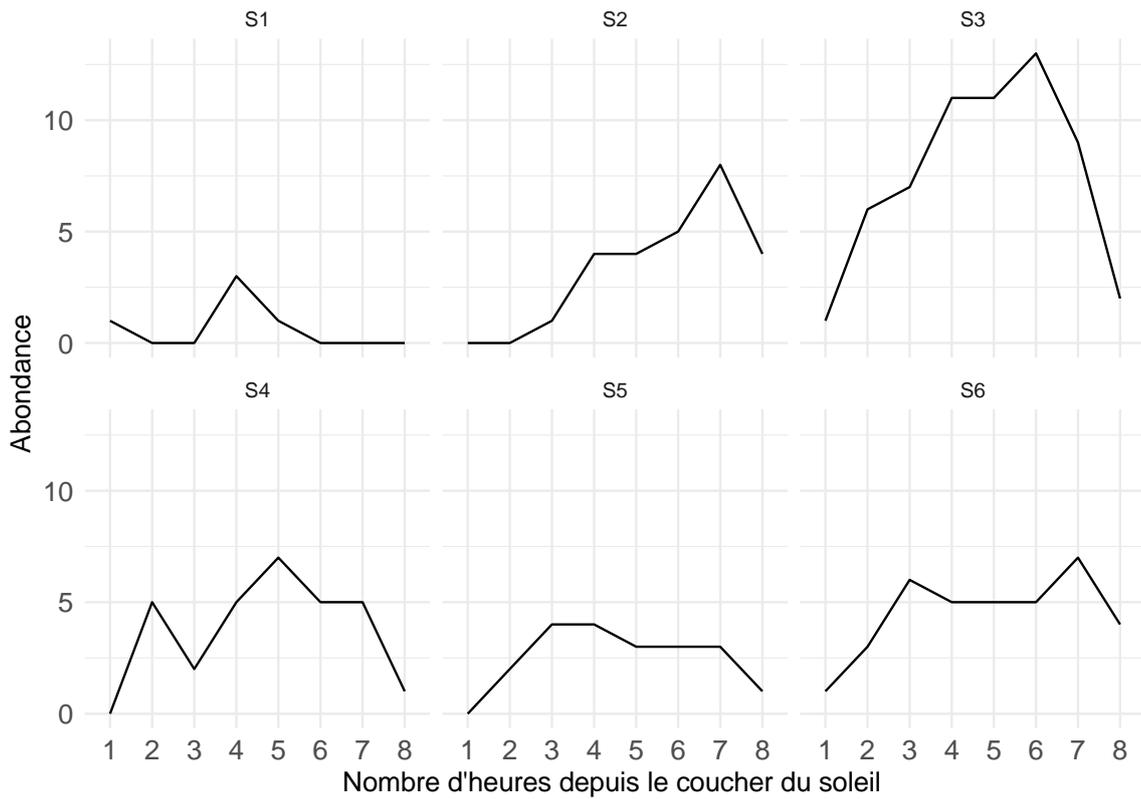


Figure 20 : Abondance des papillons de nuit en fonction du nombre d'heures depuis le coucher du soleil pour des sessions réalisées sur plusieurs nuits consécutives (S1 à S3 puis S4 à S6)

4. Protocole et animation



Résumé de la sous-partie

Plus de la moitié des participants se sont montrés assidus et motivés tout au long des relevés. Les raisons principales qui ont poussé certains participants à se démotiver, voire abandonner le suivi, sont les suivantes :

- difficulté à mettre en place le matériel
- protocole trop long ou trop compliqué
- indisponibilité due à la charge de travail ou le planning
- matériel défectueux

Ces problèmes devraient être réglés grâce à la V2 du dispositif qui sera simplifié, allégé, réduit et produira des photos plus fiables et de meilleure qualité avec une transmission simplifiée. De plus, la nouvelle version du protocole, qui consistera à ne mettre en place qu'un dispositif par site et à ne faire qu'un relevé par mois lunaire allègera de manière importante la charge de travail associée à un site.

De plus, la mise en place d'un outil d'aide à la décision pour programmation des sessions via un calendrier interactif qui intégrera la météo, le calendrier lunaire et la date de la précédente session, facilitera grandement l'organisation des participants. L'application facilitera également le transfert des données et sera lié à la construction d'une base de données qui permettra de garantir des données F.A.I.R. **Etant donné le rôle central de l'application dans le protocole et l'animation de Lépinoc, un effort particulier sera mis en place pour assurer à la fois une très bonne expérience utilisateur, et une très bonne interaction homme-machine.**

Le **facteur de motivation principal identifié est le retour sur les résultats**, c'est-à-dire les photos en elles-mêmes qui doivent être consultables par les participants et l'identification des papillons photographiés. Pour cela, nous allons développer l'application pour que les photos soient enregistrées et visibles. Il faudra que les retours de l'expert lépidoptéristes soient transmis dès réception au fur et à mesure aux participants.

Le dispositif et l'application devront autonomiser les participants le plus possible pour éviter de devoir compter sur un suivi rapproché comme nous avons fait en 2021 pour assurer des résultats corrects. Il restera éventuellement une part d'accompagnement à assurer nous-même pour le choix des sites de pose.

L'approche de recrutement des sites via l'ARB Île de France et les "têtes de réseau" semble bien fonctionner car ces relais connaissent bien le territoire et peuvent proposer un accompagnement en plus sur le terrain. Ce modèle devra être répliquée à l'échelle nationale avec d'autres ARB et PNR ou des structures comme les CPIE et CEN. De plus, ce suivi intéressait beaucoup les structures privées comme les bureaux d'études ou des groupes tels qu'ENGIE qui mettent en place leurs propres suivis sur leurs sites. Ces cibles seront donc à prendre en compte aussi dans le déploiement national (sur le modèle du suivi Vigie-Chiro, par exemple). Certaines structures comme des associations locales naturalistes ou des Parcs Nationaux ont aussi manifesté leur intérêt pour ce suivi et pourront être sollicités par la suite. Les participants doivent avoir les outils de communication leur permettant d'être eux-mêmes des ambassadeurs du projet.

4.1. Introduction et contexte

Dans le cadre du démonstrateur, nous avons développé un protocole standardisé de collecte des données. Il reposait sur la mise en place de trois dispositifs par site sur un même habitat (lorsque cela était possible) afin d'évaluer la réplicabilité entre dispositifs. Les dispositifs ont été placés de manière à ne pas être en compétition les uns avec les autres, ni avec une source de lumière artificielle (présence d'une végétation faisant écran, ou distance de minimum 100 m quand aucun écran n'est possible). Les relevés ont été effectués une nuit par session, en dehors de la pleine lune et d'une fenêtre de dix nuits autour de la pleine lune. Ils ont été répétés de juillet à septembre avec 14 jours entre chaque session d'échantillonnage. Afin de spécifier l'habitat où sont installés les dispositifs, la fiche du protocole Propage (protocole de sciences participatives de suivi des papillons diurnes également à destination des gestionnaires d'espaces verts et naturels et animé par Noé en collaboration avec Vigie Nature) est employée. De plus, les coordonnées GPS de chaque dispositif ont été renseignées. Une fois la session réalisée, les données étaient transférées par mail à Noé. La notice complète du protocole est disponible en annexe 2.

Nous avons choisi de tester ce démonstrateur auprès de la cible gestionnaire d'espaces verts et espaces naturels, car d'une part nous souhaitions avoir un cadre professionnel et bien suivi, et d'autre part nous voulions des participants déjà sensibilisés afin de maximiser les chances de succès de ce suivi. Ainsi ce démonstrateur visait à tester l'implication des participants, tester aussi nos capacités d'animation et valider, ou non, si les gestionnaires étaient une cible pertinente.

Il y avait donc 4 objectifs à remplir avec nos participants pour ce premier démonstrateur :

1. Tester notre capacité à trouver des équipes motivées et des typologies de sites variées
2. Tester nos outils d'accompagnement et de prise en main du matériel pour le suivi
3. Tester notre capacité à animer le réseau et maintenir la motivation dans la durée
4. Tester la mise en place du protocole face aux contraintes professionnelles

4.2. Tester notre capacité à trouver des équipes motivées et des typologies de sites variés

Pour cela nous avons donc cherché à mobiliser 15 sites en Ile-de-France, selon 3 typologies : urbain, péri-urbain et rural. Ces catégories ont été déterminées principalement selon la localisation géographique et le type de milieu (voir cartographie en figure 21). Ces catégories n'ont pas fait l'objet d'une prise en compte dans l'analyse, il s'agissait là seulement de varier les types de sites pour avoir un panel suffisamment large de participants et des contraintes pouvant s'appliquer à chacun des sites.

4.2.1. Notre démarche de sélection des sites

Nous avons fait appel à :

- Notre réseau, notamment l'Agence Régionale de la Biodiversité en Ile-de-France, qui nous a mis en contact avec des gestionnaires ayant l'habitude de participer à des suivis naturalistes. Cela a forcément apporté un biais sur la motivation des participants mais nous avons besoin d'avoir des participants fiables et motivés pour pouvoir tester réellement le suivi.
- Des "têtes de réseaux" comme la Communauté d'Agglomération de Cergy Pontoise, les PNR du Vexin, du Gâtinais Français et de la Haute Vallée de Chevreuse qui ont trouvé les sites et les communes où assurer les relevés.
- Nos partenaires privés, Storengy et ENGIE Lab CRIGEN (tous deux filiales du groupe ENGIE). Leur intérêt commun pour le sujet de la lutte contre la pollution lumineuse et la R&D ont fait converger nos ambitions pour une collaboration sur ce projet. Ainsi, en plus d'un accompagnement technique sur le développement du dispositif et leur implication dans le COS,

nous avons eu la possibilité de mettre en place le suivi sur 3 des sites Storengy (voir liste des sites).

Le critère principal pour le choix du site était qu'il soit soit ouvert (prairie, pelouse...) et idéalement fermé au public la nuit. Il était ensuite laissé à la charge des équipes de trouver le bon endroit de pose (selon les recommandations listées en annexe 2). Nous avons ainsi eu des sites tels que des parcs urbains, des cimetières, mais aussi des sites agricoles ou des espaces naturels.

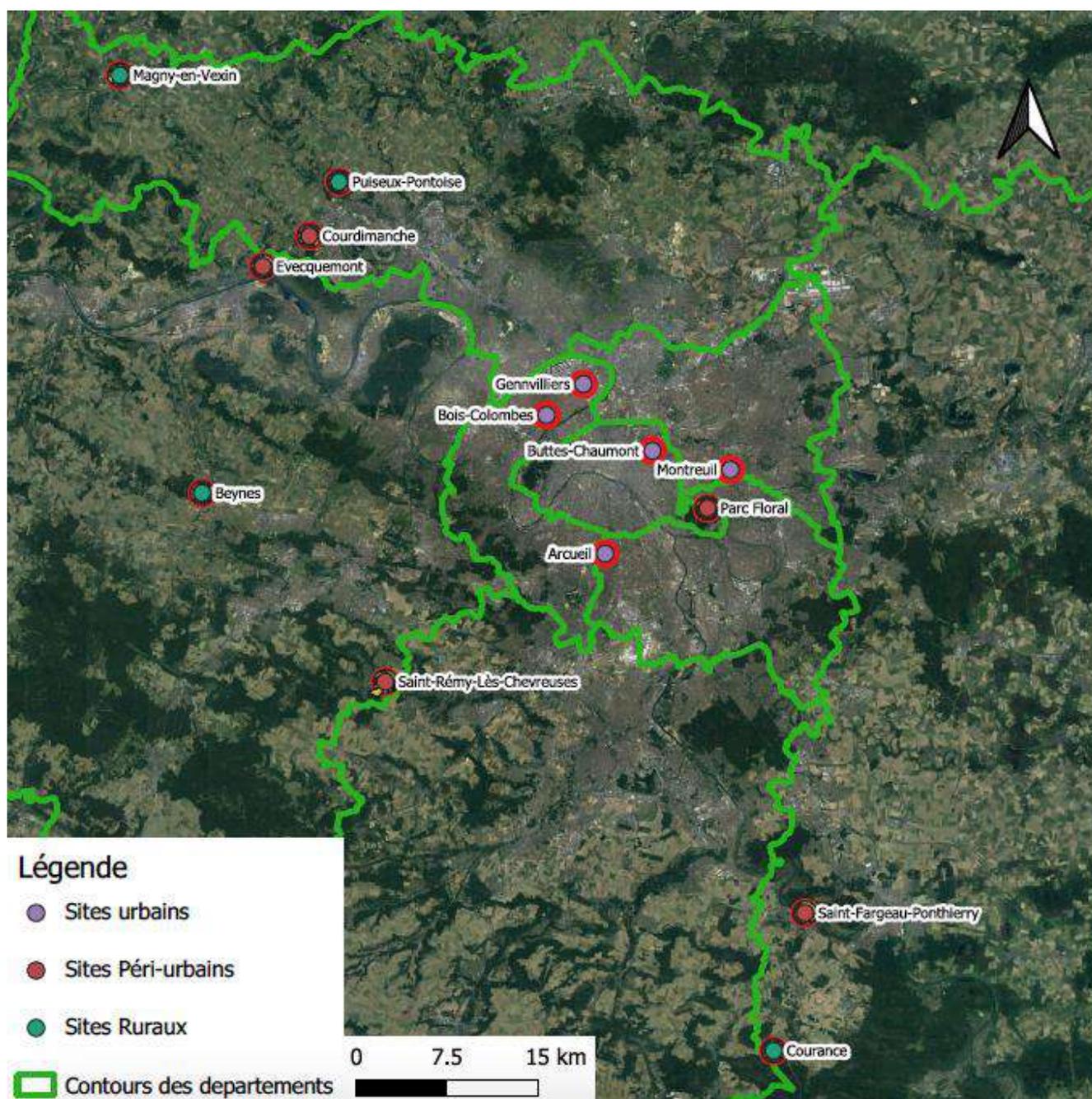


Figure 21 : Cartographie de la répartition des sites en Ile-de-France.

La liste des sites est la suivante :

Mairie de Paris : parc des Buttes-Chaumont et Parc Floral de Paris
Ville d'Arcueil – Parc Paul Vaillant Couturier
Ville de Gennevilliers – Parc des Sevines
Ville de Montreuil – Parc Montreau

Communauté d'Agglomération de Cergy-Pontoise : le Centre de production végétale de Puiseux-Pontoise et le cimetière de Courdimanche

Parc Naturel Régional du Gâtinais Français : jardins de Courances et base de loisirs de Saint-Fargeau-Ponthierry

Parc Naturel Régional de la Haute Vallée de Chevreuse : Réserves Naturelles Régionales de Val et Coteau de St-Rémy / Etangs de Bonnelles

Parc Naturel Régional du Vexin Français : cimetière et jardins communaux partagés d'Evécquemont et le cimetière de Magny-en-Vexin

Storengy : siège - Bois-Colombes ; site de stockage et GIP - Beynes

4.2.2. Conclusions sur la sélection des sites

L'approche de recrutement des sites via l'ARB Île de France et les "têtes de réseau" semble bien fonctionner car ces relais connaissent bien le territoire et peuvent proposer un accompagnement en plus sur le terrain. Ce modèle devra être répliqué à l'échelle nationale avec d'autres ARB et PNR ou des structures comme les CPIE.

De plus, nous avons pu constater au fur et à mesure du projet que ce suivi intéressait beaucoup les structures privées comme les bureaux d'études ou des groupes tels qu'ENGIE qui mettent en place leurs propres suivis sur leurs sites. Ces cibles seront donc à prendre en compte aussi dans le déploiement national (sur le modèle du suivi Vigie-Chiro, par exemple).

Enfin, certaines structures comme des associations locales naturalistes ou des Parcs Nationaux ont aussi manifesté leur intérêt pour ce suivi et pourront être sollicités par la suite.

La mise en place de convention n'a pas été nécessaire, seulement une attestation de non responsabilité en cas de vol du matériel pendant les relevés.

4.2.3. Influences du profil des participants et de la typologie des sites

Concernant les profils des participants, ils étaient plus variés que ce que nous avons prévu (figure 22). Au-delà des gestionnaires (jardiniers, gardiens, techniciens des espaces verts municipaux), nous avons eu des profils tels qu'un élu, des citoyen.ne.s dont une apicultrice, des responsables "nature en ville" (ou poste équivalent selon les structures).

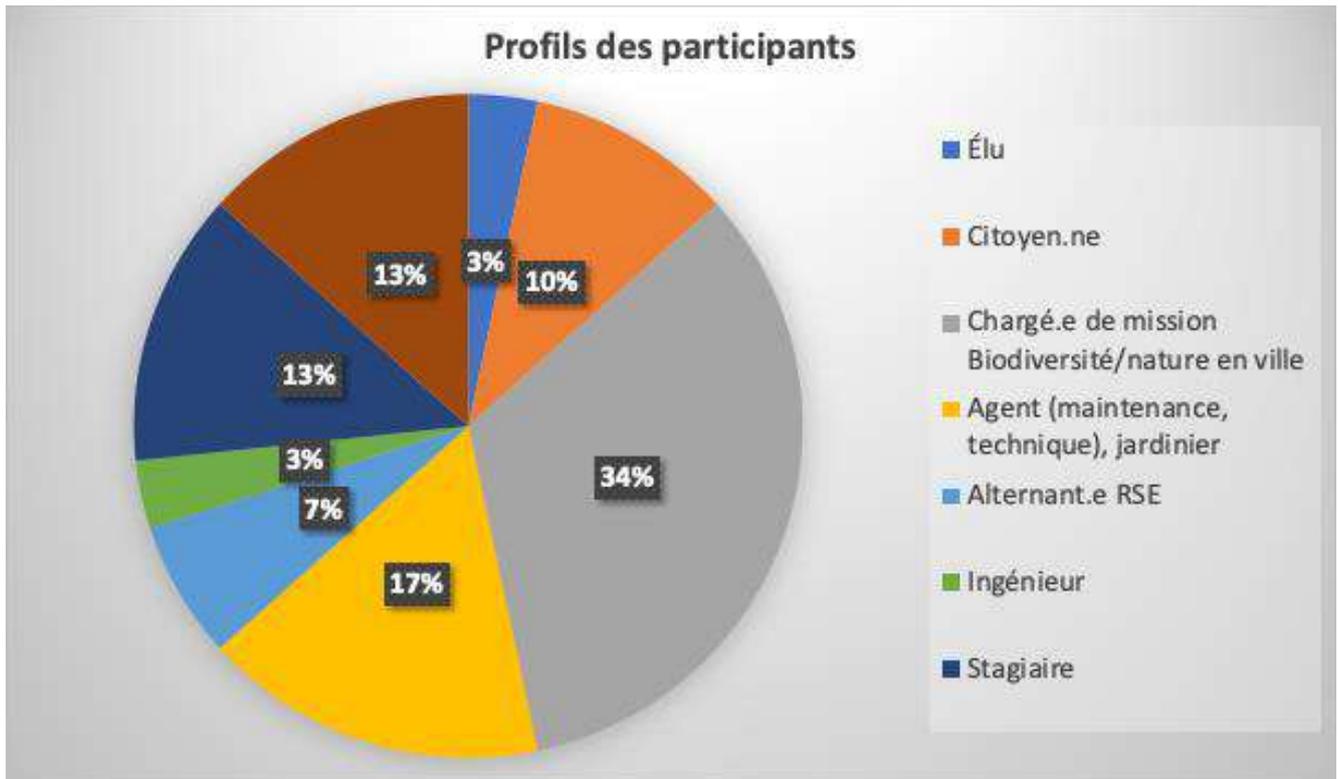


Figure 22 : Types de profil sur les 30 participants totaux.

Cette diversité nous a permis de mettre en évidence les différentes contraintes, comme les horaires et la charge de travail, les plannings, le fait d'être sur place ou non... Cela nous a conduit à considérer d'élargir la cible à du grand public pour une prochaine étape de déploiement.

Nous avons également constaté que le profil ou le fait d'avoir réalisé des suivis naturalistes par le passé n'avait pas d'incidence sur la qualité du suivi mis en place par les participants, ni sur l'assiduité.

Les problèmes et les contraintes rencontrés par les participants étaient finalement semblables entre les sites en milieu urbain, péri-urbain ou rural, à l'exception de la facilité à trouver un site un non-éclairé où poser le dispositif, qui semblait meilleure en milieu péri-urbain ou rural.

Nous avons constaté qu'il y avait toujours un profil moteur, que ce soit au sein de l'équipe ou dans la direction, qui portait le projet en interne et permettait la mobilisation au sein du site. Sans ces profils "convaincus" il est plus difficile de mobiliser durablement.

Nous pourrions par la suite produire un petit document argumentaire pour appuyer ces profils moteurs ou faciliter l'adhésion dans des structures moins engagées sur des relevés biodiversité.

Ainsi, trouver des sites impliqués et des participants motivés n'a pas été une tâche difficile pour ce démonstrateur. Mobiliser de nouveaux sites pour le déploiement ne devrait pas être compliqué, notamment en passant par des structures relais. Il faudra cependant veiller à diversifier les canaux de recrutement des participants pour ne pas s'enfermer dans un réseau avec uniquement des profils déjà sensibilisés.

4.3. Tester nos outils d'accompagnement et de prise en main du matériel pour le suivi

Pour préparer les participants en amont du suivi, et les accompagner au mieux tout au long des sessions, nous avons prévu les outils suivants :

- une formation en présentiel sur le suivi et la manipulation du matériel

Pour des raisons de contraintes sanitaires nous avons dû assurer une première partie de la formation par visio, où nous avons présenté le projet, les objectifs et les attentes ainsi que le dispositif et le protocole. Nous avons ensuite réalisé les formations “terrain” mais avec des effectifs réduits. Cette formation physique (figure 23) s’est révélée absolument indispensable pour les participants et devra continuer à être assurée pour le déploiement. Nous avons pu constater que certains participants ayant reçu la formation avaient eux-mêmes formé avec succès leurs collègues. On peut donc tout à fait imaginer que les futures formations pourront être assurées par des relais locaux.

NB : contrairement à d’autres suivis naturalistes qui nécessitent l’observation directe des individus et donc pour lesquels la formation doit avoir lieu à la saison d’abondance des espèces, la formation Lépinoc pourra se faire en hiver, ce qui correspond à une période moins chargée en terrain pour les gestionnaires.



