

COLLEGE SCIENCES ET TECHNOLOGIES POUR L'ENERGIE ET
L'ENVIRONNEMENT DE LA COTE BASQUE
UNIVERSITE DE PAU ET DES PAYS DE L'ADOUR

Licence Professionnelle Métiers de la Protection et la Gestion de l'Environnement
Parcours Biologie Appliquée aux Ecosystèmes Exploités

Evaluation des effets potentiels d'un parc photovoltaïque sur la densité d'individus de l'espèce *Saga pedo* au sein du site de L'Escale



LERENDU Audrey

Stage effectué du 03/04/2023 au 31/08/2023 à
AUDDICE ENVIRONNEMENT, Route des Cartouses 84390 SAULT
sous la direction scientifique de Mme PALDACCI Florine



"Le présent rapport constitue un exercice pédagogique qui ne peut en aucun cas engager la responsabilité de l'Entreprise ou du Laboratoire d'accueil"



Résumé :

Dans le cadre d'une étude d'impact, effectuée par le bureau d'études Auddicé Environnement sur les parcelles agricoles de la commune de L'Escaze, l'espèce d'orthoptères la Magicienne Dentelée *Saga pedo* (Pallas 1771) a été observée en mai 2023. Le projet sur le site d'étude, porté par l'entreprise H2air, est l'installation d'un parc photovoltaïque. Les enjeux induits par la présence de cette espèce, protégée sur le territoire français et européen, sont forts et ont motivé la réalisation de cette étude. Un protocole d'exploration des impacts d'un parc photovoltaïque sur la densité d'individus de l'espèce *Saga pedo* a été construit puis mis en place sur le terrain. Ce protocole a permis d'explorer les effets des différentes variables écologiques susceptibles de changer avec l'installation de panneaux solaires, sur la Magicienne dentelée. Il a également permis de confirmer la présence de l'espèce sur le site ainsi que d'apprécier la localisation des individus.

L'analyse a mis permis d'observer une corrélation négative entre le taux d'hygrométrie et les effectifs de *Saga pedo*. Cependant les contraintes temporelles et la difficulté à détecter cette espèce viennent nuancer ces résultats. Ce protocole ne permet pas d'exclure de potentiels effets des autres variables sur cette espèce. Néanmoins, cette étude peut constituer un préalable à de plus amples recherches autour du sujet.

Mots clés : Orthoptères – Photovoltaïque – Impacts – Stations – Habitat



Remerciements :

Je tiens à adresser mes remerciements à toute l'équipe de l'agence sud d'Auddicé Environnement pour m'avoir accueillie durant ces cinq mois avec bienveillance et accompagnement. Ce stage a été pour moi l'occasion d'évoluer dans une ambiance chaleureuse, me permettant d'acquérir de multiples compétences naturalistes au sein d'une équipe dynamique et amicale.

Merci à l'ensemble des écologues d'avoir assuré la logistique de nos sorties terrain et pour les moments amicaux et conviviaux passés ensemble.

Je remercie ma maître de stage, Florine PALDACCI, de m'avoir accompagnée et aidée durant ce stage, avec patience et prévenance. Je la suis reconnaissante de m'avoir accordée toute sa confiance, autant pour les terrains que pour la construction de ce protocole.

Je tiens également à remercier Sabrina FOLI, responsable de l'agence Sud, pour l'accueil et la confiance qu'elle m'a accordés dès mon arrivée. Merci également à Théo VIVENSANG, chargé d'étude avifaune, pour m'avoir accompagnée et conseillée lors de l'application du protocole.

Un grand merci à l'équipe pédagogique de l'antenne de la côte Basque de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour et aux intervenants professionnels pour les enseignements théoriques apportés lors de cette formation. Je remercie également Franck D'AMICO et Yann LALANNE de m'avoir aiguillée durant la construction de cette étude et de ce rapport.

Merci au groupe Oko system de nous avoir accompagnés et porté chance lors des prospections de cette espèce réputée si difficile à trouver. Elle était bien cachée dans la lavande.

Mes pensées vont à l'ambiance provençale, aux ami.e.s rencontré.e.s durant cette période de cinq mois.

Enfin merci à toutes les personnes ayant contribué à la construction de ce rapport.