Figure 23 : Formation des sites d’Arcueil, Montreuil et Buttes Chaumont au Parc de Choisy (Paris 13ème) - Démonstrateur par Alexandre Briscadieu.

- la notice complète de montage du dispositif et des étapes du protocole

Nous avons rédigé cette notice en étant le plus exhaustif possible. Nous avons ensuite testé cette notice auprès de bêta-testeurs (deux sites ayant acceptés de tester l’application de cette notice avant sa diffusion) afin de vérifier que celle-ci était complète et compréhensible. Cela a donné lieu à quelques corrections avant d’aboutir à une notice finalisée que nous avons ensuite partagée à tous les participants.

Bien que ce document était long et pas spécialement prévu pour être pratique sur le terrain, il a été identifié comme fonctionnel et indispensable par les participants qui devra être maintenu et mis à jour.

Ce document comportait aussi un calendrier qui indiquait les jours favorables aux relevés sur la base du calendrier lunaire (voir annexe 2). Ce calendrier répondait à une demande des participants de pouvoir s’organiser en amont pour prévoir les relevés.

- une checklist terrain

Afin de proposer un document plus synthétique et plus opérationnel nous avons également rédigé une checklist terrain, qui récapitulait toutes les étapes d’une session, de la pose du dispositif et du

protocole. Celle-ci ne s'est pas révélée indispensable et a finalement été peu utilisée par les participants.

- des fiches sessions

Ce document servait à récolter les métadonnées liées à la session (date, observateur, évènement notable à préciser sur le site...). Les participants ont trouvé qu'il y avait de la redondance à la remplir avant chaque session et n'ont pas toujours pris le soin de noter des évènements tels que la tonte, l'épandage ou des évènements climatiques qui pourraient influencer le résultat du relevé. Ces métadonnées seront récoltées désormais directement via l'application, avec si possible des champs pré-remplis.

- la fiche habitat

Celle-ci était reprise à partir de la fiche habitat utilisée pour le Propage (suivi des papillons de jour à destination des gestionnaires). Nous en avons modifié certaines modalités, comme par exemple remplacer les transects par l'habitat majoritaire dans un rayon de 50m autour du dispositif. Les catégories de milieux se sont révélées inadaptées dans certains cas (notamment pour les sites en milieu agricole ou dans les réserves naturelles) et devront donc faire l'objet d'une révision pour mieux corrélérer avec les types de sites échantillonnés.

- une assistance téléphonique 24/7

Nous avons proposé aux participants une permanence téléphonique pour qu'ils puissent nous joindre si besoin. Cette assistance s'est révélée très utile notamment pour les premières sessions, pour les accompagner et les rassurer au moment du montage ou de la pose.

Elle s'est cependant révélée très chronophage.

Les points qui ont nécessité le plus d'assistance auprès des participants sont les suivants et par ordre d'importance :

1. le montage du dispositif qui s'est avéré très long la première fois pour lesquels les participants ont fini par prendre le coup de main au bout de 2 sessions en moyenne
2. le cadrage des photos qui a été très compliqué sur les 2 premières sessions en moyenne et une amélioration pour certains sites sur les dernières sessions
3. la transmission des données surtout la première fois car les photos n'étaient pas dans le fichier indiqué dans la notice (nous l'avons ensuite mise à jour)
4. le choix du site exact des dispositifs, en amont des relevés car les participants soucieux d'avoir le bon site n'étaient pas forcément assez sûrs d'eux pour choisir eux même
5. les dates des relevés, qu'il fallait rappeler à chaque session pour éviter les oublis ou les retards

Nous avons donc dû non seulement nous rendre très disponibles pour répondre aux sollicitations mais nous avons aussi adapté notre suivi, notamment par :

- la mise en place de mailing de rappels pour redonner les dates favorables au suivi, en tenant compte du calendrier mais aussi de la météo
- l'envoi d'un document précisant les critères de choix pour la pose du dispositif au sein du site
- la mise en place de retours par mail personnalisé à chaque site pour détailler les ajustement à apporter pour avoir un cadrage correct et des photos optimales

Cet accompagnement rapproché ne pourra cependant pas continuer à être assuré pour le déploiement national. Le dispositif "duplo" et l'application Lépinoc devraient régler une majorité des problèmes rencontrés, grandement faciliter le suivi et donc réduire ce besoin d'assistance. Nous

referons une notice détaillée pour le dispositif et le protocole. Nous partagerons plus en amont les critères de sélection du site de pose. Nous maintiendrons une formation physique pour la prise en main du dispositif avec la possibilité de former des relais locaux. Nous mettrons tout de même en place une FAQ sur l'application. Nous devons aussi renforcer nos outils d'accompagnement pour autonomiser au mieux les participants, par exemple sur le choix des sites de pose. Nous envisageons aussi de publier une vidéo "tuto" qui pourra à la fois appuyer les relais formateurs ou servir de "piqûre de rappel" pour les participants s'ils en ressentent le besoin avant de réaliser un relevé.

4.4. Tester notre capacité à animer le réseau et maintenir la motivation dans la durée

Il était essentiel que nos participants ne perdent pas leur motivation au cours du temps et assurent la totalité du relevé. Nous avons pour cela mis en place des outils d'animation.

- une lettre d'information mensuelle

Celle-ci avait pour objectif de proposer du contenu ludique et de sortir des informations pratiques liées aux relevés. Nous avons par exemple présenté des espèces franciliennes que les participants étaient susceptibles de rencontrer et communiqué sur des évènements liés à l'environnement nocturne comme la nuit des chauves-souris ou la nuit des étoiles (figure 24).

Nous avons aussi pu partager les résultats des sessions via cette lettre d'information en partageant les photos des papillons prises au sein des différents sites.

En effet, les participants nous ont immédiatement fait remonter le besoin et l'envie d'avoir des retours sur les résultats des suivis. Ils ont pu ainsi voir des photos de papillons photographiés sur les différents sites de suivi, ce qui s'est révélé indispensable pour garder la motivation, surtout sur des sites où peu ou pas de papillons avaient été photographiés.

Ce sera un élément essentiel lors du déploiement, et nous espérons pouvoir partager les résultats au fur et à mesure aux participants via la future application Lépinoc.



Figure 24 : Extrait de la lettre d'info Lépinoc n°5 d'Août 2021.

- un mailing dynamique aux participants

Nous avons pris soin de remercier nos participants autant que possible car ils ont accepté d'être des "cobayes" pour ce projet et sans eux nous n'aurions pas pu mener à bien notre projet. Nous avons

également fréquemment rappelé les objectifs du projet pour qu'ils ne perdent pas vue l'intérêt général du suivi et comment il s'imbrique dans les missions de Noé.

- la valorisation et la communication sur les sites et les participants

Nous avons aussi communiqué sur les sites et leur implication, en amont du suivi et au cours des relevés, dans nos différentes prises de paroles sur le projet et via un communiqué de presse publié au lancement du suivi, début juin (<https://noe.org/media/missions/communiquede-presselapinoc.pdf>).

Nous avons publié des actualités et des résultats ponctuellement sur notre site et nos réseaux sociaux pour partager les résultats et mettre en valeur les papillons photographiés sur les sites.

Certains sites étaient très demandeurs de contenu de communication, car ils souhaitaient valoriser leur implication sur ce projet en interne (au sein de leur commune ou de leur structure) ou en externe (auprès de partenaires ou d'un réseau).

Il sera donc important de continuer à publier des actualités et valoriser les participants et leurs résultats après le déploiement. Cela pourra être assuré ponctuellement dans le cadre de notre propre communication sur le projet, en prenant soin de partager les informations avec les participants pour qu'ils puissent les reprendre.

Enfin, après les relevés, nous avons organisé un événement de restitution dédié aux participants, à la Maison Paris Nature qui a accepté de nous recevoir. Il s'agissait de présenter les résultats du démonstrateur, les produits de notre analyse et partager les perspectives du projet, pour les prochaines saisons de relevés en 2022 et 2023, puis les modalités envisagées pour le déploiement en 2024. Tous les participants n'ont pas pu y assister, malgré un format hybride présentiel/visio, mais nous avons tout de même pu avoir une dizaine de participants qui ont tous apprécié d'avoir ces retours et de partager un moment de convivialité. Celui-ci a été enregistré et transmis à des participants absents qui en avaient fait la demande.

Dans la mesure du possible nous aimerions pouvoir organiser un événement de restitution après chaque saison de relevés pour les participants.

Nous avons aussi constaté que certains éléments que nous n'avions pas forcément identifiés au préalable étaient indispensables pour les participants.

- des retours en temps réels sur leurs résultats

Comme mentionné précédemment, nous avons très vite constaté (à leurs demandes) que les retours sur les résultats étaient indispensables pour les participants. Nous retenons donc que l'observation immédiate des papillons pris en photo sur leur propre site est un facteur de motivation principal. En l'occurrence, les photos étaient visualisables sur le téléphone après la session, ou directement sur l'ordinateur à l'extraction des fichiers. Cependant les participants qui posaient et qui relevaient les dispositifs n'étaient pas toujours les mêmes et dans certaines équipes les photos n'étaient pas partagées avant de nous être envoyées. Ce facteur de frustration a clairement été identifié comme un facteur de démotivation.

Pouvoir observer les papillons pris sur les autres sites était également important. Cela a permis de les rassurer sur le potentiel du suivi et de confirmer que le dispositif fonctionnait.

Nous devons donc renforcer la communication sur ces résultats au sein de la communauté des observateurs, grâce à des publications ou par des envois ponctuels via l'application.

- l'identification des papillons et l'explication de ses résultats

Au-delà de la simple observation des photos, nous avons souvent été sollicités sur l'interprétation des résultats et avons dû rassurer les participants dans le cas par exemple où ils n'avaient pas ou peu de papillons sur leurs sites, en proposant des explications possibles sur leur absence.

Bien que ce point n'était pas une condition sine qua non pour maintenir la motivation, l'ensemble des participants interrogés ont déclaré être partants pour se former en identification des papillons de nuit (certains le font déjà ou le font sur les papillons de jour), à condition que la démarche soit simplifiée et ne leur prenne pas trop de temps. Nous prévoyons d'intégrer le renvoi vers des ressources utiles via l'application (comme le guide sur les hétérocères du bassin parisien publié par Seine Et Marne Environnement <http://www.seine-et-marne-environnement.fr/images/A.pdf>). L'étape suivante, prévue à long terme, serait de pouvoir développer une clé de détermination simplifiée des hétérocères.

Certains participants ont aussi exprimé le souhait de pouvoir exploiter les résultats à des fins d'amélioration des pratiques de gestion. Il faudra donc à long terme produire et diffuser les indicateurs correspondant à ce besoin.

- les échanges entre les participants

Deux des participants ont explicitement demandé à avoir un canal d'échange dédié entre participants. Nous n'avons cependant pas pu identifier un seul outil qui permettait à tout le monde d'échanger avec aisance (forum sur un site dédié, discussion de groupe sur une application type Whatsapp, Telegram ou Signal, mailing list restreinte...). Nous n'avons donc pas mis en place cet outil pour ce démonstrateur. Pour le déploiement il serait en effet intéressant de développer cette communauté et permettre aux participants d'échanger sur leurs problèmes éventuels avec le suivi, sur leurs résultats ou sur l'identification des papillons, par exemple.

Cela pourrait passer directement par l'application mais la mise en place concrète de cet outil est encore en cours de réflexion.

Bien que le protocole était assez lourd (2 relevés par mois alors que la plupart des suivis participatifs en imposent au maximum 1) et que le dispositif présentait des difficultés matérielles, plus de la moitié des sites (53%) des sites ont assurés les 6 sessions. En revanche, nous avons cerné des différences de perception entre des participants qui se déclaraient motivés au départ et durant le suivi, et leur assiduité réelle qui a décliné au fur et à mesure de relevés.

Seulement un participant a complètement abandonné le suivi en cours de route, après la 4ème session.

Sachant que le protocole sera allégé et le dispositif amélioré, nous considérons que nous aurons probablement une meilleure assiduité pour les prochaines saisons de suivi. On peut donc conclure que maintenir la motivation devra faire l'objet d'une attention particulière dans l'animation mais que le pouvoir de mobilisation des participants semble fiable.

Le challenge pour le déploiement sera de pouvoir fournir à chaque site, régulièrement des retours sur ses relevés. Nous ferons en sorte que cela soit consultable sur l'application.

Enfin, nous espérons qu'à terme, les participants les plus motivés deviennent des "ambassadeurs" du suivi, comme c'est le cas par exemple avec notre Observatoire des Papillons des Jardins. Ils pourraient ainsi par exemple participer à de l'animation locale ou devenir modérateurs d'une communauté en ligne de "Lépinocériens".

4.5. Tester la mise en place du protocole face aux contraintes professionnelles

4.5.1. Réception, stockage et transport du matériel

Nous avons prévu de livrer le matériel au moment de la formation physique des participants, en prévoyant qu'ils viennent en voiture pour repartir avec, cependant avec les délais de construction et de montage ceux-ci n'étaient pas prêts à ce moment-là.

Nous avons donc dû faire une tournée de livraison nous-mêmes pour leur apporter directement sur site. Nous avons réussi à tout faire sur une journée en mutualisant certains points de livraison (comme pour le PNR du Vexin et la CACP).

Nous devons peut-être faire appel à un transporteur privé pour la prochaine saison de test. Pour le déploiement national, il faudra trouver une solution d'acheminement aux sites dédiés.

La question du stockage s'est également posée d'autant plus que la première version du prototype était volumineuse à cause des longues barres en aluminium. La V2 sera plus compacte et plus légère mais nous devons tout de même trouver un moyen de stocker les dispositifs entre la fin de leur montage et leur livraison.

Après la première installation, la quasi-totalité des participants ont laissé les dispositifs montés en croix mais les retiraient du site de pose avec les pieux en place. Ils devaient donc transporter le ou les dispositif(s) du lieu de pose au lieu de stockage entre chaque session.

Cela n'a pas été identifié comme un frein majeur par les participants mais nous avons veillé à ce que les lieux de pose soient toujours à proximité du lieu de stockage. Le seul cas où le site de pose était difficile d'accès n'a d'ailleurs réalisé que 3 relevés. Cette règle devra donc rester de mise dans les prescriptions pour les futurs relevés.

4.5.2. Respect du protocole

Globalement, le protocole a pu être respecté, en dehors des limites liées au matériel, dont l'application smartphone, qui ont été précédemment présentées. En effet, les participants ont su utiliser les ressources qui leur étaient fournies pour collecter les métadonnées demandées lors des sessions d'échantillonnage. Cependant, c'est leur exploitation par Noé qui a pu montrer ses limites. En effet, utiliser des fiches remplies manuellement ou sans possibilité d'extraire automatiquement les informations collectées nous est apparu être un frein important dans le cadre d'une massification. Ainsi, il sera nécessaire d'inclure la saisie des métadonnées via l'application smartphone pour faciliter la collecte, le transfert et le traitement de ces données.

Une limite importante pour Noé a également été le transfert des données ainsi que le nom donné aux fichiers par les participants. En effet, le transfert était réalisé par mail avec une étape intermédiaire par wetransfert. Cette étape de téléversement était longue pour les participants, et nécessitaient un effort important de vérification et de centralisation de la part de Noé. De plus, des modifications apportées aux noms des fichiers engendraient des complications supplémentaires lors du traitement des données.

Par la suite, il sera nécessaire de faciliter le transfert des données et leur organisation sous la forme d'une base de données permettant de respecter les critères de données F.A.I.R. Cet objectif pourra être atteint au travers du développement de l'application et de la construction d'une base de données communicant avec cette dernière. De plus, des règles d'autorisation limiteront la possibilité pour un participant de modifier les noms des fichiers.

4.5.3. Disponibilité, plannings, horaires des participants et du site

Ce qui a semblé être les plus gros freins à la mise en place du suivi en lien avec le cadre de travail des participants, sont la charge de travail et les plannings des participants. Ce résultat était attendu, d'autant plus avec la période des congés d'été.

Dans les cas où seulement une personne de l'équipe avait suivi la formation, cela a pu être problématique lors de certaines absences ou d'indisponibilités. Certains participants ont anticipé cela et ont formé leurs collègues afin d'assurer le suivi en leur absence, ce qui a bien fonctionné pour assurer la continuité du suivi.

Sur un des sites il y avait une équipe de 5 personnes qui suivaient le projet ce qui a permis d'avoir toujours quelqu'un de disponible pour assurer le relevé. Dans d'autres cas, les personnes qui mettaient en place le dispositif le soir et qui relevaient le téléphone le lendemain matin n'étaient pas les mêmes. Cela permettait de répartir la charge du suivi. De plus, cela a été un atout lors de la première pose par exemple, lorsqu'il a fallu enfoncer le pieu ou pour le transport du matériel.

La grande majorité des participants ont déclaré souhaiter continuer les relevés mais sur un rythme d'une fois par mois, voire une fois tous les deux mois.

En revanche ce modèle ne semble pas idéal car les personnes faisant la pose n'avaient pas la possibilité de voir les photos si on ne leur partageait pas.

Le fait que le site était ouvert au public la nuit ou tard le soir a été une contrainte pour certains participants, notamment les jardiniers aux horaires d'atelier, qui finissaient parfois trop tôt leurs journées pour installer le dispositif avant de partir.

Cependant poser le dispositif le plus tard possible était une condition importante pour minimiser le risque de vol, notamment des smartphones. Un seul site a été victime de vol de téléphones pendant le suivi. Le parc en question est traversant et fréquenté assez tard. Bien que le dispositif était caché, un premier téléphone a été dérobé une première fois. Nous avons choisi de ne pas le remplacer et continuer les suivis avec l'autre dispositif mais lors de la dernière session le deuxième téléphone a été volé sur ce même site.

Un autre site a été cambriolé dans ses locaux pendant une nuit et tout le matériel électronique (smartphone, batteries, blocs...) a été volé.

Ces vols sont néanmoins des événements marginaux sachant que seuls 3 des sites n'étaient pas clôturés et pouvaient donc être accessibles au public.

L'idéal est de donc pouvoir mettre en place le suivi sur un site clos ou bien isolé du public. Nous retenons que le modèle le plus efficace est d'avoir au moins un binôme pour pouvoir assurer une permanence. Il faut aussi que le site de pose soit facile d'accès et proche du site de stockage.

Le dispositif "duplo" amélioré permettra un transport et un stockage simplifiés. Le protocole allégé (un seul relevé par mois lunaire et un dispositif par site) sera moins contraignant et moins chronophage, ce qui nous conforte dans l'idée que la motivation et l'assiduité pourront être maintenues au cours des suivis. De plus, la mise en place d'un outil d'aide à la décision pour programmation des sessions via un calendrier interactif qui intégrera la météo, le calendrier lunaire et la date de la précédente session, facilitera grandement l'organisation des participants. Etant donné le rôle central de l'application dans le protocole et l'animation de Lépinoc, un effort particulier sera mis en place pour assurer à la fois une très bonne expérience utilisateur, et une très bonne interaction homme-machine.

4.6. Synthèse de l'animation et plan d'actions

La plupart des problèmes identifiés pour assurer une animation fluide et efficace pourront être réglés principalement grâce à l'application ainsi qu'un protocole et un dispositif simplifié.

La question de l'accompagnement et du maintien de la motivation devront faire l'objet d'une attention particulière afin de veiller à ce que les participants soient engagés durablement. Nous gardons à l'esprit que les outils devront être améliorés et mis à jour régulièrement.

Sur le stockage et l'acheminement du matériel nous n'avons pas encore identifié de solution optimale, cela fait partie du chantier des tests de 2022.

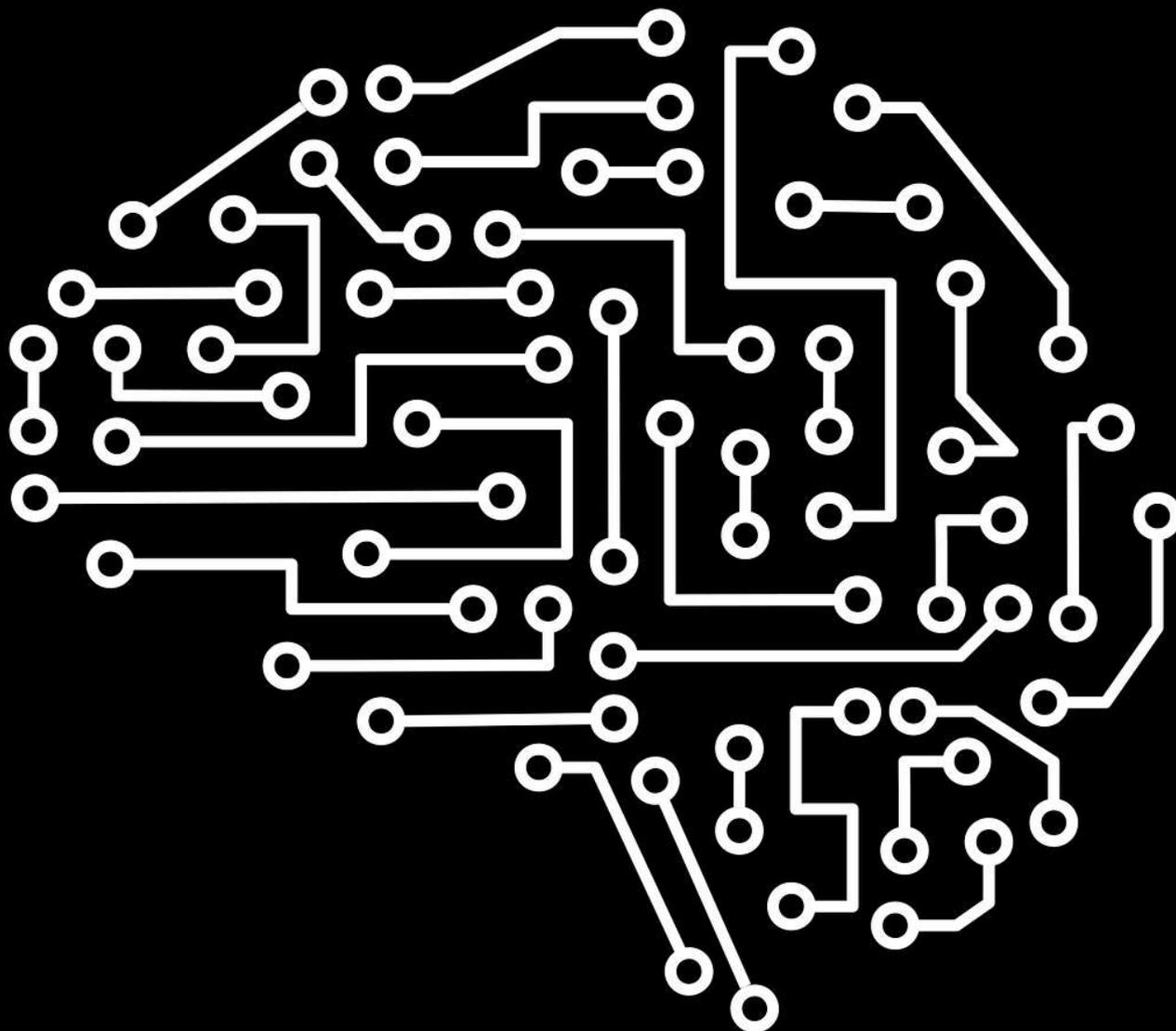
Pour illustration, voici la matrice criticité/niveau de maîtrise des chantiers prioritaires pour notre plan d'action 2022-2023.

PEU MAÎTRISÉ	sujets de faible enjeux mais à creuser	sujets cruciaux à traiter en priorité
	poser le contexte du suivi et présenter les objectifs clairs et la valeur de leur contribution	accompagner sur la pose et le cadrage \$
	créer du lien et du partage entre les participants *	stocker et livrer les dispositifs \$
	aider à prévoir les relevés et préparer la session *	faire une formation de prise en main du dispo et du protocole \$
	permettre aux relais/participants de se former entre eux	maintenir la motivation \$
		accompagner dans la transmission de données *
MAÎTRISÉ	sujets maîtrisés et non prioritaires	sujets sur lesquels il faudra rester vigilant
	partager les infos importantes en temps réel	recruter des participants
	avoir les bons documents de terrain	recueillir les avis et retours \$*
	communiquer et permettre aux participants de communiquer sur le projet	
	PEU CRITIQUE	CRITIQUE

* réglé grâce au dispositif et l'application

\$ prioritaire pour le bon déroulement du projet

5. Processus de reconnaissance par IA



Résumé de la sous-partie

Dans le cadre du projet Lépinoc, deux actions principales ont été identifiées pour une IA : 1) segmenter les Lépidoptères nocturnes à partir de photographies complètes d'un support de pause, et 2) classifier les Lépidoptères, c'est-à-dire les identifier taxonomiquement. Pour réaliser ces actions, il faut des données (i.e. des images labellisées) d'entraînement et de validation, des algorithmes et des infrastructures informatiques.

Trois axes sont nécessaires à prendre en compte pour le développement d'une IA :

- La disponibilité en données
- La disponibilité en algorithme
- Une infrastructure informatique adaptée.

Pour les données, nous avons mis en évidence qu'il était impossible de définir à ce stade un nombre de photographies minimum par taxon pour assurer qu'un modèle puisse être entraîné afin d'en assurer l'identification. Cependant, ce nombre de photographies semble être important, d'autant plus lorsqu'il est rapporté au nombre d'espèces de Lépidoptères nocturnes présentes en France. Ainsi, pour obtenir suffisamment de données d'entraînement et de validation, nous avons identifié les pistes possibles suivantes :

- l'utilisation de bases de données disponibles et déjà existantes, correspondant essentiellement à iNaturalist et au GBIF. Cependant, les photographies qui s'y trouvent, bien qu'abondantes, ne sont pas de la même qualité que les photographies Lépinoc, limitant potentiellement leur capacité à servir de support d'entraînement au moins pour atteindre l'espèce comme niveau taxonomique ;
- l'utilisation des données Lépinoc, mais ces dernières sont limitées en nombre. Par exemple, nos premières estimations indiquent que pour une espèce faiblement abondante dans le jeu de données collecté en 2021 (i.e. environ 20 photographies pour l'espèce), il faudrait attendre environ 5 années de suivi pour avoir un nombre de photographies permettant un apprentissage à l'espèce si l'on retient une valeur proposée dans la littérature scientifique (i.e. 250 photographies par espèce) ;
- l'utilisation de données des projets proches, mais cette utilisation implique la construction d'un projet commun entre les différents projets existants à l'échelle mondiale ;

Afin de prendre en considération ce manque de données, nous avons identifié des catégories de Lépidoptères qui se distinguent selon la facilité à assurer dans le temps leur identification par une IA :

- Les espèces de macro-hétérocères très communes
- Les espèces de macro-hétérocères caractéristiques visuellement
- Les espèces de micro-hétérocères caractéristiques visuellement
- Les espèces peu communes et peu caractéristiques visuellement

Les trois premières catégories seront priorisées dans le cadre du développement d'une IA, alors que la dernière catégorie, qui pourrait rassembler environ 30% des espèces.

Nous avons identifié que deux grands types d'**algorithmes** seraient nécessaires : un de type segmentation visant à détecter et découper les Lépidoptères sur les photographies complètes ; un de type classification visant à identifier les Lépidoptères. Nous avons mené une recherche bibliographique sur ces algorithmes et avons assisté à différents workshops qui nous ont permis de classer les algorithmes selon leur niveau de développement, leur niveau de spécialisation et s'ils sont en accès libres (valables à la fois pour ceux de segmentation et de classification) :

- Des algorithmes déjà existants et d'autres en cours de développement

- Des algorithmes non spécialisés sur les Lépidoptères nocturnes et des algorithmes spécialisés sur ces insectes
- Des algorithmes en accès libres et des algorithmes qui ne sont pas en accès libres

Parmi les algorithmes spécialisés sur les Lépidoptères nocturnes, un seul est finalisé et en accès libre. Cependant, il n'est performant que sur très peu d'espèces (8 espèces). Deux autres algorithmes sont en cours de développement et pourraient présenter un intérêt important pour Lépinoc. Il sera cependant nécessaire de mieux comprendre dans quelles conditions un partenariat pourrait permettre de travailler à partir de ces outils. Enfin, nous avons trouvé qu'au moins deux autres algorithmes étaient finalisés mais sans être en accès libres. Il sera utile d'étudier quel est l'intérêt de ces algorithmes pour Lépinoc, mais surtout de leurs bases de données d'entraînement qui sont proches en qualité des photographies de Lépinoc (projet Diopsis). De manière générale, Noé manque de compétence en interne pour développer ces outils, et des partenariats seront nécessaires pour mener à bien la mise en place d'un algorithme d'IA au sein de Lépinoc.

Enfin, pour mener à bien un processus d'automatisation, nous avons identifiés des éléments centraux qui se rapportent à **des infrastructures informatiques**. En effet, il sera nécessaire :

- De posséder suffisamment de puissance de calcul pour entraîner puis faire tourner les modèles d'IA
- De posséder suffisamment de capacité de stockage, pour supporter à la fois les données d'entraînement et de validation, mais également l'ensemble des photographies brutes complètes et celles des seuls Lépidoptères nocturnes découpés
- De posséder une connexion internet suffisante
- D'optimiser l'infrastructure des bases de données pour atteindre une qualité F.A.I.R (« faciles à trouver, accessibles, interopérables et réutilisables »).

Noé ne possède aucun de ces éléments et n'a pas les compétences pour assurer l'optimisation de l'infrastructure des bases de données.

Pour remplir ces besoins, un plan d'action est décliné en 5.5.

5.1. Cadre d'action pour automatiser la reconnaissance des Lépidoptères dans le cadre de Lépinoc

Dans le cadre de Lépinoc, l'intelligence artificielle sera indispensable étant donné le volume de données qui seront collectées. L'IA devra permettre de **segmenter** et d'**identifier** les Lépidoptères nocturnes à partir des photographies complètes. Dans un premier temps, il est probable que nous nous concentrons sur les **macro-hétérocères**, et sur les **micro-hétérocères** plus facilement identifiables (ex : Tortricidae).

L'IA aura les objectifs suivants :

1. à partir d'une photographie complète, reconnaître les Lépidoptères des non-Lépidoptères, et segmenter les Lépidoptères en récupérant les métadonnées de la photographie (nom du site, numéro du dispositif, date d'échantillonnage, heure d'échantillonnage).
2. Identifier les macro-Lépidoptères segmentés et les micro-hétérocères plus facilement identifiables.

5.2 Éléments nécessaires pour la mise en place d'une intelligence artificielle

Elements nécessaires

Afin d'atteindre les objectifs précédemment cités, il est nécessaire de rassembler trois grands éléments :

- Un jeu de données d'entraînement et de validation, composés de photographies annotées de Lépidoptères
- Un algorithme d'IA
- Une infrastructure informatique dédiée, incluant de la puissance de calcul et des espaces de stockage

5.2.1. Jeu de données d'entraînement et de validation

Deep learning : des données d'apprentissage et de validation sont nécessaires

Un algorithme de type deep learning apprend automatiquement et de manière cyclique à détecter des patterns dans un jeu de données d'entraînement. A chaque cycle, cette capacité à apprendre est testée face à un jeu de données de validation, qui doit notamment permettre de détecter des phénomènes de sur-apprentissage où l'algorithme apprend particulièrement bien à détecter des patterns dans le jeu de données d'entraînement mais qui ne sont pas applicables sur de nouvelles données (figure 25).

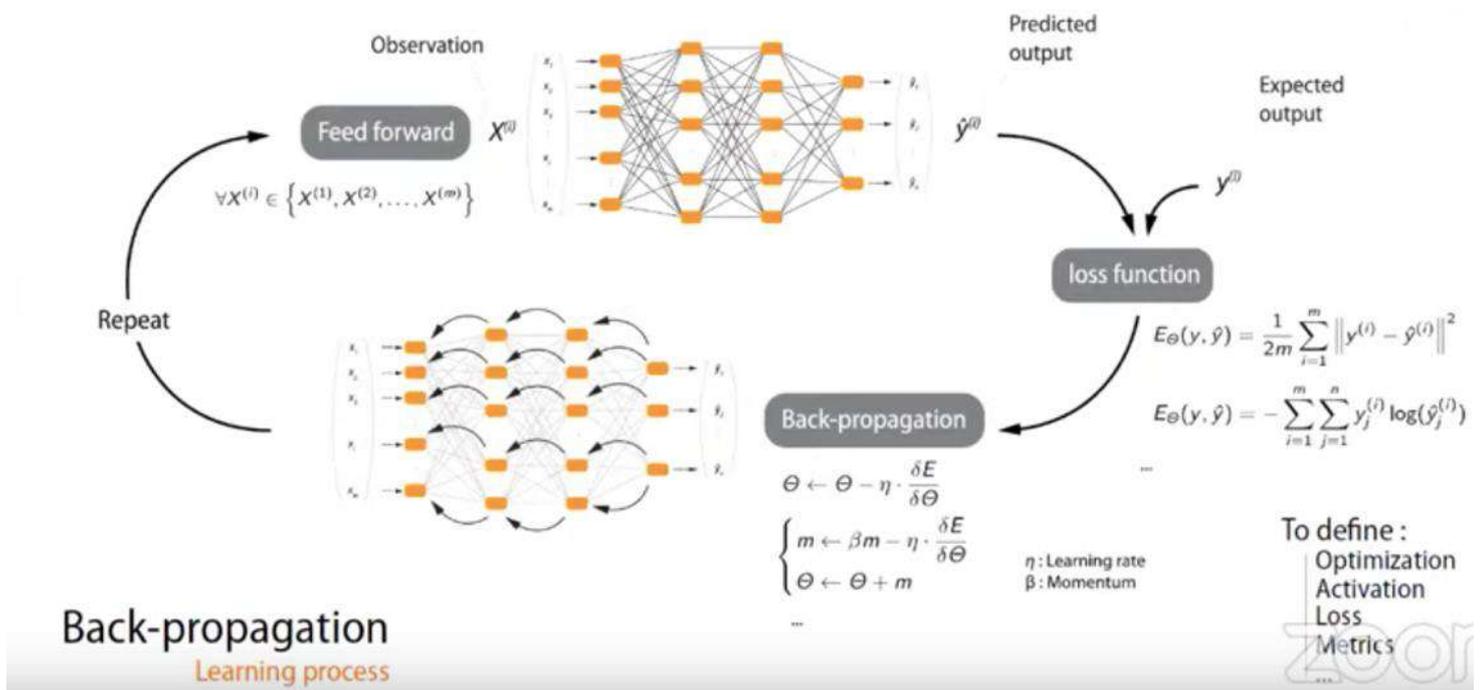


Figure 25 : Illustration du processus d'apprentissage d'un algorithme de deep learning. Source : Jean-Luc Parouty

Importance de la source des jeux de données

Les jeux de données peuvent avoir plusieurs sources. Ils peuvent être issus des photographies annotées au sein du projet Lépinoc, mais également de photographies disponibles par ailleurs. Un point central est que les données issues d'internet sont de très bonne qualité, alors que les données issues de projet comme Lépinoc sont de qualité moindre. L'utilisation du couple bases de données existantes avec les algorithmes déjà existants est donc un frein actuel. Le tableau 2 résume les avantages et les inconvénients des différentes sources de données.

Tableau 2 : Avantages et inconvénients des différentes sources de données.

Source des données	Avantages	Inconvénients
Lépinoc	<ul style="list-style-type: none"> Données d'entraînement et de validation possédant les mêmes caractéristiques que celles qui seront traitées par la suite 	<ul style="list-style-type: none"> Coût cher Nécessite des experts naturalistes Génère des jeux de données non-balancés, avec la majorité des espèces qui sont peu représentées

Bases de données internet	<ul style="list-style-type: none"> • Peu coûteux • Très nombreuses espèces et potentiellement de nombreuses photographies par espèce 	<ul style="list-style-type: none"> • Données ne possédant pas les mêmes caractéristiques que les données Lépinoc (ex : taille, couleur, angle, nombre de pixels) • Mélange de différents stades (œufs, chenilles, image)
----------------------------------	--	--

La prise de photographie d’insectes morts pour entraîner les algorithmes a été également testée par une équipe de chercheurs danois [24], sans parvenir à des résultats satisfaisants.

De manière générale, la communauté travaillant sur des projets proches de Lépinoc semble privilégier les photographies labellisées issues de leurs propres dispositifs à cause des différences de qualité de photographies issues. C’est un retour qui a été exprimé par différentes équipes, notamment celle du projet Diopsis. Un autre exemple est celui d’un algorithme en cours de développement au sein de l’Université de Jena (Allemagne) par une équipe allemande [27]. Ainsi, sur un jeu de données d’entraînement composé de 200 espèces avec environ 11 photographies par espèces, leur modèle issu d’un algorithme pré-entraîné sur des données issues d’iNaturalist atteint une précision maximale d’environ 91% pour la seule identification des papillons. Cette dernière descend à 80% lorsque sont combinés segmentation et classification. Cependant, une équipe de chercheurs canadiens portée par David Rolnick (Université de McGill) a développé un pipeline de segmentation et d’identification à partir de bases de données publiques (GBIF) et sur plus de 1 400 espèces, qui pourrait être appliqué à des données comme celles de Lépinoc. Le retour de cette équipe est que la combinaison d’images de multiples origines est un très bon moyen pour améliorer le niveau de prédiction des modèles.

Enfin, il est à noter que différentes techniques permettent de réduire le volume de données pour l’apprentissage. Il s’agit notamment :

- du *transfert learning* qui consiste à utiliser un modèle d’apprentissage profond pré-entraîné et open-source (ex : AlexNet) déjà existant et à le « finetuner » pour une nouvelle tâche en agissant sur les couches du réseau de neurones. C’est l’opération menée par [27] ;
- et de la *data augmentation* qui est une technique permettant de générer de nouveaux exemples d’apprentissage à partir d’exemples existants.

Nombre de photographies nécessaires par taxon

Une question clef pour l’utilisation d’une IA dans le cadre de Lépinoc est de pouvoir estimer le nombre de photographies par taxon qui seront nécessaires pour entraîner et valider l’algorithme employé. Ce nombre dépendra notamment de l’origine des données. Le tableau ci-dessous est un résumé d’une partie des études sur l’identification automatisée des Lépidoptères nocturnes (tableau 3).

Tableau 3 : Récapitulatif d’études identifiant des insectes par IA.

Auteurs	Source des photographies	Nombre de taxons	Nombre de photographies	Ratio n photo/n taxons	Précision moyenne	Algorithme employé	Disponibilité de l’algorithme	DOI référence	ou
Mayo & Watson 2007	Propre dispositif	35 espèces	774	22	85%	Support Vector Machine	Non	https://doi.org/10.1016/j.knosys.2006.11.012	

Chang et al. 2017	Recherche internet	636 espèces (hétérocères et rhopalocères)	14 270	22	Top 1 : 72% ; Top 5 : 93%	Visual Geometry Group, Inception, ResNet	Non	Deep Convolutional Neural Networks. <i>Rutgers University: New Brunswick, NJ, USA.</i>
Bjerge et al. 2021	Propre dispositif	8 espèces	2 000	250	93%	Moth Classification and Counting	Oui (https://github.com/kimbjerge/MCC-trap)	https://doi.org/10.3390/s21020343
Korsh et al. (in prep.)	Entraînement sur photos libres (European Moths Dataset)	20	2200	11	80% sur leurs propres photographies	Propre algorithme issu de Cui et al. (2018)	Oui en version démo (https://github.com/cvjena/moth_scanner_demo)	https://pub.inf-cv.uni-jena.de/pdf/Korsch21_DLP.pdf

De plus, lors d'un premier contact pris avec deux jeunes chercheurs développant des solutions d'IA pour l'identification automatisée des insectes dont les Lépidoptères nocturnes (Charles Kantor et Léonard Boussioux), ces derniers nous ont indiqué un objectif d'environ 1 000 photographies pour une identification au genre.

Ainsi, le nombre de photographies par taxon sera un élément clef du succès de la mise en place d'un processus d'identification automatisée par IA. Il est à noter que les données de validation devront certainement être issues de Lépinoc, car nous devons pouvoir avoir la certitude que l'algorithme a bien appris à reconnaître des patterns qui sont transposables sur les photographies Lépinoc, même s'il a appris ces patterns sur des photographies de sources potentiellement différentes. Dans les prochaines sous-parties, il s'agira d'indiquer la disponibilité actuelle en données Lépinoc, puis celles issues de bases de données publiques.

Cependant, le nombre de photographies par taxon pourrait être très variable également selon les caractéristiques visuelles des espèces de Lépidoptères, et selon leur abondance relative. Ainsi, le tableau 4 résume les trois catégories d'espèces différentes que nous avons identifiées. Les objectifs de classification atteints à l'aide d'une IA seront probablement beaucoup plus élevés et atteignables pour les espèces communes et peu caractéristiques morphologiquement ainsi que pour les espèces très caractéristiques visuellement peu importe leur abondance relative.

Tableau 4 : résumé les trois catégories d'espèces différentes distinguées dans Lépinoc.

Espèces de macro-hétérocères communes	Espèces de macro-très hétérocères caractéristiques visuellement	Espèces de micro-hétérocères caractéristiques visuellement	Espèces communes et peu caractéristiques visuellement
---------------------------------------	---	--	---

<ul style="list-style-type: none"> • Facilité à collecter suffisamment de données avec le dispositif Lépinoc • Bon niveau d'apprentissage par IA car nombreuses données pour entraîner l'algorithme malgré un manque de caractéristiques visuelles 	<ul style="list-style-type: none"> • Difficulté variable à collecter suffisamment de données avec le dispositif Lépinoc • Bon niveau d'apprentissage par IA car espèces visuellement caractéristiques, ce qui diminue le nombre d'images nécessaires pour l'apprentissage par rapport à une espèce peu caractéristique visuellement 	<ul style="list-style-type: none"> • Environ 30% d'espèces identifiables sur photographiques (environ 400 espèces) • Difficulté à collecter suffisamment de données avec le dispositif Lépinoc • Mauvais niveau d'apprentissage par IA car peu de données pour entraîner l'algorithme malgré un manque de caractéristiques visuelles 	<ul style="list-style-type: none"> • Difficulté à collecter suffisamment de données avec le dispositif Lépinoc • Mauvais niveau d'apprentissage par IA car peu de données pour entraîner l'algorithme malgré un manque de caractéristiques visuelles
--	---	---	--

Point sur les données Lépinoc

Le jeu de données issu du démonstrateur est constitué de photographies complètes du support de pose des Lépidoptères. Au total, plusieurs milliers de photographies sont ainsi disponibles. Sur ces photographies, il peut :

- ne pas y avoir d'insectes
- y avoir que des Lépidoptères nocturnes
- y avoir que d'autres invertébrés
- y avoir des Lépidoptères nocturnes ainsi que d'autres invertébrés

De plus, nous possédons des séries d'images au format TIFF correspondant à l'ensemble des photographies d'une session pour un dispositif donné, et sur lesquelles les Lépidoptères nocturnes sont pointés avec le logiciel ImageJ, ce qui permettrait de récupérer leurs coordonnées. Ainsi, chaque Lépidoptère a un identifiant unique, et a ensuite été identifié par un expert taxonomiste. 4 niveaux sont possibles :

- Famille, genre et espèce ne sont identifiés
- Famille identifiée mais pas le genre
- Famille et genre identifiés mais pas l'espèce
- Famille, genre et espèce sont identifiés

Au total, 9 836 Lépidoptères sont ainsi pointés et identifiés. Cependant, ils ne sont pas encore segmentés.

Sur ce jeu de données, le nombre de photographies par taxon est très variable (figure 26).