Avant-propos :

Auddicé Environnement est un bureau d'étude multidisciplinaire qui œuvre dans les domaines de l'urbanisme, l'environnement, la biodiversité, l'aménagement des territoires et la transition énergétique. Créée en 1990, l'entreprise travaille aussi bien pour des entreprises que pour des acteurs du territoire/territoriaux. Riche de 9 agences et de plus de 140 collaborateurs à travers la France, Auddicé accompagne les clients dans la réussite de leurs projets tout en assurant l'égard de valeurs telles que la protection de l'environnement et le respect de l'humain. L'agence sud voit le jour en 2012 et compte actuellement 8 salariés. L'antenne sud vient compléter le rayon d'action des autres agences de la moitié nord de la France avec la région PACA.

L'entreprise H2air est créée en 2008 à Amiens, il s'agit d'un producteur d'électricité renouvelable indépendant. L'entreprise travaille à la création de parcs photovoltaïques et éoliens sur le territoire français mais aussi à l'international. L'entreprise possède 7 agences et 3 bureaux à l'étranger.



Table des matières :

1. Introduction :	7
2. Matériel et méthode	9
2.1. Contexte du projet :	9
2.1.1. Contexte géographique	9
2.1.2. Contexte géologique	9
2.1.3. Le projet PV	10
2.1.4. Présentation de l'espèce	11
2.1.5. Le site d'étude	14
2.2. Protocole	15
2.2.1. Généralités	15
2.2.2. Placement des stations	16
2.2.3. Variables à étudier	17
2.3. Méthode d'analyse	21
3. Résultats	22
3.1. Description des stations	22
3.2. Analyse de la matrice de corrélation	23
3.3. Tests statistiques	24
4. Discussion	27
5. Conclusion	29
6. Références bibliographiques	30
7. Webographie	32
8. Annexes	33



Table des figures :

Figure 1: Localisation de la commune de L'Escale sur le territoire métropolitain	9
Figure 2 : Localisation de la présence de Saga pedo Source : INPN	12
Figure 3 : Photographie de Saga pedo sous forme immature (juin 2023) Auteur : LERENDU Audrey	13
Figure 4 : Phénologie de l'espèce Saga pedo Source (Lemonnier-Darcemont et al., 2009)	13
Figure 5 : Photographie prise sur les hauteurs du site d'étude (avril 2023) Auteur : LERENDU Audrey	14
Figure 6 : Localisation du site d'étude sur le territoire rapproché	15
Figure 7 : Photographie de la station N°9 Auteur : LERENDU Audrey	16
Figure 8: Cartographie des stations	17
Figure 9 : Schéma du relevé de la variable "Abondance de proies"	19
Figure 10 : Schéma de la méthode de relevé de la variable "Effectif de Saga pedo" Auteur : LERENDU Audrey	20
Figure 11 : Cartographie de l'ensemble des observations de Saga pedo sur le site d'étude	22
Figure 12: Type de végétation en fonction des stations	23
Figure 13: Répartition des strates au sein des stations	23
Figure 14 : Matrice de corrélation des variables quantitatives de l'étude	24
Figure 15: Nuage de points entre les variables Saga pedo et Hygrométrie.....	25
Figure 16 : Droite représentant la relation entre les deux variables Saga pedo et Hygrométrie	26



1. Introduction :

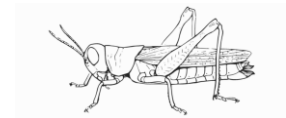
Le changement climatique est un bouleversement au sein des écosystèmes méditerranéens et menace à de multiples titres la biodiversité associée. Une hausse des températures de 2°C a été constatée en Europe du Sud depuis 1970 (Groupe d'Experts Intergouvernementales sur l'Evolution du Climat GIEC 2007). L'anticipation d'une baisse de la pluviométrie allant de -4 à -27% a été émise pour la région méditerranéenne au cours du 21^{ème} siècle (GIEC 2007, scénario A1B). La région est d'ailleurs qualifiée de « hot spot du changement climatique » (Giorgi 2007). Les émissions de gaz à effet de serre (GES) accélèrent le réchauffement climatique depuis l'ère industrielle du 19^{ème} siècle, en témoignent les études sur les carottages effectués en Antarctique (D. Raynaud and al. 1995). Malgré un état de conscience de l'humanité sur cette réalité en marche, les émissions de GES ne sont toujours pas maîtrisées et continuent d'augmenter. D'après le dernier rapport du GIEC, les émissions de GES ont continué d'augmenter au cours de la dernière décennie (GIEC 2023). Ces bouleversements climatiques auront et ont déjà des impacts sur les activités et la santé humaine (Plan Bleu 2022).