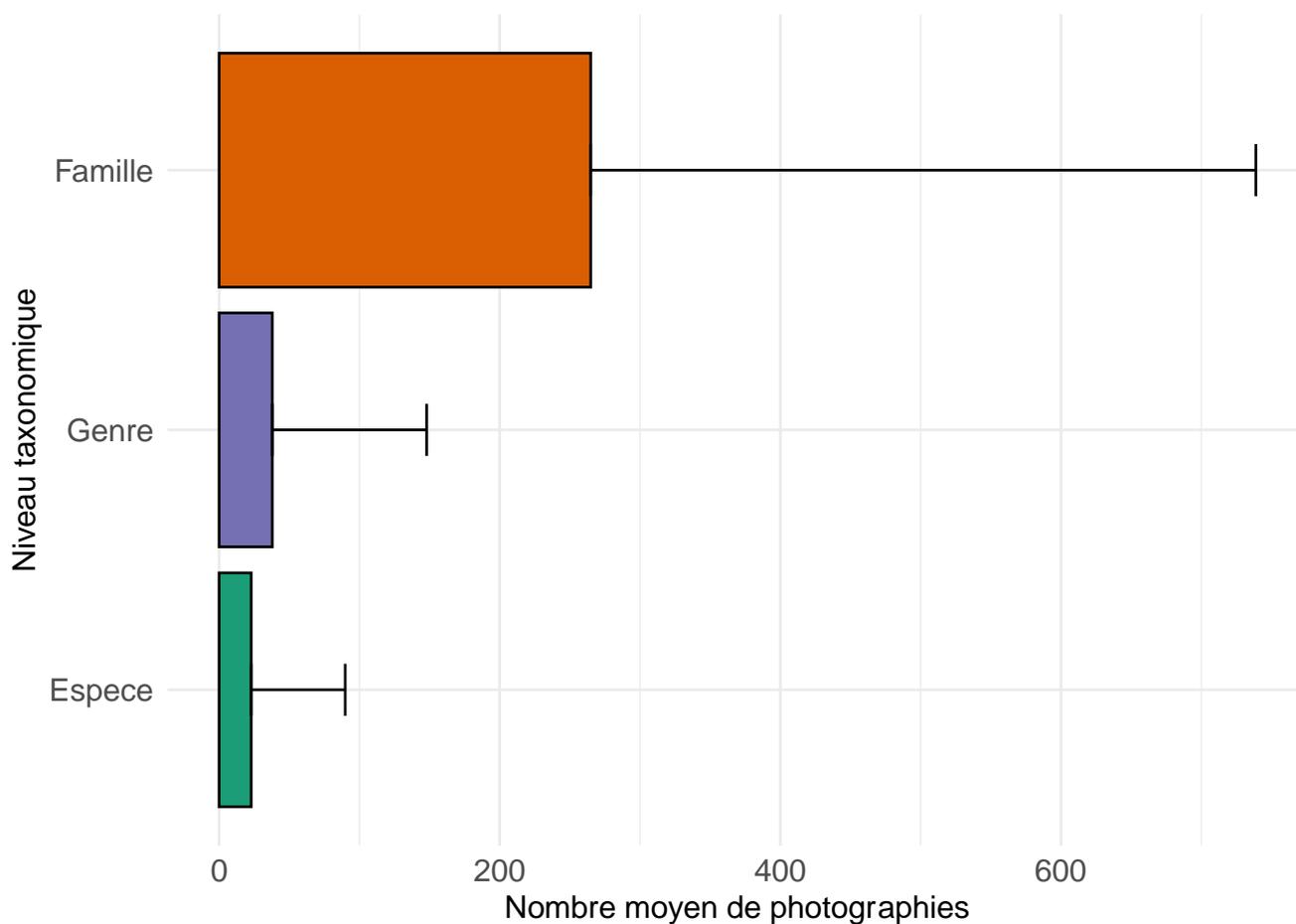


Figure 26 : Nombre moyen de photographies par niveau taxonomique.

Ainsi, sur les 21 familles strictement identifiées, 11 ont 20 ou plus de photographies (tableau 5). Sur ces dernières, 4 ont moins de 50 photographies (en rouge) et 6 ont plus de 250 photographies (en vert).

Tableau 5 : Nombre de photographies par famille obtenues à l'aide de Lépinoc.

Famille avec au moins 20 photographies	Nombre de photographies
<i>Geometridae</i>	1641
<i>Crambidae</i>	1361
<i>Erebidae</i>	823
<i>Noctuidae</i>	619
<i>Pyralidae</i>	492
<i>Tortricidae</i>	321
<i>Lasiocampidae</i>	128
<i>Notodontidae</i>	40
<i>Plutellidae</i>	32
<i>Yponomeutidae</i>	32
<i>Oecophoridae</i>	23

Sur les 100 genres strictement identifiés, 32 ont au moins 20 photographies, 21 ont entre 20 et 49 photographies, 9 entre 50 et 249 photographies, et 3 plus de 250 photographies (tableau 6).

Tableau 6 : Nombre de photographies par genre obtenues à l'aide de Lépinoc.

Genre avec au moins 20 photographies	Nombre de photographies
<i>Idaea</i>	851
<i>Eilema</i>	514
<i>Eudonia</i>	390
<i>Acrobasis</i>	230
<i>Endotricha</i>	207
<i>Ancylolomia</i>	137
<i>Lymantria</i>	137
<i>Scoparia</i>	126
<i>Peribatodes</i>	118
<i>Malacosoma</i>	105
<i>Cosmia</i>	62
<i>Epirrhoe</i>	54
<i>Ennomos</i>	48
<i>Eupithecia</i>	41
<i>Ligdia</i>	37
<i>Chiasmia</i>	33
<i>Phragmatobia</i>	33
<i>Euproctis</i>	32
<i>Plutella</i>	32
<i>Hypena</i>	31
<i>Cryphia</i>	29
<i>Thaumetopoea</i>	29
<i>Euplagia</i>	28
<i>Camptogramma</i>	27
<i>Dolicharthria</i>	27
<i>Mythimna</i>	27
<i>Noctua</i>	27
<i>Carcina</i>	23
<i>Palpita</i>	23
<i>Tortrix</i>	23
<i>Gastropacha</i>	21
<i>Synaphe</i>	21

Enfin, parmi les 104 espèces identifiées au cours de cette première année d'échantillonnage, seulement 30 ont 20 ou plus de photographies. Parmi ces 30 espèces, 21 ont moins de 50 photographies, 8 en ont moins de 250 et seulement 1 en a plus de 250 (tableau 7).

Tableau 7 : Nombre de photographies pour les espèces avec au moins 20 photographies dans le cadre du démonstrateur Lépinoc. Le nombre de photographies sur iNaturalist est une estimation (pas de nombre réel d'adultes).

Espece avec au moins 20 photographies	Nombre de photographies Lépinoc	Nombre de photographies iNaturalist (estimation)	Nombre de photographies GBIF (estimation)	EU-Moth	Caractéristique
<i>Idaea rusticata</i>	625	1 906	3 434	Non	Macro et caractéristique
<i>Endotricha flammealis</i>	207	2 648	5 288	Non	Micro et caractéristique
<i>Peribatodes rhomboidaria</i>	118	6 983	12 742	Oui	Macro et caractéristique
<i>Eilema lurideola</i>	107	1 918	4 150	Non	Macro et caractéristique
<i>Malacosoma neustria</i>	105	?	?	Non	Macro et caractéristique
<i>Scoparia pyralella</i>	94	339	1 319	Non	Micro et caractéristique
<i>Idaea degeneraria</i>	70	1 338	1 369	Non	Macro et caractéristique
<i>Idaea aversata</i>	68	5 087	16 542	Oui	Macro et caractéristique
<i>Cosmia trapezina</i>	62	1 327	6 286	Oui	Macro et peu caractéristique
<i>Ennomos erosaria</i>	39	304	2 496	Non	Macro et caractéristique
<i>Ligdia adustata</i>	37	1 192	3 637	Oui	Macro et caractéristique
<i>Chiasmia clathrata</i>	33	4 328	8 463	Non	Macro et caractéristique
<i>Phragmatobia fuliginosa</i>	33	?	?	Oui	Macro et caractéristique
<i>Euproctis chrysorrhoea</i>	32	?	?	Non	Macro et caractéristique
<i>Plutella xylostella</i>	32	8 045	9 623	Non	Micro et peu caractéristique
<i>Hypena proboscidalis</i>	31	2 766	10 647	Oui	Macro et caractéristique
<i>Thaumetopoea processionea</i>	29	?	?	Non	Macro et caractéristique
<i>Epirrhoe galiata</i>	28	211	1 170	Non	Macro et caractéristique
<i>Euplagia quadripunctaria</i>	28	8 586	?	Non	Macro et caractéristique
<i>Camptogramma bilineata</i>	27	6 112	13 025	Oui	Macro et caractéristique
<i>Dolicharthria punctalis</i>	24	290	727	Non	Macro et peu caractéristique

<i>Epirrhoe alternata</i>	24	5 669	12 302	Oui	Macro et caractéristique
<i>Carcina quercana</i>	23	833	2 671	Non	Micro et caractéristique
<i>Cryphia algae</i>	23	1 304	1 938	Oui	Macro et caractéristique
<i>Palpita vitrealis</i>	23	1 438	1 260	Non	Macro et caractéristique
<i>Tortrix viridana</i>	23	618	2 439	Non	Micro et caractéristique
<i>Gastropacha quercifolia</i>	21	456	1 042	Non	Macro et caractéristique
<i>Synaphe punctalis</i>	21	1 654	2 948	Non	Macro et peu caractéristique
<i>Noctua pronuba</i>	21	?	?	Oui	Macro et caractéristique
<i>Idaea humiliata</i>	20	300	786	Non	Macro et caractéristique

En conclusion, avec les seules données Lépinoc et sur la base du nombre de photographies employées dans l'algorithme développé par Bjerge et al. (2021), seule une espèce (*Idaea rusticata*) a été suffisamment photographiée pour être identifiée. Cependant, si cette même règle de 250 photographies par taxon est applicable également pour entraîner un algorithme à reconnaître les genres ou les familles, 3 genres et 6 familles pourraient être identifiables de manière précise.

Cependant, de nombreuses autres données sont également disponibles en accès libre sur internet, et pourraient permettre de compléter le jeu de données Lépinoc, avec les limites déjà évoquées précédemment.

Il est à noter que les données Lépinoc présentes également l'avantage de pouvoir servir à l'entraînement et/ou à la validation d'algorithmes permettant la segmentation et la classification, alors que les données issues d'internet sont très généralement des photographies d'un seul Lépidoptère.

Quelles autres bases de données sont disponibles ?

Nous avons procédé à une recherche des bases de données de photographies disponibles sur internet. Afin d'identifier ces bases, nous nous sommes appuyés sur les bases utilisées dans la littérature existante, sur les sites d'identification participative, sur les sites spécialisés sur les Lépidoptères et enfin en tapant «moth images database» sur google. Cette recherche n'est pas exhaustive, mais permet d'avoir un premier aperçu de la disponibilité en images en dehors de celles issues directement de Lépinoc. Le tableau 8 résume les différentes bases de données identifiées.

Tableau 8 : bases de données de photographies identifiées.

Source	Nombre de photographies total	Nombre d'espèces	Estimation du nombre de photographies par espèce	Qualité des identifications	Lien de téléchargement
--------	-------------------------------	------------------	--	-----------------------------	------------------------

Fieldguide (https://leps.fieldguide.ai/figures)	530 000 (Rhopalocères et Hétérocères)	5419	6 à 1000	Très bonne	https://www.kaggle.com/c/field-guide-challenge-moths-and-butterflies/data
INPN	4 322	?	?	Très bonne	Pas de lien pour tout télécharger
LPO	9 000	?	Au moins 1	Bonne	Pas de lien pour tout télécharger
Lepinet	Au moins 2 000	Environ 2 000	Au moins 1	Très bonne	Pas de lien pour tout télécharger
iNaturalist	9 271 575 (Rhopalocères et Hétérocères)	50 403	?	Bonne	https://github.com/inaturalist/inaturalist-open-data/tree/documentation

De plus, des images sont également disponibles directement à partir de Google images, mais leur identification est incertaine. Enfin, un site agrège de nombreux jeux de données par espèces, dont des images : GBIF (<https://www.gbif.org/fr/>). Il inclut notamment les images issues d'iNaturalist, mais également d'autres sources comme celles d'Observations.org qui comporte des images de Lépidoptères issus des Pays-Bas et de Belgique. C'est à partir de cette base de données que certains chercheurs travaillent, comme David Rolnick et son pipeline permettant la segmentation et l'identification de 1 400 espèces et déjà cité précédemment.

iNaturalist, une base de données qui se distingue

Parmi les jeux de données identifiés, iNaturalist présente de nombreux avantages. En effet, c'est la base de données la plus importante, avec de nombreuses photographies d'espèces déjà présentes dans le jeu de données Lépinoc. Ainsi, sur les 30 espèces observées dans le cadre du démonstrateur et avec au moins 20 photographies, toutes pourraient théoriquement être complétées avec des photographies issues d'iNaturalist pour atteindre au minimum 250 photographies. De plus, les identifications sont de bonne qualité grâce à un processus de double vérification par les pairs, et elles sont facilement téléchargeables avec de nombreuses métadonnées disponibles (notamment date, heure, coordonnées GPS). Enfin, elles sont facilement téléchargeables en ligne de commande, bien que le volume de photographies implique nécessairement une connexion internet de bonne qualité ainsi qu'une capacité de stockage importante.

Cependant, iNaturalist présente également une limite importante : il rassemble à la fois des images d'imago, mais aussi des photographies d'œufs et de chenilles, sans que le stade ne soit renseigné dans les métadonnées. Par exemple, pour la Livrée des arbres, environ 50% des photographies semblent être des images de chenilles (estimation obtenue à partir de la [première page](#)). Il pourrait donc être nécessaire de passer par un pré-processus de tri afin de séparer les photographies d'imago des autres stades. Ce tri pourrait être réalisé à l'aide d'une intelligence artificielle qui nécessiterait là aussi des bases de données d'entraînement et de validation spécifiques.

Développer une base de données commune inter-projets de suivis automatisés des Lépidoptères nocturnes

Une solution particulièrement intéressante serait donc de pouvoir constituer des bases de données communes avec les autres équipes dans le monde travaillant sur des projets proches de Lépinoc et délivrant des photographies dont la qualité est plus semblable que celles issues des bases de données publiques. Par exemple, sur les 8 espèces reconnues via l'algorithme de Bjerge et al. (2021), 2 sont en commun avec notre propre jeu de données (*Noctua pronuba* et *Xestia c-nigrum*). Pour les données employées par [27], 30 espèces sont en commun avec nos propre données, dont 11 espèces parmi les plus abondantes du jeu de données issu du démonstrateur. Ce point a été évoqué lors d'une réunion rassemblant les différents acteurs des suivis automatisés des papillons de nuit basés sur des systèmes à base de caméra d'IA. Cependant, la construction d'une base de photographies communes reste à statuer.

Développer un processus d'intelligence collective d'identification par les pairs

Une autre approche pour générer une base de données d'entraînement et de validation serait de développer un processus d'identifications par les pairs sur les données Lépinoc. Elle permettrait de labelliser massivement des Lépidoptères, mais a les freins suivants :

- Elle nécessite de trouver un public cible :
 - soit déjà formé à l'identification des Lépidoptères nocturnes mais qui dans ce cas doit potentiellement accepter d'identifier des espèces communes et redondantes, et pas uniquement des espèces rares
 - soit non formé à l'identification, mais ce qui nécessite dans ce cas le développement d'une clef simplifiée d'identification
- Si l'objectif est bien le développement d'une base de données annotées de qualité et pas uniquement de la sensibilisation citoyenne, elle nécessite que les tâches fournies aux humains ne soient pas déjà effectuées en routine par de l'IA
- Dans tous les cas, elle nécessite le développement d'une animation à part dans Lépinoc, avec la nécessité de développer également l'ensemble des outils d'animation nécessaire à cette tâche

Ainsi, un processus d'intelligence collective peut être particulièrement intéressant, mais doit être réfléchi selon l'intérêt qu'il apporterait par rapport à une IA ou à d'autres solutions déjà évoquées précédemment.

Enfin, en plus de la qualité des données, c'est également l'algorithme retenu et la capacité de travailler avec des experts capables de l'adapter et de l'améliorer à notre jeu de données qui impactera la quantité et la qualité de données nécessaires à la mise en place d'une automatisation du traitement des photographies.

5.2.2. Quels algorithmes pour Lépinoc ?

Comme notre cadre d'action vise à segmenter les Lépidoptères sur les photographies complètes, puis à classifier ces photographies, nous présenterons par la suite de manière séparée les algorithmes de segmentation et de classification. Là encore, la recherche qui a été menée pour identifier les algorithmes existants ne permet pas d'atteindre l'exhaustivité. Nous avons ainsi identifié les algorithmes open source généralistes existants, et spécifiquement les algorithmes appliqués aux Lépidoptères nocturnes. De plus, la recherche scientifique sur les algorithmes de segmentation et de classification connaît une explosion depuis les années 2010 (figure 27), ce qui empêche un non-expert d'être à jour sur cette thématique. Il s'agira donc essentiellement de présenter de premières pistes.

Publications SVM vs DNN¹

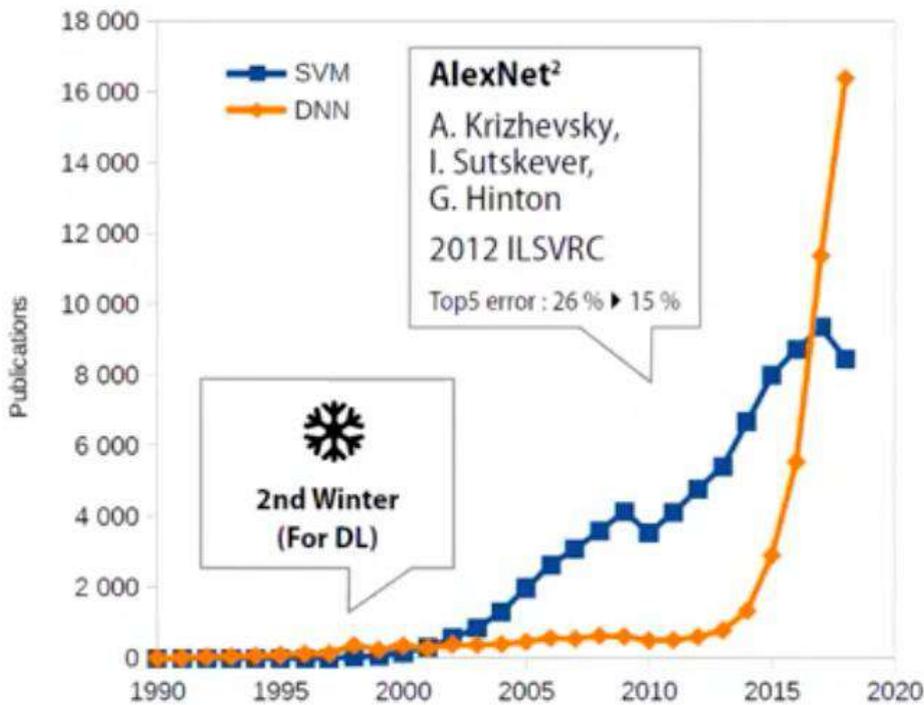


Figure 27 : Nombre de publications sur les SVM (type régression) et les DNN (type deep learning). Source : Jean-Luc Parouty

Algorithmes de segmentation

Tableau 9 : récapitulatif d'algorithmes ou modèles employés pour automatiser la segmentation.

	Algorithme généraliste	Algorithme spécialisé sur les Lépidoptères nocturnes
Algorithme en accès libre	<ul style="list-style-type: none"> U-Net FastFCN Gated-SCNN (seules les plus connus sont indiqués ici) 	<ul style="list-style-type: none"> Moth Classification and Counting (Bjerge et al., 2021 ; https://github.com/kimbjerge/MCC-trap) Algorithme de Donald Hobern (https://github.com/dhobern/AMT) Korsh et al. 2021(https://github.com/cvjena/moth_scanner_demo)
Algorithme pas en accès libre		<ul style="list-style-type: none"> Diopsis Ding & Taylor, 2016 Zhong et al., 2018 Algorithme de l'équipe de David Rolnick

Sur les 10 algorithmes analysés, 3 sont particulièrement intéressants (tableau 9) :

- L'algorithme de Donald Hobern, qui est une version en Time Lapse de l'algorithme de Bjerge et al. (2021) qui lui était adapté à des vidéos. De plus, Donald Hobern est un élément moteur dans le développement d'un protocole mondial de suivi des Lépidoptères nocturnes basé sur des caméras et de l'IA

- L’algorithme de David Rolnick, entraîné sur 1 400 espèces, et qui pourrait être appliqué à des données comme les notre, mais qui n’est pas disponible en accès libre à ce jour.
- L’algorithme de Korsh et al. (in prep.), qui arrive à détecter des papillons de nuit avec une précision proche de 90%

Algorithmes de classification

Tableau 10 : récapitulatif d’algorithmes ou modèles employés pour automatiser la classification.

	Algorithme généraliste	Algorithme spécialisé sur les Lépidoptères nocturnes
Algorithme en accès libre	<ul style="list-style-type: none"> • ResNet • AlexNet (seules les plus connus sont indiqués ici) 	<ul style="list-style-type: none"> • Moth Classification and Counting (Bjerge et al., 2021 ; https://github.com/kimbjerge/MCC-trap) • Korsh et al. 2021(https://github.com/cvjena/moth_scanner_demo)
Algorithme pas en accès libre		<ul style="list-style-type: none"> • Diopsis • Mayo & Watson 2007 • Chang et al. 2017 • iNaturalist • LepSnap • Obsidentify • Algorithme de l’équipe de David Rolnick

Sur les 11 algorithmes analysés, seul celui de Bjerge et al. (2021) est en accès libre, spécialisé sur les Lépidoptères nocturnes et atteint un bon niveau de précision (93%). D’autres équipes semblent s’emparer de cet algorithme (ex : Donald Hobern). De plus, sur les 8 espèces de Lépidoptères nocturnes traitées par leur algorithme, toutes se trouvent en France. L’algorithme de l’équipe de David Rolnick semble aussi prometteur, mais comme précisé ci-dessus, il n’est pas encore disponible et nécessiterait de mettre en place une collaboration. L’algorithme développé par Korsh et al. (2021) est également à suivre. En effet, il atteint 91% de précisions sur 200 espèces, mais seule une démonstration est disponible en accès libre. De plus, il sera certainement amélioré par la suite (tableau 10).

5.2.3. Infrastructure informatique

Afin de mener à bien l’implantation d’une intelligence artificielle pour l’automatisation de l’identification des papillons de nuit, il est nécessaire de réunir :

- De la puissance calcul : elle doit être suffisamment importante et implique nécessairement une infrastructure dédiée dès que l’on commencera à traiter des volumes conséquents de données
- Une capacité de stockage : elle doit être suffisante pour gérer les données brutes Lépinoc, métadonnées, les données d’entraînement extérieurs, les données découpées
- Une connexion Internet suffisante : elle doit être stable et avec un débit suffisant pour télécharger les données
- La construction d’une base de données, qui permettra que les données Lépinoc suivent le principe des données F.A.I.R (« faciles à trouver, accessibles, interopérables et réutilisables »)

Noé ne rassemble aucune de ces composantes, et devra donc développer des solutions pour atteindre ces impératifs. Le tableau ci-dessous résume ces solutions envisageables.

Tableau 11 : Solutions envisagées pour remplir les besoins en infrastructure informatique dans le cadre de la mise en place d'une IA pour Lépinoc.

Solutions	Points forts	Points faibles
Location sous forme de cloud computing (ex : Amazon AWS)	<ul style="list-style-type: none"> • Nombreuses offres • Liberté d'action 	<ul style="list-style-type: none"> • Confidentialité des données ? • Coût • Nécessite des compétences extérieurs, potentiellement sous forme de prestation
Partenariat avec un laboratoire de recherche pour l'accès aux mesocentres du CNRS (https://calcul.math.cnrs.fr/pages/mesocentres_en_france.html)	<ul style="list-style-type: none"> • Confidentialité des données • Gratuit • Participe à la création d'un écosystème d'écologie 2.0 en France 	<ul style="list-style-type: none"> • Moindre liberté d'action • Nécessite de trouver un partenaire public intéressé
Prestation d'une entreprise	<ul style="list-style-type: none"> • Accompagnement complet 	<ul style="list-style-type: none"> • Couteux
Mécénat par une entreprise utilisant ce type d'outils	<ul style="list-style-type: none"> • Gratuit • Peut s'inscrire dans un mécénat plus global sur le traitement des données 	<ul style="list-style-type: none"> • Moindre liberté d'action • Nécessite de trouver un partenaire privé intéressé • Risque si le mécénat s'arrête

Au-delà des seuls infrastructures, Noé ne possède aujourd'hui pas les compétences pour mettre en place un processus automatisé d'identification des Lépidoptères nocturnes. Il est donc nécessaire de mettre un place un partenariat pour mener à bien cette partie du projet.

5.3. Quel cadre de partenariat pour mettre en œuvre une IA ?

Le tableau ci-dessous résume les cadres de partenariat envisageable pour mettre en œuvre une IA.

Tableau 12 : partenaires identifiés pour la mise en place d'une IA.

Solution	Partenaires éventuels	Avantages	Inconvénients
Prestation	<ul style="list-style-type: none"> • Natural Solutions • Diopsis ? 	<ul style="list-style-type: none"> • S'occupent de tout une fois les photographies découpées données 	<ul style="list-style-type: none"> • Payant • Nécessite une prestation dans le temps • Questionnement sur la possibilité de faire du logiciel/code libre
Mise en place d'une collaboration internationale	<ul style="list-style-type: none"> • Equipes dans le monde développant des outils proches de Lépinoc (ex : proet EASY RIDER) 	<ul style="list-style-type: none"> • Niveau d'avancement déjà important et sur des données proches de Lépinoc • Connexion à un projet global 	<ul style="list-style-type: none"> • Encore en phase de démarrage, avec un premier travail qui sera déjà à effectuer sur les métadonnées • Nécessite certaines compétences informatiques en interne

Co-encadrement d'un stagiaire avec un laboratoire de recherche public	<ul style="list-style-type: none"> • Alexis Joly (Inria) • MNHN (co-construction avec Sorbonne Université) 	<ul style="list-style-type: none"> • Stagiaire • Peu couteux • Code libre 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessite un co-encadrement et donc du temps disponible de la part du chercheur • Moins de garantie d'atteindre un résultat exploitable à la fin du stage • « snapshot » : nécessitera de mettre en place une collaboration sur le plus long terme pour améliorer l'algorithme au fur et à mesure des données collectées
Co-encadrement d'un stagiaire avec une entreprise	<ul style="list-style-type: none"> • Entreprise d'informatique (ayant pour volonté de monter en compétence en IA ?) 	<ul style="list-style-type: none"> • Stagiaire • Moins couteux qu'une prestation • Code libre 	<ul style="list-style-type: none"> • Moins de garantie d'atteindre un résultat exploitable à la fin du stage que s'il s'agit d'une prestation • « snapshot » : nécessitera de mettre en place une collaboration sur le plus long terme pour améliorer l'algorithme au fur et à mesure des données collectées
Challenge type hackathon	<ul style="list-style-type: none"> • https://www.kaggle.com/competition • Université de Bretagne Occidentale - UBO 	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en compétition des talents • Facilitation pour les ONG dans le cas de Kaggle • Intérêt manifesté du côté de l'UBO • Code libre 	<ul style="list-style-type: none"> • Implique de mettre les photo Lépinoc en accès libre sur internet • Implique d'avoir suffisamment de données selon les critères de la plateforme qui accueille le challenge • Nécessite un prix pour attirer les ingénieurs les plus talentueux • Peu de challenge de ce type/an au moins sur Kaggle (5/an) • « snapshot » : nécessitera de mettre en place une collaboration sur le plus long terme pour améliorer l'algorithme au fur et à mesure des données collectées • « risque de réinventer la roue »
Mécénat de compétence	<ul style="list-style-type: none"> • ENGIE • Google • Toute entreprise faisant de l'IA 	<ul style="list-style-type: none"> • Gratuit • Personnel potentiellement très compétent 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessite un démarchage important • Pas forcément suffisant pour mener à bien l'ensemble du projet car potentiellement fortement limité en temps • Questionnement sur la possibilité de faire du logiciel/code libre

5.4 Perspectives futures

Par la suite, une intelligence artificielle pourrait avoir d'autres fonctions, notamment :

- Une IA qui serait un identificateur comme les autres participants humains (option Vigie-Nature)
- Une IA qui serait autonome dans l'identification mais qui mettrait en avant pour l'identification par des participants humains chaque nouvelle espèce rencontrées dans une série de photographie
- Une IA complètement autonome qui à partir d'une série de photographies sortirait les abondances par taxon. La partie sensibilisation serait effectuée grâce à un programme qui donnerait une sortie interprétée de chaque relevé par exemple en croisant les relevés avec une

base de données de traits d'histoire de vie, une petite explication pour chaque nouvelle espèce, et qui informerait sur les autres espèces trouvables à proximité

5.5. Plan d'action pour 2022-23

Plan d'action 2022

Au premier semestre 2022, nous poursuivrons l'estimation par simulation du temps nécessaire pour constituer une base de données suffisamment volumineuses pour quatre grandes catégories de Lépidoptères que nous avons déclinées au cours de la synthèse :

- Les espèces de macro-hétérocères très communes
- Les espèces de macro-hétérocères caractéristiques visuellement
- Les espèces de micro-hétérocères caractéristiques visuellement
- Les espèces peu communes et peu caractéristiques visuellement

Nous étudierons également comment mettre en place un partenariat avec des projets proches de Lépinoc pour constituer une base de données communes, ainsi que dans quelle mesure nous pourrions utiliser les données d'iNaturalist et du GBIF comme données d'entraînement. Nous étudierons également la possibilité de bénéficier de l'IA privée du projet Diopsis, et quel en serait le coût.

Nous poursuivrons notre recherche sur la disponibilité future des algorithmes en cours de développement, en prenant directement contact avec au moins deux équipes : celle de David Rolnick et celle de Dimitri Korsch.

Dans tous les cas, nous devrons monter un partenariat pour tester le ou les algorithmes identifiés. Nous clarifierons donc les besoins pour un tel partenariat :

- Quelles données sont nécessaires, notamment en établissement si les photographies Lépinoc doivent déjà être découpées par nos soins ou si cette tâche peut être effectuée par un partenaire, et si nous devons attendre d'avoir les données de 2022 issues des nouveaux dispositifs dont la qualité sera différente de celles de 2021
- Quelles infrastructures informatiques sont nécessaires pour un premier partenariat ? Est-ce que Noé doit fournir ces infrastructures ou est-ce le partenaire qui fournit ces infrastructures

Nous mènerons une prospection pour établir ce partenariat de test des algorithmes pouvant prendre de multiples formes : stage, prestation, mécénat, challenge type hackathon.

Au second semestre 2022, nous lancerons une première phase de test dans le cadre de ce premier partenariat. Ce test sera potentiellement de type « one shot » : l'objectif sera de trouver la meilleure solution possible pour segmenter et classifier les données Lépinoc en priorisant la classification selon les quatre catégories de Lépidoptères présentées ci-dessus, notamment parmi les solutions que nous avons identifiées au cours du démonstrateur et donc potentiellement en partenariat directement avec un des acteurs les portant. Il s'agira donc d'une preuve de concept concentrée sur la partie algorithmique et donc modèles.

Nous poursuivrons également notre recherche sur les besoins en infrastructures informatiques et sur les solutions à mettre en place pour remplir ces besoins dans le cadre d'un déploiement national. Pour définir des solutions concrètes sur l'infrastructures informatiques, nous prospecterons auprès d'entreprises et de laboratoire de recherche.

Plan d'action 2023

En 2023, nous pérenniserons le modèle développé en l'intégrant dans le développement de l'ensemble du processus, qui comportera :

- L'amélioration du modèle avec nouvelles photo

- Le développement des solutions et pérennisation pour la partie infrastructures informatiques (i.e. puissance de calcul, capacité de stockage, connexion internet, construction d'une base de données)
- L'intégration de ces outils à la plateforme web de Lépinoc

Il s'agira donc d'un partenariat de plus long terme qui s'étalera au-delà de 2023, notamment car l'amélioration du modèle se fera de manière continue avec l'arrivée de nouvelles données, mais qui restreint potentiellement le partenaire (ex : prestation, laboratoire de recherche).

A la fin de 2023, notre objectif est donc d'avoir un modèle d'IA intégré à la plateforme web Lépinoc et disposant de l'ensemble de l'infrastructure informatique nécessaire pour son fonctionnement, et permettant de manière fiable et précise :

- Le découpage des Lépidoptères nocturnes à partir des photographies complètes
- L'identification spécifique des espèces les plus abondantes et les plus caractéristiques

Si nos financements le permettent et selon son utilité par rapport à l'IA, nous développerons également une preuve de concept d'un protocole d'identification par les pairs. L'objectif de ce protocole sera notamment d'accumuler de nouvelles photographies pour les taxons sous-représentés ou mal identifiés par l'IA.

Chantier transverse

Enfin, sur l'ensemble de 2022-2023, nous poursuivrons la construction d'une base de données Lépinoc, mais selon la solution sur les données retenue, nous collaborerons potentiellement avec d'autres projets proches de Lépinoc dans le cadre de la co-construction d'une base de données d'entraînement/validation.

6. Communication et valorisation du projet



Au cours du démonstrateur, de nombreuses opérations de communication ont été entreprises. Ainsi, nous avons :

- Produit une page internet sur le projet (<https://noe.org/projet-lepinoc>)
- Produit des documents de communication, avec un flyer présentant le projet, une exposition affichée au Parc Floral, dans les locaux de notre partenaire ENGIE et au sein de l'Université de Cergy Pontoise, ainsi qu'une vidéo de présentation du projet et diffusée sur les réseaux sociaux
- Communiquer sur notre site internet, avec des actualités régulières en lien avec les Hétérocères et la biodiversité nocturne en général dont une « Chronique de la nuit » composé de 5 articles différents :
 - <https://noe.org/les-chroniques-de-la-nuit-les-papillons-de-nuit>
 - <https://noe.org/chroniques-de-la-nuit-blaireau>
 - <https://noe.org/chroniques-de-la-nuit-3-triton-alpestre>
 - <https://noe.org/chronique-de-la-nuit-4-la-feuille-morte-du-chene>
 - <https://noe.org/chronique-nuit-5-muscardin>
- Produit un communiqué de presse pour le lancement du projet
- Publié un article dans Passion-Entomologie, lu plus de 1 000 fois (<https://passion-entomologie.fr/inventaire-papillons-de-nuit-lepinoc-noe/>)
- Participé au Hackathon Hack4Nature porté par l'entreprise Natural Solutions, et dont nous sommes lauréats à l'issue d'une présentation de restitution en ligne et nous ayant permis de présenter Lépinoc au congrès mondial de la nature de l'UICN (<https://www.lamarseillaise.fr/environnement/hack4nature-decouvrez-les-laureats-du-marathon-numerique-GF8887686>)
- Présenté le projet à Yann Wehring (vice-président de la région Île-de-France) et à Christophe Najdovski (adjoint au maire à la mairie de Paris), événement ayant fait l'objet d'un communiqué de presse (<https://noe.org/soutien-projet-lepinoc-region-iledefrance-ville-paris>)
- Mise en place d'une campagne de sensibilisation sur les Hétérocères sur Instagram dans le cadre du Jour de la Nuit
- Présenté Lépinoc au cours de différents colloques et workshops :
 - Colloque AFE/ACE biodiversité nocturne et lumière urbaine
 - Journée technique trame noire de l'ARB Île-de-France (disponible en rediffusion : <https://www.youtube.com/watch?v=MKz9wOL2pul>)
 - Jour de la Nuit à CY Cergy Paris Université
 - Workshop ImaginEcology (<https://imaginecology.sciencesconf.org/>)
 - Workshop international sur le suivi automatisé des Lépidoptères nocturnes
 - Auprès du Syndicat Des Energies De Seine Et Marne
 - Assises Nationales de la Biodiversité de 2020.

Lépinoc a également été relayé par les participants au projet, et plus spécifiquement au travers :

- D'un article par la mairie de Montreuil
- Lors d'une présentation au cours de la formation TN OFB
- Lors d'une présentation en interne à Storengy et à ENGIE

7. Cahiers des charges



Dispositif

Constats

Globalement, le développement du dispositif a été un succès et a permis d'obtenir un produit minimum viable. En effet :

- La lampe attire efficacement les Lépidoptères
- La hauteur de 1 m semble satisfaisante
- La qualité des photographies était globalement satisfaisante, ce qui souligne qu'une caméra de 13 mpxl est convenable bien que la puissance du flash pourrait être améliorée ou complétée par une autre source de lumière
- La feutrine comme support de pose des Lépidoptères permet un fond uniforme
- L'armature du dispositif était globalement solide
- Le dispositif était globalement waterproof, ce qui est absolument nécessaire étant donné que plusieurs événements pluvieux ont eu lieu
- Le vent n'a pas entraîné d'arrachage des dispositifs

Cependant, dans sa forme actuelle, il présente de nombreuses limitations pour un déploiement national.

Coût :

- Il est coûteux : son coût complet (avec la fabrication par un fablab) est proche de 400€ en excluant la livraison
- Le smartphone est neuf, ce qui engendre un coût élevé et implique un impact sur l'environnement important alors que 100 millions de smartphones non utilisés seraient gardés rien qu'en France⁵
- Le temps de fabrication est important, générant un coût qui pourrait être amoindri, en particulier à cause :
 - Du plexiglass qui est difficile à découper
 - De la connectique au sein des boîtiers qui nécessitent d'être soudés pour être plus durables

Durabilité :

- Il est peu durable

	Pas critique	Critique
Fréquent	<ul style="list-style-type: none">-une partie des vis rouillent-les pas de vis ne tiennent pas et finissent par tourner dans le vide-les cales en bois cassent facilement	<ul style="list-style-type: none">-la lampe se détache facilement-le système de fixation du téléphone est peu stable-la manipulation du système de sécurité a engendré des risques de surchauffe des blocs batteries-les câbles dans les blocs batteries et dans les boîtiers étanches se défont

⁵ <https://boutique.orange.fr/informations/programme-re/>

Peu Fréquent	-de l'eau s'est infiltrée dans au moins une lampe	-les batteries finissent par être difficilement chargeables -la plaque de plexiglass semble pouvoir se comporter comme une loupe -la caméra peut se rayer -le smartphone peut être volé
--------------	---	--

Montage :

- Il est difficile à monter et à régler :
 - le dispositif est lourd
 - le montage en croix est complexe et difficile à réaliser seul
 - il est difficile de respecter les distances optimales entre smartphone et feutrine
 - la feutrine doit impérativement être parallèle au smartphone mais ça n'est pas toujours évident
 - le cadrage est complexe
- Globalement, il est très sensible dans son montage, avec un impact important sur la qualité des photographies si le montage n'est pas parfaitement exécuté
 - Il est adapté au modèle de smartphone utilisé dans le cadre du démonstrateur, mais pas forcément à tous les modèles de smartphone notamment selon la position de la caméra

Autonomie énergétique :

- Il est trop coûteux en énergie :
 - Les batteries sont très longues à charger, impliquant une capacité à anticiper les sessions futures

Qualité des photographies :

- Il engendre des photographies dont la qualité peut encore être améliorée, notamment en diminuant le contre-jour et les causes de flou
- le format de la feutrine n'est pas complètement adapté au cadre de la caméra du smartphone (elle est trop longue)

Politique de fabrication, stockage et livraison :

- Il doit pouvoir être fabriqué, stocké et livré à faible coût, par un partenaire
- Les composants doivent être facilement disponibles et sans grande variation de coût

Application smartphone :

- l'application TimerCamera n'est pas satisfaisante :
 - elle est peu intuitive, avec de mauvais réglages fréquents comme des horaires de photographie non activés ou activés au mauvais moment ce qui vide le smartphone de sa batterie, un déclenchement du mode selfie ou du mode vidéo, condamnant la session
 - elle empêche des réglages de la caméra qui soient optimisés pour l'usage qui en est fait

- elle génère des difficultés dans l'extraction des données
- elle ne permet pas de saisir les métadonnées ni d'anticiper sa session

Conséquences sur le cahier des charges

Un ensemble d'éléments doivent être maintenus au sein du nouveau dispositif :

- Le smartphone comme système permettant la prise de photographies
- La lampe située à 1 m de haut
- Le modèle de lampe 9W 12V waterproof
- Le système d'allumage de la lampe automatisé
- La feutrine blanche comme support de pose des Lépidoptères
- La configuration générale avec lampe au-dessus du support de pose, le smartphone en face du support
- La solidité de l'armature

D'autres éléments doivent faire preuve d'amélioration :

Coût :

- Le moins cher possible
- Matériaux plus faciles à travailler
- Optionnel : smartphone issu du recyclage, impliquant la mise en place d'un partenariat avec un fournisseur téléphonique (ex : Orange dans le cadre de son programme Re)

Durabilité :

- Doit supporter plusieurs sessions
- Ne doit pas nécessiter d'être ressoudé
- Ne doit pas nécessiter d'avoir à refixer les câbles électriques
- Système de blocs de batteries sans risque
 - **Il ne doit pas y avoir de modification du système de sécurité**
 - Question : est-ce que remplir une norme de sécurité (ex : ATEX) pourrait être pertinent ou doit même être nécessaire si le dispositif est commercialisé par la suite ?
- Waterproof : acceptable que les vis rouilles, mais l'électronique ne doit pas être impactée
- Optionnel : Système antivol de téléphone

Une possibilité serait que les solutions proposées permettent d'atteindre l'équivalent de la garantie 2 ans par exemple

- Matériaux si possible avec une dimension de durabilité environnementale

Montage :

- Système adapté pour la fixation de la lampe
- Distance constante entre feutrine et smartphone
- Angle constant entre feutrine et smartphone
- Facilement montable et démontable, sans interférence sur la qualité des données obtenues (dispositif peu sensible)
- Facilement transportable et léger

- Idéalement, dispositif pouvant être laissé sur place avec les seuls batteries et smartphone à installer à chaque session
- Question : système de fixation du smartphone adaptable à un (ou quelques) modèles de smartphone ?

Autonomie énergétique :

- Autonomie d'au moins 4h en été et sur plusieurs années
- Optionnel : autonomie d'au moins 4h l'hiver
 - Identifier les contraintes pour avoir une autonomie l'hiver

Qualité des photographies :

- Suppression des problèmes de flou et de contre-jour
- Adaptation du format du support de pose au cadrage de la caméra du smartphone

Politique de fabrication, stockage et livraison :

- Composants facilement disponibles sur le marché, sans variabilité de coût importante, avec de la production sur le long terme
- Solutions techniques et de fabrication ne dépendant pas d'un outillage rare
- Solutions techniques et de fabrication permettant d'atteindre facilement les objectifs de sécurité dont une norme (si retenu)

Application smartphone :

Ce cahier des charges ne portera que sur la partie hardware du dispositif. En effet, un cahier des charges spécifique à l'application est détaillé ci-dessous.