La nécessaire volonté des sociétés humaines à réduire leurs émissions de carbone les pousse à rechercher de nouvelles solutions énergétiques. Pour répondre aux besoins actuels en énergie, les énergies fossiles doivent être remplacées par des énergies renouvelables (EnR). Les EnR ne sont pas neutres mais réduisent considérablement les émissions en GES dues à la construction et l'entretien des structures (Bilan GES, ADEME). Les opinions ne sont pas unanimes, certains scientifiques pensent que les EnR ne pourront pas complètement remplacer les énergies fossiles (B. Tissot, 2003). En France, depuis 2005, le déploiement des EnR progresse de manière constante pour atteindre 19,3% de la consommation finale brute d'énergie en 2021 (Commissariat générale au développement durable 2022). Cependant, ce chiffre est en-dessous de l'objectif fixé de 23% prévu par la directive de l'Union Européenne 2018/2001. La volonté de déploiement des EnR s'est vue accélérée par la loi adoptée par le Parlement Français le 7 février 2023. En 2022, la puissance sur la totalité du territoire s'élevait à 15,8 GW. L'objectif 2028 de la PPE (Programmation Pluriannuelle de l'Energie) est une consommation se situant entre 35 et 44 GW. Pour répondre à l'objectif de neutralité carbone de 2050, la puissance devra augmenter considérablement, la fourchette variant selon les sources. Les surfaces mobilisées pourraient s'élever à 130000 ha selon les prévisions de l'ADEME. Bien que la loi Climat et Résilience (Loi n°2021-1104) impose l'intégration de parcs photovoltaïques ou la végétalisation des toitures de 1000 m², les PV au sol restent nécessaires pour répondre aux objectifs précédemment cités.

C'est dans ce contexte que les projets de construction de parcs photovoltaïques se multiplient. La région méditerranéenne est particulièrement exposée au changement climatique et possède des conditions d'ensoleillement favorables au développement de parcs photovoltaïques.

Ces raisons ont motivé la création du Plan Solaire Méditerranéen en 2008 par l'Union pour la Méditerranée, regroupant plusieurs pays.

Le développement à grande échelle de l'énergie solaire sur le territoire français expose les espaces naturels à une destruction des habitats ou à leur fragmentation. Cette menace est reconnue comme majeure et pèse déjà sur la biodiversité (L. Fahrig, 2003). Menacée par le changement climatique et l'urbanisation galopante de la région méditerranéenne, la biodiversité de cette région doit être protégée (C. Perrin 2013). Les porteurs de projet d'installation de parcs photovoltaïques, ou autres installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) sont soumis à l'obligation d'émettre une demande d'autorisation environnementale à un agent



instructeur des services de l'Etat (R122-2 Code de l'environnement). Pour obtenir cette autorisation, les porteurs de projet font appel à des acteurs comme les bureaux d'études afin de réaliser une étude d'impact (R122-5 Code de l'environnement).

Les enjeux de conservation de la biodiversité méditerranéenne se couplent à la présence de nombreuses espèces protégées comme la Magicienne dentelée, *Saga pedo* (Pallas 1771). Sa mise sous protection au niveau national, européen mais aussi international s'additionne à son rôle de super-prédateur au sein des insectes. En effet, la présence de super-prédateurs est directement liée à l'état de conservation du réseau trophique associé (J. A. Valverde 1964). Sa valeur patrimoniale, notamment du fait de son titre d'un des plus grands insectes d'Europe, est précieuse car elle est inféodée aux biotopes méditerranéens (P. Berenguier 1905-1907, Chopard 1946). L'écologie de cette espèce reste peu connue à cause de sa difficile observation en milieu naturel. Par conséquent, les expérimentations en milieu naturel sont peu nombreuses (Kristin & Kanuch, 2007). Enfin, au niveau mondial, son statut de conservation est « vulnérable », et considéré comme « préoccupation mineure » au niveau Européen. Une meilleure protection de cet insecte passera par une meilleure connaissance de sa biologie et de son écologie.

Dans le contexte de mon stage au sein du bureau d'études Auddicé Environnement, j'ai été amenée à réaliser des inventaires entomologiques sur plusieurs terrains, en région PACA. Parmi les différentes études confiées à la structure, le projet de PV de L'Escal nous a amenés à observer la Magicienne dentelée en mai 2023 au stade « immature ». Il est apparu que les impacts d'un parc photovoltaïque sur les orthoptères étaient méconnus, mais plus encore sur cette espèce à fort enjeu de conservation. La problématique est apparue comme pertinente dans le cadre de ce projet, mais également pour une meilleure connaissance de l'espèce. Par ailleurs, la confirmation de la présence de l'espèce et une meilleure représentation de sa localisation sur le site étaient nécessaires. Ainsi, un protocole expérimental a été construit afin de d'évaluer l'impact des bouleversements induits par la présence d'un PV avant l'installation de ce dernier. Pour cela, les variables écologiques susceptibles d'être modifiées par un PV ont été relevées au sein de différentes stations du site, ainsi que les effectifs de *Saga pedo*. Les résultats de cette étude pourront orienter la réalisation de ce projet afin d'éviter les impacts sur *Saga pedo* et permettront d'ouvrir la voie à de plus amples recherches.