Deux éléments sont à étudier, mais ils pourraient sensiblement augmenter le coût des dispositifs :

- Système d'allumage de la lampe réglable
- Système d'acquisition de données météo

Protocole :

Constats

Globalement, nous avons constaté que les étapes et la démarche générale du protocole sont les bonnes. En effet, il est indispensable :

- De planifier sa session
- De vérifier le matériel
- De monter le dispositif et paramétrer l'application
- De collecter des métadonnées
- De transmettre les données

Cependant, le protocole est aujourd'hui trop lourd et inadapté, en lien avec :

- 3 dispositifs par site
- Un calendrier complexe, et un nombre de sessions trop important
- Des métadonnées trop fréquemment demandées
- Un dispositif trop complexe à monter
- Un réglage de l'application inadapté et causant de nombreuses erreurs potentielles avec un impact direct sur la qualité des sessions
- Une fiche habitat issue du protocole Propage inadaptée pour des points au lieu de transects ainsi que pour des espaces naturels
- Un processus de transmission des données trop lourd

Conséquences sur le cahier des charges

Un ensemble d'éléments doivent être maintenus au sein du nouveau protocole :

- Préparation de la session en amont, avec chargement du matériel électronique et vérification de l'ensemble du matériel nécessaire avant de partir sur le terrain
- Choix de la session en fonction des mêmes conditions météo qu'au cours du démonstrateur
- Vérification que la lampe s'allume bien une fois sur le terrain
- Transmission des données à la fin d'une session

D'autres éléments doivent faire preuve d'amélioration :

- 1 dispositif par site, sauf au MNHN où 3 dispositifs seront mis en place pour valider l'hypothèse que le dispositif n'est pas ou peu influencé par les micro-habitats
- Modification de la fiche Propage afin de prendre en compte :
 - Le fait que le dispositif est situé au niveau d'un point et pas sur un transect
 - Les habitats des espaces naturels
- Même niveau de priorisation des règles de positionnement selon si le site est ouvert ou fermé :
 - 1) milieu ouvert
 - 2) le moins éclairé possible
 - 3) Accessibilité
- Saisi des métadonnées GPS et description de l'habitat une fois par an
- 3 suivis seront effectués de juin à août :
 - sur la base d'1 par mois lunaire
 - +-3 jours autour de la pleine lune, un suivi au cours de la pleine lune étant possible
 - 14 jours minimum entre deux sessions
- Simplification des étapes d'installation et de rangement, qui seront en concordance avec le nouveau dispositif
- Allègement des étapes de vérification de l'application : le développement de l'application smartphone permettra de ne pas avoir à vérifier l'heure de lancement et de fin des photographies, ni de valider chaque pas de temps
- Simplification du processus de transmission des données (cf cahier des charges de l'application)
- Optionnel : Prise de quatre photographies (Nord, Est, Sud, Ouest) une fois par an, en plein jour

Références

- [1] S. Seibold *et al.*, 'Arthropod decline in grasslands and forests is associated with landscape-

- level drivers', *Nature*, vol. 574, no. 7780, pp. 671–674, Oct. 2019, doi: 10.1038/s41586-019-1684-3.
- [2] S. Seibold *et al.*, 'Insights from regional and short-term biodiversity monitoring datasets are valuable: a reply to Daskalova *et al.* 2021', *Insect Conserv. Divers.*, vol. 14, no. 1, pp. 144–148, Jan. 2021, doi: 10.1111/icad.12467.
- [3] G. N. Daskalova, A. B. Phillimore, and I. H. Myers-Smith, 'Accounting for year effects and sampling error in temporal analyses of invertebrate population and biodiversity change: a comment on Seibold *et al.* 2019', *Insect Conserv. Divers.*, vol. 14, no. 1, pp. 149–154, Jan. 2021, doi: 10.1111/icad.12468.
- [4] R. van Klink, D. E. Bowler, K. B. Gongalsky, A. B. Swengel, A. Gentile, and J. M. Chase, 'Meta-analysis reveals declines in terrestrial but increases in freshwater insect abundances', *Science*, vol. 368, no. 6489, pp. 417–420, Apr. 2020, doi: 10.1126/science.aax9931.
- [5] C. A. Hallmann *et al.*, 'More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas', *PLOS ONE*, vol. 12, no. 10, p. e0185809, Oct. 2017, doi: 10.1371/journal.pone.0185809.
- [6] C. A. Hallmann *et al.*, 'Declining abundance of beetles, moths and caddisflies in the Netherlands', *Insect Conserv. Divers.*, vol. 13, no. 2, pp. 127–139, Mar. 2020, doi: 10.1111/icad.12377.
- [7] C. A. Hallmann, A. Ssymank, M. Sorg, H. de Kroon, and E. Jongejans, 'Insect biomass decline scaled to species diversity: General patterns derived from a hoverfly community', *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 118, no. 2, p. e2002554117, Jan. 2021, doi: 10.1073/pnas.2002554117.
- [8] P. Eggleton, 'The State of the World's Insects', *Annu. Rev. Environ. Resour.*, vol. 45, no. 1, p. annurev-environ-012420-050035, Oct. 2020, doi: 10.1146/annurev-environ-012420-050035.
- [9] D. Goulson, E. Nicholls, C. Botias, and E. L. Rotheray, 'Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers', *Science*, vol. 347, no. 6229, pp. 1255957–1255957, Mar. 2015, doi: 10.1126/science.1255957.
- [10] C. Huyghe, A. De Vlieghe, B. Van Gils, and A. Peeters, *Grasslands and Herbivore Production in Europe and Effects of Common Policies*. éditions Quae, 2014. doi: 10.35690/978-2-7592-2157-8.
- [11] A. Nieto *et al.*, *European red list of bees*. Luxembourg: Publications Office, 2014. Accessed: May 20, 2020. [Online]. Available: <http://bookshop.europa.eu/uri?target=EUB:NOTICE:KH0714078:EN:HTML>
- [12] O. Rollin, S. Vray, N. Dendoncker, D. Michez, M. Dufrêne, and P. Rasmont, 'Drastic shifts in the Belgian bumblebee community over the last century', *Biodivers. Conserv.*, vol. 29, no. 8, pp. 2553–2573, Jul. 2020, doi: 10.1007/s10531-020-01988-6.
- [13] G. Ghisbain, M. Gérard, T. J. Wood, H. M. Hines, and D. Michez, 'Expanding insect pollinators in the Anthropocene', *Biol. Rev.*, p. brv.12777, Jul. 2021, doi: 10.1111/brv.12777.
- [14] S. Gadoum and J.-M. Roux-Fouillet, 'Plan national d'actions « France Terre de pollinisateurs » pour la préservation des abeilles et des insectes pollinisateurs sauvages', Office Pour les Insectes et leur Environnement – Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie, 2016.
- [15] N. Vaughan, 'The diets of British bats (Chiroptera)', *Mammal Rev.*, vol. 27, no. 2, pp. 77–94, Jun. 1997, doi: 10.1111/j.1365-2907.1997.tb00373.x.
- [16] R. E. Walton, C. D. Sayer, H. Bennion, and J. C. Axmacher, 'Nocturnal pollinators strongly contribute to pollen transport of wild flowers in an agricultural landscape', *Biol. Lett.*, vol. 16, no. 5, p. 20190877, May 2020, doi: 10.1098/rsbl.2019.0877.
- [17] A. C. S. Owens and S. M. Lewis, 'The impact of artificial light at night on nocturnal insects: A review and synthesis: XXXX', *Ecol. Evol.*, vol. 8, no. 22, pp. 11337–11358, Nov. 2018, doi: 10.1002/ece3.4557.
- [18] D. L. Wagner, R. Fox, D. M. Salcido, and L. A. Dyer, 'A window to the world of global insect declines: Moth biodiversity trends are complex and heterogeneous', *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 118, no. 2, p. e2002549117, Jan. 2021, doi: 10.1073/pnas.2002549117.
- [19] C. J. Macgregor, J. H. Williams, J. R. Bell, and C. D. Thomas, 'Moth biomass increases and

- decreases over 50 years in Britain', *Nat. Ecol. Evol.*, vol. 3, no. 12, pp. 1645–1649, Dec. 2019, doi: 10.1038/s41559-019-1028-6.
- [20] L. H. Antão, J. Pöyry, R. Leinonen, and T. Roslin, 'Contrasting latitudinal patterns in diversity and stability in a high-latitude species-rich moth community', *Glob. Ecol. Biogeogr.*, vol. 29, no. 5, pp. 896–907, May 2020, doi: 10.1111/geb.13073.
- [21] D. H. Boyes, R. Fox, C. R. Shortall, and R. J. Whittaker, 'Bucking the trend: the diversity of Anthropocene "winners" among British moths', *Front. Biogeogr.*, p. 16, 2019.
- [22] R. K. Didham *et al.*, 'Interpreting insect declines: seven challenges and a way forward', *Insect Conserv. Divers.*, vol. 13, no. 2, pp. 103–114, Mar. 2020, doi: 10.1111/icad.12408.
- [23] E. Coulthard, J. Norrey, C. Shortall, and W. E. Harris, 'Ecological traits predict population changes in moths', *Biol. Conserv.*, vol. 233, pp. 213–219, May 2019, doi: 10.1016/j.biocon.2019.02.023.
- [24] K. Bjerger, J. B. Nielsen, M. V. Sepstrup, F. Helsing-Nielsen, and T. T. Høye, 'An Automated Light Trap to Monitor Moths (Lepidoptera) Using Computer Vision-Based Tracking and Deep Learning', *Sensors*, vol. 21, no. 2, p. 343, Jan. 2021, doi: 10.3390/s21020343.
- [25] F. Chollet, *Deep learning with Python*. Shelter Island, NY: Manning, 2018.
- [26] T. T. Høye *et al.*, 'Deep learning and computer vision will transform entomology', *PNAS*, vol. 118, no. 2 e2002545117, p. 10, 2021, doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.2002545117>.
- [27] D. Korsch, P. Bodesheim, and J. Denzler, 'Deep Learning Pipeline for Automated Visual Moth Monitoring: Insect Localization and Species Classification', p. 18.

Annexe

Annexe 1 : notice de fabrication du dispositif Lépinoc

DATE	31/03/2021
<u>CLASSIFICATION</u>	Internal (ENGIE)
<u>INITIALE</u>	

CRIGEN rapport

LépiNoc : Notice de fabrication et d'assemblage du système de prise de photos automatique

RÉF.: **M.CRIGEN.NAN.2021.00xx – LépiNoc : Notice de fabrication et d'assemblage du système de prise de photos automatique**

DPT. PÔLE OU MISSION

Lab Nanotech, Sensors & Wireless

AUTEURS INTERNES

Julien Werly

CRIGEN
4 rue Joséphine Baker
93240 Stains
Tél. +33 (0)1 49 22 47 74
www.engie.com

ENGIE - RCS Nanterre 542 107 651
Tour T1 – 1 place Samuel de Champlain – Faubourg de l'Arche - 92930 Paris La Défense Cedex - France

Tous droits de propriété réservés ENGIE 2022

AUTEURS EXTERNES

NB DE PAGES TOTAL **39**
NB D'ANNEXES **0**

MOTS-CLÉS

RÉSUMÉ / ABSTRACT

DOC(S) ASSOCIÉS None

CLASSEMENT Internal (ENGIE)

TYPOLOGIE Report

GESTION ÉLECTRONIQUE DE DOCUMENTS (GED) SIREDO OCSIGEN INTELYS Sans objet

PRESTATION SPÉCIALISÉE OUI NON

PROJET / Thématique

PROJET SUBVENTIONNÉ Non

LIVRABLE  Livvable CRIP

COMPTE DE GESTION 6P-NAN-CPC-KUE-GOO

VALIDATION	NOM	FONCTION	VISA	DATE
RÉDACTEUR	Julien Werly	Research and innovation engineer		
VÉRIFICATEUR	Caroline De Zutter	Research and innovation engineer		
APPROBATEUR				

NOM	VISA
ÉMETTEUR DU DOCUMENT	

DURÉE DE LA CLASSIFICATION INITIALE 1 an 5 ans 10 ans

DIFFUSION INITIALE:

Julien Werly (E), Carolien de Zutter (E), Louis Gorintin (E), Julien Guillet (E).

DIFFUSION COMPLÉMENTAIRE:

TABLE DES MATIÈRES

1.	
.....	
ContextE	84
2.	Matériel
nécessaire	84
2.1. Liste du matériel	84
2.2. Liste des outils nécessaires	85
3.Fabrication	et
assemblage	85
3.1. Réalisation de la structure de l'ensemble	85
3.2. Support pour insectes	91
3.3. Adaptation du boîtier des batteries	92
3.4. Réalisation du système d'éclairage	94
3.5. Installation du système d'éclairage sur son support	97
3.6. Paramétrage de l'application « TimerCamera » sur smartphone	98

1. CONTEXTE

Noé développe un démonstrateur de suivi automatisé des lépidoptères nocturnes par piège lumineux et capture photographique. Ce démonstrateur vise à tester un dispositif simple, fiable et peu onéreux à destination des gestionnaires d'espaces verts et naturels. Ce système a pour but d'être déployé à l'échelle nationale pour former le premier réseau français d'acquisition de données d'abondance et de diversité des lépidoptères nocturnes. Plus spécifiquement, ce suivi automatisé permettra de mieux connaître la réponse des lépidoptères nocturnes aux pressions anthropiques mesurées localement (i.e. à l'échelle du site), et ainsi d'orienter les choix des gestionnaires pour limiter ces dernières.

Ce présent document présente les étapes de fabrication et d'assemblage de ce système de prise de photo automatisé.

2. MATERIEL NECESSAIRE

2.1. Liste du matériel

Matériel	Quantité
Batteries	4
Pack de batterie	2
Elévateur de tension waterproof (5-11V to 12V)	1
Connecteur étanche	3
Détecteur crépusculaire	1
Lot de 5 vis 1/4 de pouce male-male	1
Smartphone Ulefone Armor X7 waterproof	1
Spot UV	1
Support pour téléphone portable	1
Tube aluminium 1m	2
Raccord tubulaire	2
Verre synthétique 50*50*0,4cm	1
Feutrine 25*40*0,3cm	1
Bride de fixation 30mm avec diamètre de trous de 6,5mm (ref FP14041)	4
Vis avec écrous M4 16mm (ref FP44034)	14
Ecrou pour vis M4 (ref FP44423)	14
Vis tête à six pans (ref FP41472)	1
Pieu de fondation	1
Poteau bois classe 4	1

2.2. Liste des outils nécessaires

Visseuse

Perceuse à colonne

Scie à onglet

Scie sauteuse ou massicot

Foret bois de 32mm

Foret métal de 4 et 5mm

Clé à laine

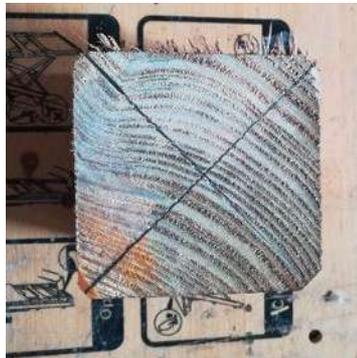
3. FABRICATION ET ASSEMBLAGE

3.1. Réalisation de la structure de l'ensemble

Prendre une perceuse avec une mèche bois de 32mm de diamètre



Prendre en morceau de poteau bois de 70mm de côté et tracer une croix en son centre



A l'aide de la perceuse et de la mèche bois de 32mm faire un trou en son centre sur une profondeur de 4cm.



A l'aide de la scie à onglet, couper 2 « tranches » de 2cm d'épaisseur du poteau



Prendre le pieu de fondation et insérer la 1^{ère} « tranche » de bois au fond



Prendre la seconde tranche de bois et la positionner sur la partie supérieure du pieu.



Insérer le tube en aluminium dedans et faire une marque avec un crayon dessus par l'intermédiaire du trou le plus haut



A l'aide de la perceuse à colonne faire un trou de 4mm de diamètre



Prendre une vis à tête hexagonale et l'emboutir légèrement à l'aide d'un marteau dans le tube en aluminium afin de faciliter le vissage



Insérer à nouveau le tube dans le pieu au travers des calles et visser la visse dans le trou réalisé par la perceuse à colonne



Prendre le second tube en aluminium et percer un trou de diamètre 5mm à l'aide de la perceuse à colonne à environ 10cm du bord. Prendre la vis adaptative mâle-mâle et l'emboutir à l'aide d'un marteau. Visser ensuite la vis dans le trou puis le support de téléphone portable dessus.



Prendre un raccord tubulaire pour fixer ensemble à la perpendiculaire les 2 tubes



Une fois les 2 tubes assemblés le support est prêt à recevoir :

- Le support où vont venir se poser les insectes ;
- Le tube LED UV ;
- Le système d'alimentation.

Remarque : Pour fixer le système dans la terre, pour plus de facilité, il est nécessaire d'enlever le tube vertical et de taper su le pieu de fondation à l'aide d'une calle martyr et d'une massette.

3.2. Support pour insectes

Prendre la plaque de verre synthétique, déposer la feuille de feutrine dessus et marquer les contours



A l'aide d'une scie sauteuse découper la forme de la feutrine dans la plaque de verre synthétique



Enlever les films plastique de protection et coller la feutrine. Centre l'anneau de fixation et faire 1 marque dans chacun des trous



A l'aide d'une perceuse et d'un foret 5 mm percer le support et visser l'anneau de fixation à l'aide des vis.

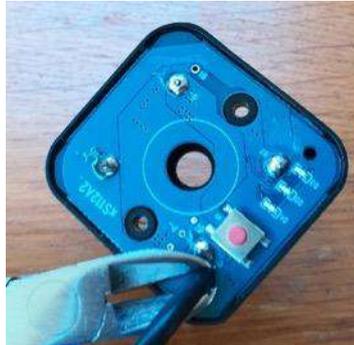
3.3. Adaptation du boîtier des batteries

L'objectif de cette partie est de montrer comment adapter le boîtier qui contient les batteries aux besoins de l'application LépiNoc. En effet le boîtier contient un régulateur de tension qui perturbe le bon fonctionnement de l'ensemble. Il est donc impératif de la bypasser.

Prendre le boîtier et dévisser la partie haute pour ne garder que cette partie



Ouvrir le couvercle en dévissant les 2 visse noires se situant en dessous et couper le câble à la base de la carte électronique



A l'aide d'une perceuse à colonne et d'un foret de 5mm faire un trou dans ce qui reste du câble et transpercer l'ensemble



Du câble coupé, couper la partie présentant le connecteur USB femelle et dénuder les fils rouges et noirs



Faire passer le câble et les fils à travers le trou et refermer le boîtier. Bien faire attention à maintenir l'étanchéité de l'ensemble. Connecter ensuite les fils rouge et noir sur les ressorts. Faire bien attention à mettre le fils rouge au-dessus de la batterie qui présentera sa borne positive et le fil noir au-dessus de la batterie qui présentera sa borne moins.



Refermer le boîtier, le pack de batterie est prêt à alimenter le système d'éclairage

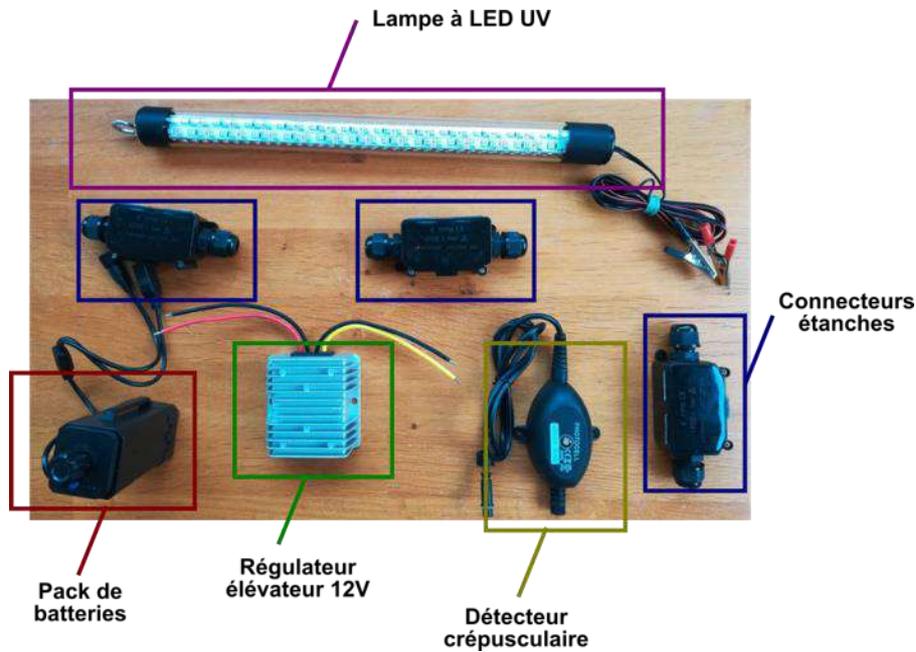


3.4. Réalisation du système d'éclairage

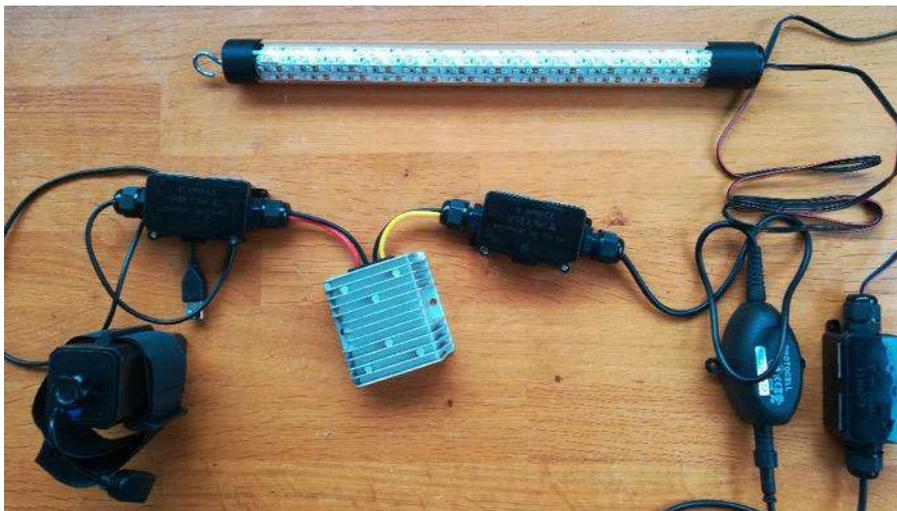
Prendre le matériel nécessaire à la fabrication du système d'éclairage et disposez le comme ci-dessous. Cet ensemble relie une batterie à une lampe UV en passant par :

- Un élévateur de tension 5V – 12V ;
- Un détecteur crépusculaire.

Les différents éléments étant reliés par des boîtiers étanches.



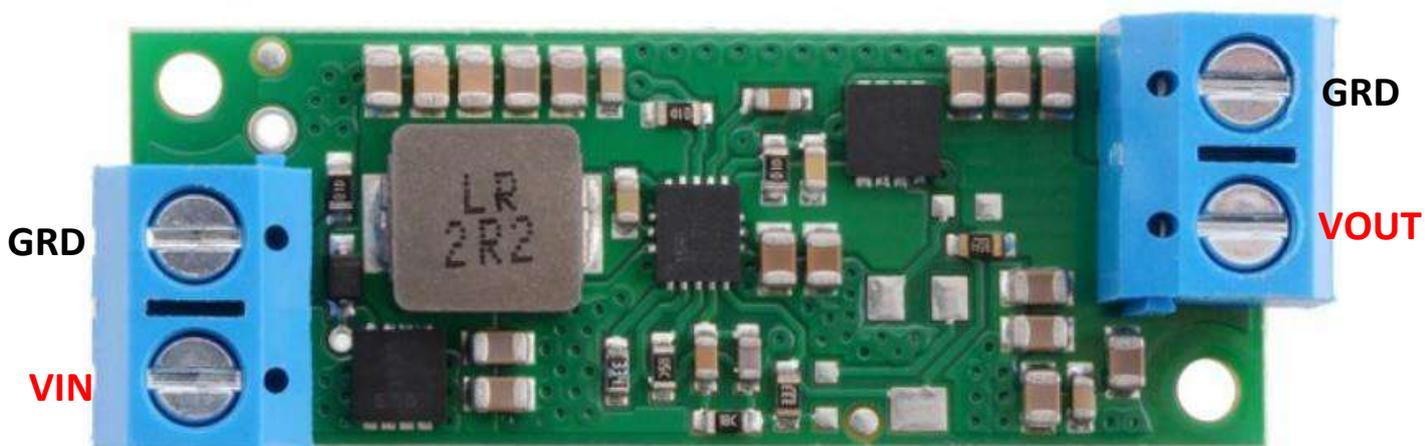
Dénuder et connecter les éléments entre eux afin d'obtenir le système suivant. Remarque : le câble du détecteur crépusculaire sera coupé en son milieu. La partie du câble contenant le détrompeur sera connecté sur la sortie du détecteur crépusculaire.







Dans le cas où l'élévateur 12V est un Pololu 12V Step-Up Voltage Regulator U3V70F12, insérer les dominos bleus sur l'élévateur Pololu comme ci-dessous. Placer l'élévateur Pololu dans l'un des boîtiers étanches à la place du domino blanc présent initialement, raccorder le fil + des câbles USB au domino relié au VIN de l'élévateur, le fil - des USB au domino relié au GRD de l'élévateur. Raccorde le fil + de la photodiode au VOUT de l'élévateur et le fil - au second GRD de l'élévateur. Dans ce cas de figure, le montage n'est composé que de deux boîtiers étanches au lieu de trois.



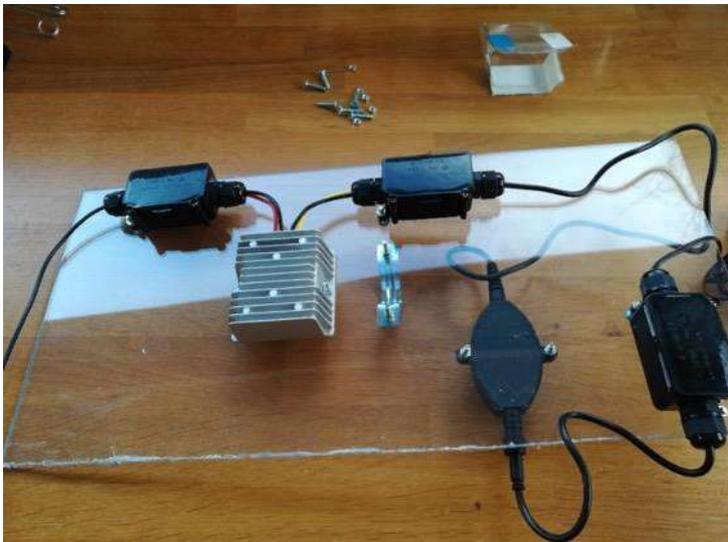
3.5. Installation du système d'éclairage sur son support

Prendre la plaque de plexiglass restante et disposer les éléments dessus



A l'aide d'un marqueur faire des marques dans l'ensemble des trous de fixation des différents éléments et percer à l'aide d'un foret de 5mm. Utiliser les vis pour fixer les différents éléments.

Remarque : le détecteur crépusculaire et l'anneau de fixation se situent sur la face opposée à l'ensemble des autres éléments



Utiliser le raccord tubulaire pour fixer la lampe à LED UV sur le haut du système.



Fixer ensuite l'ensemble des éléments sur le support



3.6. Paramétrage de l'application « TimerCamera » sur smartphone

Télécharger l'application TimerCamera via les canaux usuels.



Réglage des alarmes		
<p>Rentrer dans le mode réglage d'horloge en cliquant sur l'icône en forme de pendule.</p>	<p>Appuyer sur la touche + pour ajouter une alarme. Pour prendre des photos aux heures voulues.</p>	<p>Pour chaque alarme, sélectionner tous les jours de la semaine.</p>

Réglage du mode rafale		
<p>Cliquer sur l'icône « paramètres »</p>	<p>Cliquer sur la touche « Custom Burst »</p>	<p>Renseigner la valeur 5, pour prendre 5 photos à la suite à chaque alarme programmée</p>

Réglage du flash	
<p>Cliquer sur l'icône « flash »</p>	<p>Cliquer sur la touche « Flash forcé »</p>

Une fois ces étapes réalisées, positionnez l'appareil photo est prêt à prendre des photos aux horaires programmés.

Remarque importante : Lorsque l'application Timer Camera demande si vous voulez activer le GPS répondez « oui », car sinon le téléphone ne se déclenchera pas lors de l'occurrence des alarmes.

Positionnez le téléphone sur le support dédié à cet effet et régler la distance entre l'appareil photo et le support blanc comme désiré en faisant coulisser le tube en inox dans le support de tube.

Vous pouvez mettre le téléphone en veille il se réveillera tout seul.



Annexe 2 : Notice de protocole Lépinoc

1. Introduction

L'objectif de ce protocole de sciences participatives est de permettre de collecter des données qui serviront à évaluer l'état de conservation des papillons de nuit et à comprendre leur(s) réponse(s) aux pressions anthropiques, d'abord à l'échelle locale (c'est-à-dire du site suivi) puis à des échelles spatiales plus larges (paysagères). Ce protocole se veut le plus simple possible d'utilisation, afin de garantir son bon déroulement.

2. Matériel nécessaire pour une session de terrain

- . 3 dispositifs, dont :
 - o 24 batteries (chargées) soit 8 par dispositif
 - o 3 téléphones (chargés)
 - o 3 pancartes plastifiées indiquant qu'il s'agit d'un suivi scientifique
- . Les fiches terrains (à télécharger sur *sur la page Lépinoc* [Http://noe.org/projet-lepinoc/](http://noe.org/projet-lepinoc/)) :
 - o Pour la première session uniquement : 1 fiche description de l'habitat accompagnée du référentiel (Propage)
 - o 1 fiche session
- . 1 stylo et support rigide ;
- . 1 clé allène 6 mm
- . 1 clé anglaise 7 et 8 mm
- . 1 tournevis cruciforme large – 7mm (minimum)
- . 3 sacs de courses solides (pour le transport)
- . **Pour la première installation uniquement** : masse, cale martyr, 3 jalons (si besoin)

3. Fonctionnement du dispositif

Le fonctionnement du dispositif Lépinoc repose sur l'attraction d'une partie des insectes nocturnes à la lumière, appelée phototaxie. Ces insectes réagissent pour la plupart à des longueurs d'ondes spécifiques, et en particulier aux UV. Ainsi, le dispositif est constitué d'une lampe LED UV de 8W positionnée au-dessus d'un support en feutrine blanche : une fois attirés par la lampe, les insectes se placeront sur ce support, en face duquel un téléphone sera positionné et prendra des photos à des intervalles de 15 minutes (Figure 28).



Figure 28: Ces dispositifs ont été étudiés pour être non létaux et pour attirer les papillons de nuit à une échelle dite « locale » (c'est à dire du site suivi, sur une dizaine de mètres) et n'auront aucun impact sur les espèces des habitats plus lointains.

3. Planifier sa session

3.1. Période et heure

Les sessions ont lieu entre le 1er juin et le 31 août mais pourront s'étendre jusqu'au 15 septembre. Il y a 2 sessions par mois, avec un espacement de 2 semaines minimum entre chaque session.

La luminosité de la lune ayant un impact sur les papillons de nuit, il faudra éviter de poser le dispositif lors de la pleine lune et de la nouvelle lune (cf. Document 3 pour connaître les jours favorables).

Pour des raisons de sécurité, nous recommandons de poser le dispositif le plus tard possible et de le relever au plus tôt le lendemain, afin de réduire le plus possible la fenêtre de temps à risque de dégradation ou de vol. Cependant, le dispositif se déclenchant automatiquement à la tombée de la nuit, vous pourrez le poser plus tôt si nécessaire.

NB : Vous devrez respecter un délai de **14 jours au minimum** entre deux poses si la météo le permet. En cas de prévision météo non-favorable sur plus de 21 jours, ce délai pourra être **réduit à 12 jours**. Si le délai vient à atteindre **21 jours par trois fois** durant la période (1 juin au 31 août), alors on préférera ne réaliser que 5 sessions.

3.2. Conditions météorologiques

Dans la mesure du possible, effectuer les relevés par nuit avec ciel dégagé et vent faible ou nul en vérifiant ces informations au préalable sur météofrance (<http://www.meteofrance.fr/>).

4. Vérification du matériel

!/ \ Vérifier la veille de chaque session l'état des batteries de la lampe et du téléphone afin de garantir le fonctionnement du dispositif en temps voulu. Le temps de charge des batteries à vide est d'au moins 4 heures (cela peut être plus, il s'agit d'un ordre de grandeur), il est donc impératif de le faire dès la fin d'une session pour ne pas être pris de court.

Point important : Ne pas laisser ces éléments branchés plus que nécessaire pour éviter une perte prématurée de leur autonomie. !/

- . Vérifier que la batterie du téléphone indique 100% ;
- . Vérifier que les batteries sont chargées à 100% en les plaçant sur le chargeur dédié ;
- . Tester le fonctionnement des batteries et leur niveau de charge en appuyant sur le bouton "marche" de du bloc de batteries ;

⇒ Si la LED ne s'allume pas, vérifiez que dans le boîtier des batteries le ressort relié au câble rouge est bien sur le "+" et le câble noir sur le "-" ;

- . Vérifier les paramétrages de l'application Timer Camera (cf. VI – 2).

5. Mise en pratique

5.1. Montage du dispositif

Chaque dispositif fourni a un code unique composé du nom du site et du numéro du dispositif (1, 2 ou 3) : lors du montage, veiller à faire coïncider le code unique du téléphone, avec le code unique du reste du dispositif.

Exemple : Téléphone 1 + Tube A1 + Tube B1

1. Se placer à l'endroit où l'on souhaite enfoncer le pieu en anticipant l'orientation finale que vous voulez donner à la feutrine selon les étapes qui suivent (2 ; 2.1 ; 3 ; 4) ;

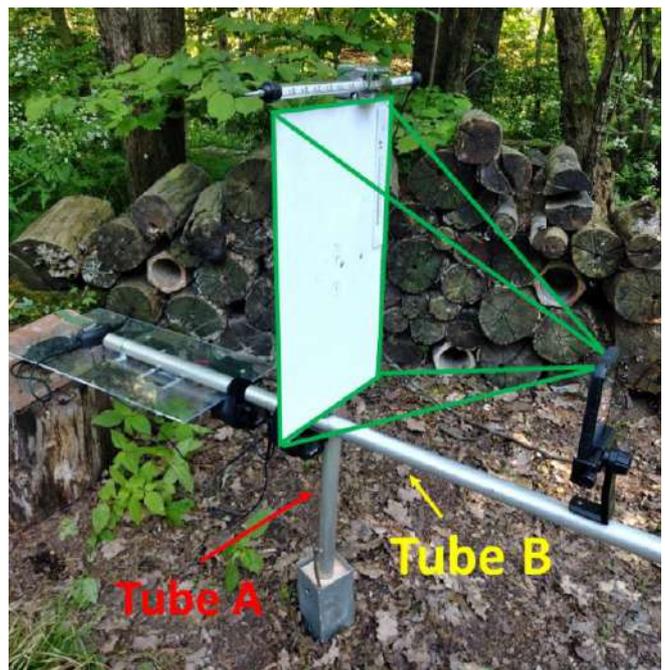


Figure 29 : Configuration finale du dispositif

2. Insérer le « Tube A » dans la cale en bois situé au fond du pieu ;
 - 2.1. La deuxième cale en bois doit se situer au-dessus du trou (Figure 30) ;
3. Aligner le trou du pieu avec celui du « Tube A » (Figure 29 et 30) ;

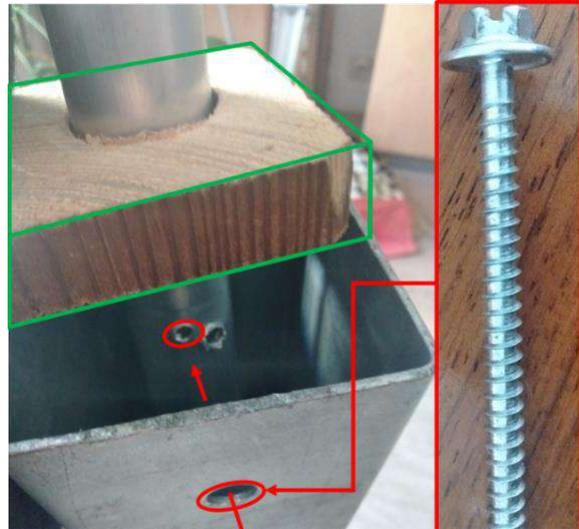


Figure 30 : Placement de la deuxième cale en bois et alignement des trous pour accueillir la vis

Point important : Eviter de placer le dispositif

dans un milieu fermé (ex : forêt buissonnante) ou sous un abri/arbre afin d'éviter le déclenchement de l'allumage de la lampe avant la tombée de la nuit.

4. Une fois sûr de votre orientation et du placement du pieu, enfoncez-le le plus possible à l'aide d'une cale martyr (rectangle de bois de 15x10x10 par exemple) et d'une masse ;
5. Une fois le pieu enfoncé, le laisser à l'endroit choisi jusqu'à la fin de la période de relevé ;

6. Insérer la vis-écrou dans les trous puis visser au maximum jusqu'à ce que le dispositif soit

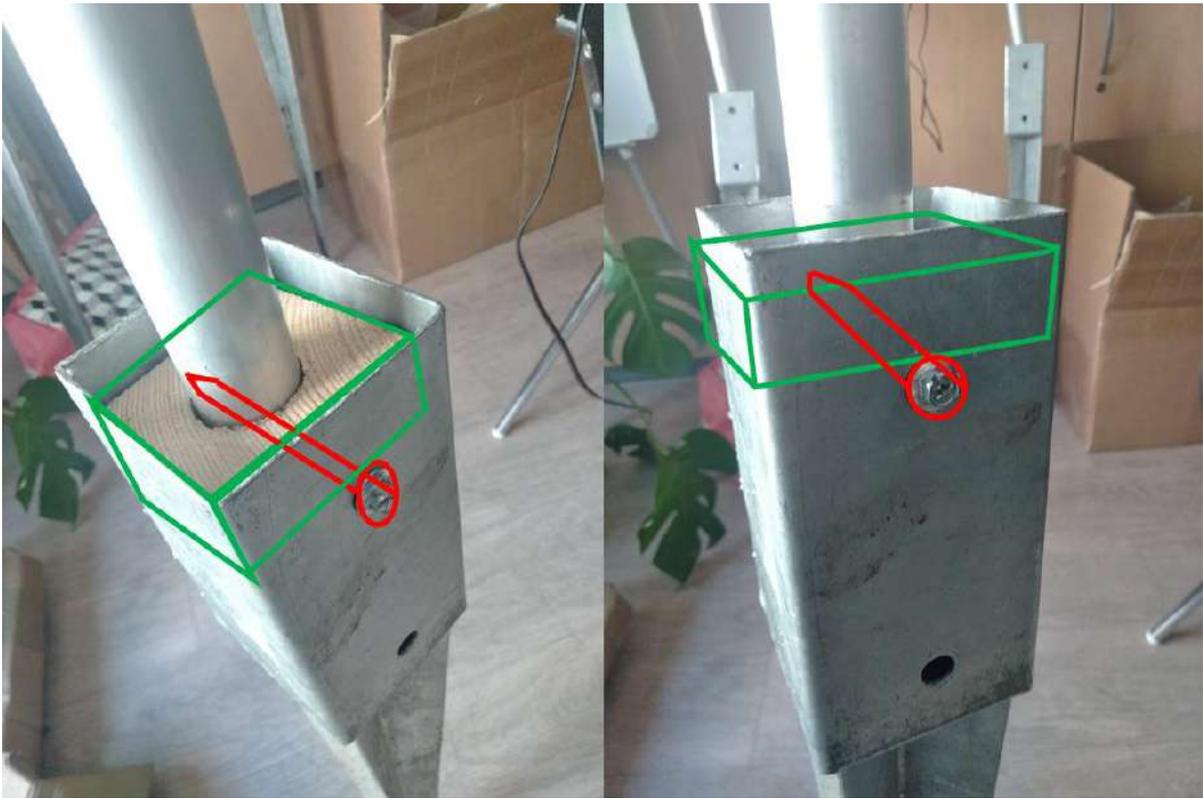


Figure 31 : Montage du dispositif sur le pieu de fondation

- parfaitement stable (Figure 31) ;
7. Placer le raccord tubulaire de la lampe au « Tube A » (Figure 29) en veillant à ce qu'il soit au ras du tube ;
 8. Coller la feutrine à la partie inférieure de ce même raccord (Figure 29) ;
 9. Placer le second raccord tubulaire en dessous de la feutrine de manière à ce que le « Tube B » soit centré par rapport à la feutrine ;

10. Veiller à ce que le raccord tubulaire supérieur (celui de la lampe) soit situé au ras du « Tube A » et que la feutrine soit en contact direct avec celui-ci et celui situé en dessous (Figure 32) ;



Figure 32 : Positionnement de la feutrine par rapport aux raccords tubulaires

11. Veiller à ce que la feutrine soit bien parallèle aux faces des deux raccords tubulaires qui l'encadrent (dessus/dessous) comme sur la Figure 32 et 33 et qu'elle est bien perpendiculaire au « Tube B » ;

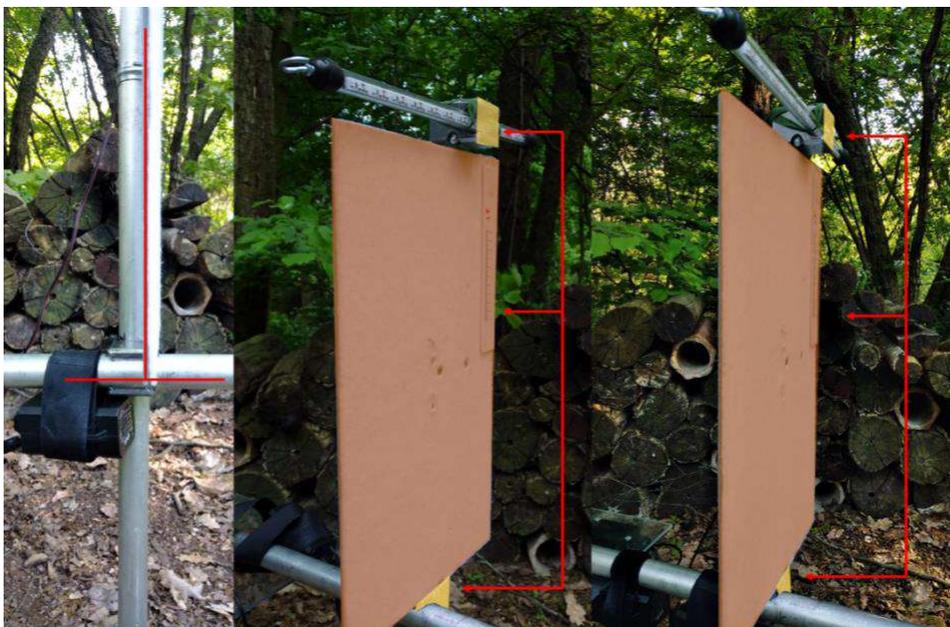


Figure 33 : Vérification du parallélisme de la feutrine

12. Veiller à ce que la plaque en PVC sur laquelle se situe toute l'électronique soit parallèle au sol grâce au repère (Il peut être nécessaire de resserrer les vis) ;

13. Insérer les batteries, dans le sens indiqué, dans le bloc batterie et scratcher le tout à même le tube au niveau de la plaque en PVC (Figure 34) ;



Figure 34 : Insertion des batteries dans leurs blocs

10. Brancher les câbles USB mâles aux câbles USB femelles des blocs de batteries (Figure 35) ;

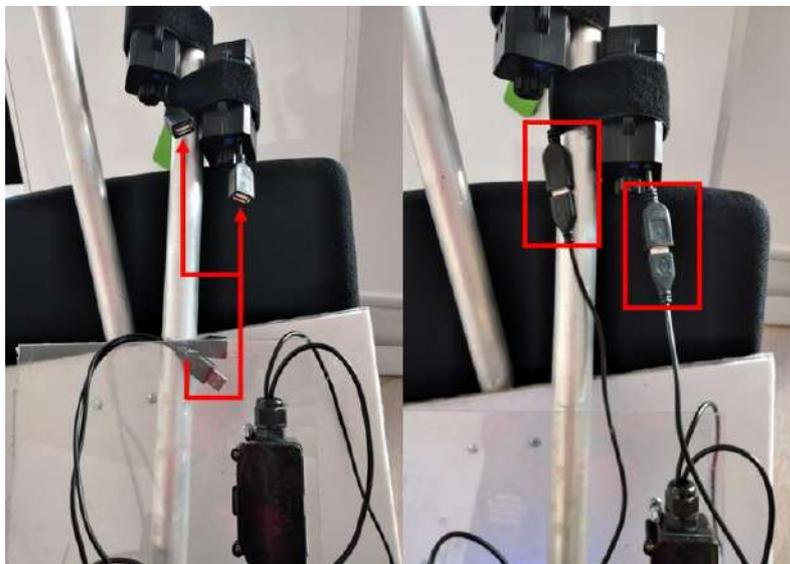


Figure 35 : Branchement des câbles USB des blocs de batteries

11. Insérer la lampe UV dans le raccord situé au-dessus de la feutrine (Figure 29) ;
11.1. Orienter la lampe de manière à ce que les LEDs à l'intérieur soit parallèle à la feutrine et éclaire devant et derrière cette dernière ;
12. Prendre les coordonnées GPS du dispositif placé (Document 2) ;

12.1. Cette étape n'est à faire qu'une fois pour chacun des 3 dispositifs.

6. Paramétrage de l'application

Remarque importante : Lorsque l'application « Timer Camera » demande si vous voulez activer le GPS répondez « oui », car sinon le téléphone ne déclenche pas. De plus, il est malheureusement possible d'avoir des pubs intempestives.