2. Matériel et méthode

2.1. Contexte du projet :

2.1.1. Contexte géographique

Le secteur d'étude se trouve dans le territoire de la commune de L'Escale, dans le département des Alpes de Haute Provence (04) au sein de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, en France métropolitaine. L'Escale est un village situé au pied de la pente occidentale de la montagne du Ruth et sur la rive gauche de la rivière La Durance. Il s'agit d'un canton de la commune de Château-Arnoux, située à proximité. L'altitude moyenne est de 450 mètres et la superficie est de 2036 hectares. Le paysage y est diversifié, autant composé de plaines agricoles que de massifs boisés surmontés par des crêtes culminant à 1200 mètres. Un lac artificiel vieux de 50 ans borde le côté Ouest du village. Le village compte 1339 habitants, un nombre en constante augmentation. L'agriculture locale est très présente avec divers produits de qualité comme l'huile d'olive ou l'agneau AOC. Cependant, d'après une étude de l'INSEE, la surface agricole utile (SAU) a fortement diminué depuis les années 2000, passant de 586 ha à 387 ha.



Figure 1: Localisation de la commune de L'Escale sur le territoire métropolitain

Le climat est qualifié de « tempéré chaud », avec une température moyenne de 10,8 °C et une pluviométrie moyenne de 708 mm (Climate-data.org).

2.1.2. Contexte géologique

Le secteur se trouve sur plusieurs formations géologiques majeures des Alpes. Parmi ces formations, la nappe de Digne est une dalle rocheuse de 5000 mètres de profondeur, s'étendant de Digne à la vallée de l'Ubaye. Il s'agit d'une nappe de charriage, c'est à dire une série sédimentaire épaisse déplacée sur une autre série sédimentaire. La base de la nappe a été constituée au Trias et est composée d'argilites dolomitiques jaunes et pourpres mais aussi d'une lame discontinue de gypses et de cargneules. Le déplacement s'est effectué vers le sud-ouest, à l'Oligocène.

L'autre formation géologique est la faille de la Moyenne Durance, soulignée par le tracé rectiligne du cours d'eau. Il s'agit d'une formation créée par un système complexe de tronçons de faille, appelées « segments ». On compte une dizaine de segments de 10 à 17 km de longueur.

Ce système de faille joue un rôle de séparation entre la partie est et ouest. La faille de la Moyenne Durance ainsi que bien d'autres voisines (faille de Nîmes, faille des Cévennes etc.) sont apparues il y a environ 300 millions d'années, lors de déchirements de la chaîne Hercynienne, qui couvrait la partie sud de l'Europe. Durant le Mésozoïque, il y a 250 millions d'années, la faille de la Moyenne Durance constituait une des bordures de l'océan Téthys. Le bassin ainsi créé va permettre le dépôt de sédiments et donner naissance à des roches calcaires



et des marnes, en couches successives. Le Cénozoïque voit la naissance de la mer Méditerranée. Plus tard, la partie occidentale s'effondre, donnant naissance au bassin de Manosque-Forcalquier où d'autres roches sédimentaires viennent s'accumuler.

Le compartiment oriental, quant à lui, forme une zone en relief appelé le « horst » de Valensole. Vers la fin du Cénozoïque, le soulèvement des Alpes fait jouer la faille de la Moyenne Durance dans l'autre sens, provoquant le soulèvement de la partie occidentale. Les rivières provenant des Alpes acheminent des galets formant le plateau de Valensole.

2.1.3. Le projet PV

Le projet est porté par l'entreprise H2air, présentée en avant-propos. Il consiste en la création d'un parc photovoltaïque sur des parcelles agricoles, sur la commune de L'Escale. Le demandeur, Maître d'Ouvrage et futur exploitant de ce projet, est la société « Centrale solaire des Chèvrefeuilles ». Sur ce projet, l'entreprise est soumise à la loi Montagne. Par conséquent, le foncier concerné par le projet doit se trouver au plus près du hameau.