1. Déverrouiller le téléphone avec le code **1590** ;
2. Tenir le téléphone en mode portrait ;
3. Ouvrir l'application « Timer Camera » (l'application sera déjà installée sur le téléphone fourni et situé sur la page d'accueil) (Figure 36) ;
4. Régler l'heure :
 - 4.1. Cliquer sur le petit réveil en haut à droite de l'écran pour ouvrir la page des réglages de l'alarme (Figure 36) ;
 - 4.2. Toutes les alarmes sont déjà créées et rangées de « 00 : 00 » à « 23 : 45 », de l'heure « la plus petite » en haut du menu déroulant à l'heure « la plus grande » en bas. Vous n'aurez qu'à les activer ou désactiver ;
5. Connaître l'heure de début de la session : **une session correspond à une nuit complète. C'est-à-dire à partir de l'heure du coucher du soleil jusqu'à 6 heures du matin ou épuisement de la batterie de téléphone.** Vous devrez avant chaque session vous référer au calendrier solaire fourni pour connaître l'heure de coucher du soleil et donc du début du protocole ;
6. Activer les alarmes :
 - 6.1. A partir de l'heure indiquée sur le calendrier (Document 4), vous devrez sélectionner toutes les alarmes comprises entre l'heure de coucher du soleil et la fin de fin de session (6 heures du matin) (Figure 36) ;
 - 6.1.1. Par exemple, pour le 2 juin, le coucher du soleil est indiqué à 21 : 47, donc on activera les alarmes à partir de 21 : 45 ;
7. Ne sélectionner aucun jour de la semaine de manière à ce que les alarmes soient effectives dès leur activation (Figure 36).

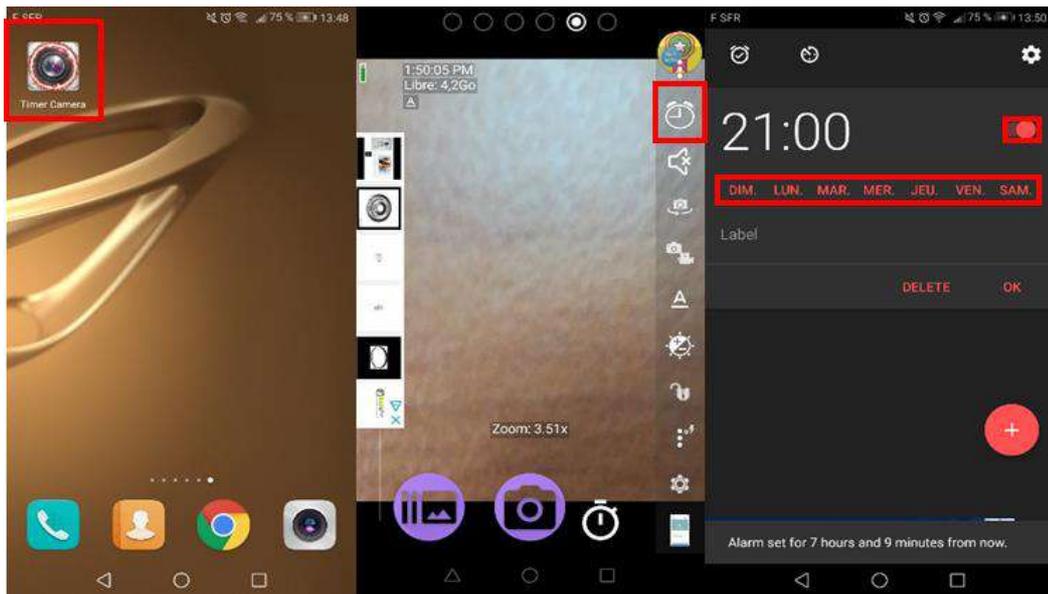


Figure 36 : Etape 2

Etape 3

Etape 5 et 6

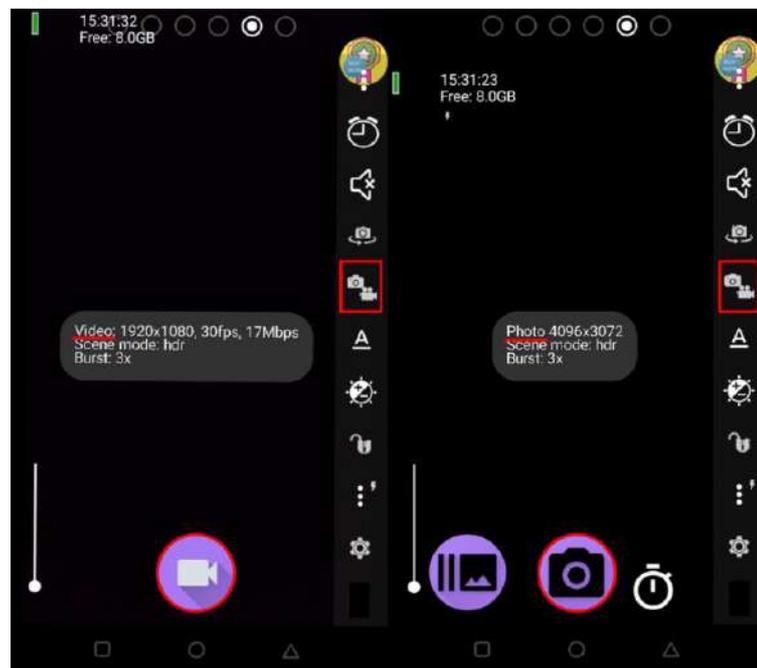


Figure 37 : Mode de capture d'images

Point important : Vous devrez toujours vérifier que vous êtes en mode photo et non en mode vidéo. Il peut arriver de cliquer sur cet icone (Figure 37) par maladresse. Pour vous en assurer vérifiez le symbole en bas de votre écran (caméra ou appareil photo). Sinon, vous pouvez changer de mode en cliquant et un message apparaîtra en indiquant le mode sélectionné.

Après cette vérification, vous pouvez maintenant verrouiller le téléphone avec l'application ouverte, **tout est automatique.**

A la fin de chaque session, les alarmes seront désactivées. Vous devrez donc veiller à les réactiver avant la session suivante et à le vérifier au moment de la pose.

7. Placement du téléphone

Une fois l'application paramétrée et le piège lumineux placé, il faut assurer un cadrage optimal.

1. Placer le téléphone en mode portrait sur le socle, l'écran face à vous et opposé à la feutrine (Figure 29) ;
2. Enfoncer le correctement de manière à ce qu'il soit parfaitement parallèle à la feutrine (Figure 29);
3. Vérifier que la partie basse du téléphone est bien au ras de la partie inférieure des pinces du socle (Figure 38).



Figure 38 : Placement du téléphone

Le cadrage optimal (Figure 39) :



Figure 39 : Cadrage optimal

8. Remplissage des fiches de terrains

1. Fiche caractérisation de l'habitat (et fiche propage)

Cette fiche n'est à remplir qu'une seule fois lors de la première session.

Remplir la fiche descriptive de l'habitat à l'aide de la fiche référentiel habitats (Propage) et du GPS du téléphone pour obtenir les coordonnées de chaque dispositif (tutoriel en document 2).

Le code du site vous sera fourni au préalable.

2. Fiche session

A remplir à chaque session avec les informations demandées.

9. Relève et rangement

Le lendemain :

- . Retirer le téléphone de son socle ;
- . Dévisser et retirer le dispositif du pieu de fondation (tout en laissant le pieu enfoncé) ;
- . Débrancher les câbles USB
- . Vous pouvez démonter les deux tubes, ce qui impliquera de refaire les étapes de cadrage ou alors les ranger tels quels (en croix). Cela vous permettra de n'avoir qu'à revisser et replacer correctement : les raccords, la feutrine et la plaque en PVC contenant la partie électronique (comme indiqué dans la partie montage IV-1)-8.), dans le cas où ces éléments se soit déplacés lors du transport ;
- . Recharger les batteries (très important de le faire immédiatement pour éviter les mauvaises surprises !)
- . Recharger le téléphone et l'éteindre une fois à 100%.

10. Transmission des données

Afin de faciliter le traitement de toutes vos informations :

1. Reporter toutes vos notes prises sur le terrain dans la fiche session Excel téléchargeable sur la page Lépinoc ([Http://noe.org/projet-lepinoc/](http://noe.org/projet-lepinoc/)) ;

2. Créer un dossier ayant comme nom : "CodeDuSite_Session_Date"

2.1. Exemple : Pour un relevé au Parc Floral le 20 juin, le format des sous-dossiers sera « PF_Session2_20-06-21 »

Ce dossier devra contenir

- . La fiche habitat (uniquement lors de l'envoi de la première session) sous le nom « Habitat_CodeDuSite_N°Dispositif_Session_Date » ;
- . La fiche session remplie sous le nom « Fiche_CodeDuSite_N°Dispositif_Session_Date » ;
- . Trois sous dossiers « CodeDuSite_N°Dispositif_Session_Date » contenant les photos selon les dispositifs ;

- Exemple : Pour un relevé avec le dispositif N°3 au Parc Floral le 20 juin, le format des sous-dossiers sera « PF_3_Session2_20-06-21 ».

Pour transférer les photos du téléphone à l'ordinateur il vous faut :

Pour Mac il faudra télécharger Android File Transfer. Sur demande, un tutoriel similaire peut être réalisé.

1. Brancher le téléphone
2. Vérifier que le câble utilisé soit bien le câble fourni avec le téléphone sinon cela ne fonctionnera pas ;
3. Après déverrouillage du téléphone, abaisser le volet en partant du haut ;
4. Cliquer sur "Système Android en charge via USB" (Figure 40 ci-dessous) ;
5. Sélectionnez "Transfert de fichier" (Figure 40 ci-dessous) ;
6. Sélectionner le téléphone dans l'arborescence (Figure 41) ;

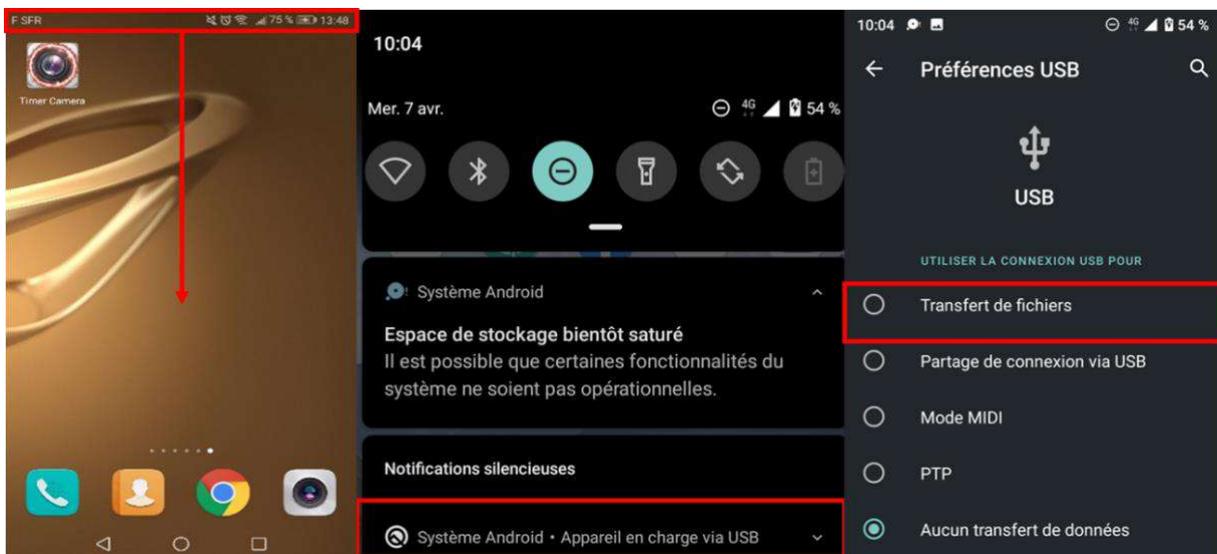


Figure 40 : Etape 3 et 4 - Changement des préférences USB

7. Ouvrir son « espace de stockage interne partagé » (Figure 41) ;
8. Aller au dossier : Armor X7\Espace de stockage interne partagé \Android\data\com.cae.timercamera\files\DCIM\TimerCamera.
Vous pouvez sinon faire une recherche dans Armor X7 avec le mot « TimerCaméra ».

9. Sélectionner l'ensemble des photos (ou CTRL+A)

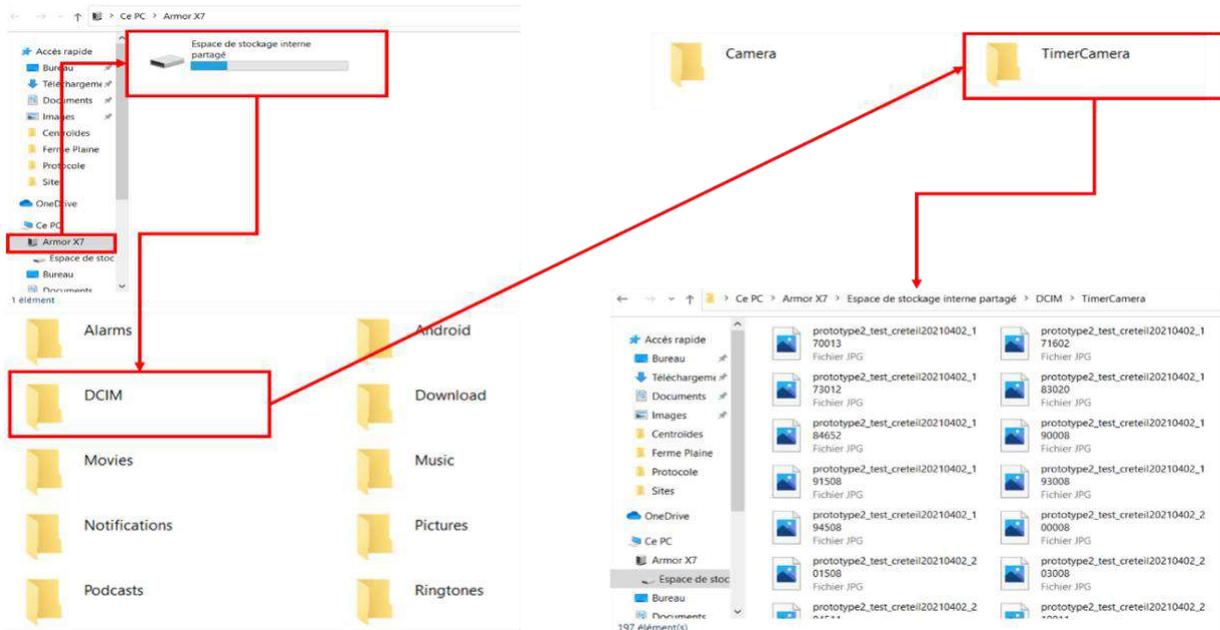


Figure 41 : Etape 6, 7, 8 et 9 - Accès aux photos

10. Faire un « Clique-droit » puis cliquer sur « Couper » (ou CTRL+X) dans le dossier du téléphone ;
11. Faire un « Clique-droit » puis cliquer sur « Coller » (ou CTRL+V) dans le dossier vers lequel vous souhaitez transférer les photos ;

Le téléphone doit être vidé de toutes ses photos à chaque fois afin de vous permettre de n'avoir les photos que de la dernière session et d'éviter toute confusion.

12. Vous rendre sur le site [Wetransfer.com](https://www.wetransfer.com) (cf. document 2 pour la marche à suivre sur WeTransfer) ;
13. Envoyer le tout à l'adresse lepinoc@noe.org .

Document complémentaires de la notice

Document 1 : Envoi d'un dossier avec WeTransfer

Envoyer des fichiers par Wetransfer.com :

- Rendez-vous sur le site ;
- Cliquer sur “Je veux simplement envoyer des fichiers” en bas de la page web. Vous pourrez tout de même envoyer 2 Go de fichiers ;
- Ensuite vous n’aurez qu’à déposer le dossier, comme sur l’image ci-dessous.

The image shows a promotional banner for WeTransfer. On the left, there are two pricing options: 'Gratuit' (Free) and 'Pro'. The 'Pro' option is highlighted with a blue border and a red box around the button 'Je veux simplement envoyer des fichiers'. On the right, there is a session summary for 'Session_21-06-21' with '1 élément' in a dossier. Below this, there is a button to 'Ajouter plus de fichiers' (1 fichier · 2.0 Go restant), the email 'Lepinoc@noe.org', and a field for 'VotreAdresse@mail.fr'. At the bottom right, there is a blue 'Transférer' button.

Document 2 : Prise des coordonnées GPS

The image shows two screenshots of the Google Maps application. The left screenshot shows a map with a red pin and the coordinates '48,715427,1,775928' in the search bar, highlighted with a red box. The right screenshot shows the 'Repère placé' (Pin placed) screen with the same coordinates '48,7154265, 1,7759278' highlighted in a red box. The screen also shows the location 'À proximité de 78610 Saint-Léger-en-Yvelines' and various map controls.

1. Ouvrez l'application Google Maps sur votre téléphone ;
2. Appuyez de manière prolongée sur la zone de la carte qui vous intéresse. Un repère rouge s'affiche ;
3. Les coordonnées s'affichent dans le champ de recherche situé en haut de la page.
4. S'ils ne s'affichent pas, vous pouvez les retrouver en montant le volet de bas en haut.

Document 3 : Calendrier lunaire

Les jours en verts sont les jours à privilégier pour les relevés. En oranges, ceux où il est possible de poser les pièges en cas de dernier recours. En rouges ceux durant lesquels il n'est pas possible de les poser car la lune aura une forte influence sur les résultats.

Juin						
Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
31	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30				

Juillet						
Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	

Août						
Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31					

Septembre						
Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12

Document 4 : Lever et coucher du soleil

Juin			Juillet			Août		
Date	Lever du soleil	Coucher du soleil	Date	Lever du soleil	Coucher du soleil	Date	Lever du soleil	Coucher du soleil
01/06/2021	05:51	21:46	01/07/2021	05:51	21:58	01/08/2021	06:24	21:30
02/06/2021	05:51	21:47	02/07/2021	05:52	21:57	02/08/2021	06:26	21:28
03/06/2021	05:50	21:48	03/07/2021	05:53	21:57	03/08/2021	06:27	21:27
04/06/2021	05:50	21:49	04/07/2021	05:54	21:57	04/08/2021	06:29	21:25
05/06/2021	05:49	21:49	05/07/2021	05:54	21:56	05/08/2021	06:30	21:23
06/06/2021	05:49	21:50	06/07/2021	05:55	21:56	06/08/2021	06:31	21:22
07/06/2021	05:48	21:51	07/07/2021	05:56	21:55	07/08/2021	06:33	21:20
08/06/2021	05:48	21:52	08/07/2021	05:57	21:55	08/08/2021	06:34	21:19
09/06/2021	05:47	21:52	09/07/2021	05:58	21:54	09/08/2021	06:35	21:17
10/06/2021	05:47	21:53	10/07/2021	05:59	21:54	10/08/2021	06:37	21:15
11/06/2021	05:47	21:54	11/07/2021	06:00	21:53	11/08/2021	06:38	21:13
12/06/2021	05:47	21:54	12/07/2021	06:01	21:52	12/08/2021	06:40	21:12
13/06/2021	05:47	21:55	13/07/2021	06:02	21:51	13/08/2021	06:41	21:10
14/06/2021	05:47	21:55	14/07/2021	06:03	21:51	14/08/2021	06:42	21:08
15/06/2021	05:46	21:56	15/07/2021	06:04	21:50	15/08/2021	06:44	21:06
16/06/2021	05:46	21:56	16/07/2021	06:05	21:49	16/08/2021	06:45	21:05
17/06/2021	05:46	21:57	17/07/2021	06:06	21:48	17/08/2021	06:47	21:03
18/06/2021	05:47	21:57	18/07/2021	06:07	21:47	18/08/2021	06:48	21:01
19/06/2021	05:47	21:57	19/07/2021	06:08	21:46	19/08/2021	06:49	20:59
20/06/2021	05:47	21:58	20/07/2021	06:09	21:45	20/08/2021	06:51	20:57
21/06/2021	05:47	21:58	21/07/2021	06:10	21:44	21/08/2021	06:52	20:55
22/06/2021	05:47	21:58	22/07/2021	06:12	21:43	22/08/2021	06:54	20:53
23/06/2021	05:48	21:58	23/07/2021	06:13	21:41	23/08/2021	06:55	20:51
24/06/2021	05:48	21:58	24/07/2021	06:14	21:40	24/08/2021	06:57	20:49
25/06/2021	05:48	21:58	25/07/2021	06:15	21:39	25/08/2021	06:58	20:47
26/06/2021	05:49	21:58	26/07/2021	06:17	21:38	26/08/2021	06:59	20:45
27/06/2021	05:49	21:58	27/07/2021	06:18	21:36	27/08/2021	07:01	20:43
28/06/2021	05:50	21:58	28/07/2021	06:19	21:35	28/08/2021	07:02	20:41
29/06/2021	05:50	21:58	29/07/2021	06:21	21:34	29/08/2021	07:04	20:39
30/06/2021	05:51	21:58	30/07/2021	06:22	21:32	30/08/2021	07:05	20:37
			31/07/2021	06:23	21:31	31/08/2021	07:06	20:35

Annexe 3 : Abondance de papillons de nuits par site et par session

Site	Session 1	Session 2	Session 3	Session 4	Session 5	Session 6	Total par site
Arcueil	244	104	61	86	0	0	495
Beynes	49	3	109	19	0	0	180
Bois-Colombes	45	6	202	36	0	0	289
Boissy l'Aillerie	0	62	119	110	162	0	453
Buttes Chaumont	15	71	47	55	62	37	287
Courance	203	334	0	181	140	217	1075
Courdimanche	5	1	0	0	0	0	6
Evecquemont	6	414	552	181	315	0	1468
Gennevilliers	31	17	22	29	0	0	99
Magny-en-Vexin	28	27	270	172	0	0	497
Montreuil	4	56	15	59	0	17	151
Parc Floral	430	102	290	116	436	235	1609
Saint-Fargeau	199	218	0	78	99	98	692
Saint-Remy	0	10	0	0	7	57	74
Total	1259	1425	1687	1122	1221	661	7375

Annexe 4 : répartition par genre et par famille