Les parcs photovoltaïques répondent aux besoins de production en EnR, cependant leurs impacts sur la flore et la faune sont encore largement méconnus. Actuellement, trois grands types de dérangement ont été identifiés :

- Les perturbations directes liées aux activités du chantier de construction du parc. Parmi ces perturbations, on compte les opérations de défrichage, terrassement, creusement des fossés, installation de voies d'accès etc. Il s'agit de dérangements pouvant entraîner des effets durables sur la flore, dus aux modifications des sols. La faune est également impactée par ces perturbations ainsi que par la modification des cortèges floristiques.
- Les perturbations liées à la présence de panneaux solaires durant la période d'exploitation. Ces perturbations sont principalement la perte et l'altération des habitats naturels, la destruction de milieux naturels, ou encore la fragmentation des corridors écologiques. Les effets sont durables dans le temps puisque la présence des panneaux installent un nouveau microclimat sur le site. Ce nouveau microclimat provoque une baisse des températures au sol et une hausse du taux d'hygrométrie. Les sols sont également perturbés à la suite de la phase de chantier de construction. Les cortèges floristiques évoluent en réponse à ces bouleversements de leurs préférences écologiques et entraînent un changement de la faune associée.

Ainsi, les différents arthropodes dépendant des conditions d'ensoleillement, d'hygrométrie, de températures ou encore des espèces végétales, précédemment installées sur le site. Les cortèges entomologiques et d'autres arthropodes évoluent et voient leur composition changer. Par exemple les pollinisateurs évitent l'ombrage créé par les panneaux solaires. La lumière polarisée réfléchiée par les panneaux attire les insectes aquatiques dans un « piège écologique ».

La surface des panneaux entraîne également des collisions de chiroptères qui viennent tenter d'y boire.

Les corridors écologiques sont susceptibles d'être perturbés, ainsi les déplacements de mammifères peuvent être dérangés par les barrières installées autour des parcs photovoltaïques. Cumulées à d'autres contraintes d'origine anthropique, ces installations peuvent contribuer à une surmortalité de ces mammifères.



Cependant des effets positifs ont été observés pour les espèces inféodés aux milieux ouverts, lorsque le parc a nécessité une réouverture. L'ombrage des panneaux offre un potentiel pour la thermorégulation des espèces exotherme. Un « effet refuge » a été observé notamment chez les araignées et les coléoptères qui y trouvent une quiétude si la gestion est raisonnée (pas d'utilisation de produits phytosanitaires, fauchage tardif ...).

- Enfin la phase de démantèlement ou de renouvellement entraine des perturbations semblables à celles de la phase de construction.

Dans le contexte de ce projet, rappelons que les effets des parcs photovoltaïques sur la biodiversité restent largement méconnus, notamment pour le groupe des orthoptères. Les recherches à ce sujet présentent des enjeux énormes puisque le développement des EnR et la protection de la biodiversité sont des priorités nationales. La présence de *Saga pedo* et la connaissance de l'écologie de cette espèce laissent pressentir un ou plusieurs effets sur la pérennité de cette espèce.

2.1.4. Présentation de l'espèce

L'objet de cette étude porte sur un insecte fascinant et encore largement méconnu. Voici une synthèse des connaissances sur la Magicienne dentelée, *Saga pedo* (Pallas 1771).

Tableau 1: Classification de *Saga pedo*

Règne	<i>Animalia</i>
Embranchement	<i>Arthropoda</i>
Sous-embranchement	<i>Hexapoda</i>
Classe	<i>Insecta</i>
Ordre	<i>Orthoptera</i>
Famille	<i>Tettigoniidae</i>
Sous-famille	<i>Saginae</i>
Genre	<i>Saga</i>

Cette espèce est protégée au niveau national. L'arrêté interministériel du 23 avril 2007 indique, dans son article 2 - tiret I, que « Sont interdits, sur tout le territoire métropolitain et en tout temps, la destruction ou l'enlèvement des œufs, des larves et des nymphes, la destruction, la mutilation, la capture ou l'enlèvement, la perturbation intentionnelle des animaux dans le milieu naturel » (Legifrance, 2010). Elle est également inscrite à l'annexe 4 de la Directive européenne Habitats. Au niveau international, *Saga pedo* est inscrite au programme CORINE, à l'annexe 2 de la convention internationale de Berne, et elle est classifiée « vulnérable » au niveau mondial. La méconnaissance de cet insecte est paradoxale avec le fait qu'il s'agit du plus grand insecte européen, avec une longueur moyenne de 17 cm à l'âge adulte.

Le genre *Saga* comprend en tout 13 espèces connues, réparties en Europe et en Asie paléarctique. En France, on ne connaît que l'espèce *Saga pedo* (Lemonnier-Darcemont & Darcemont, 2008).

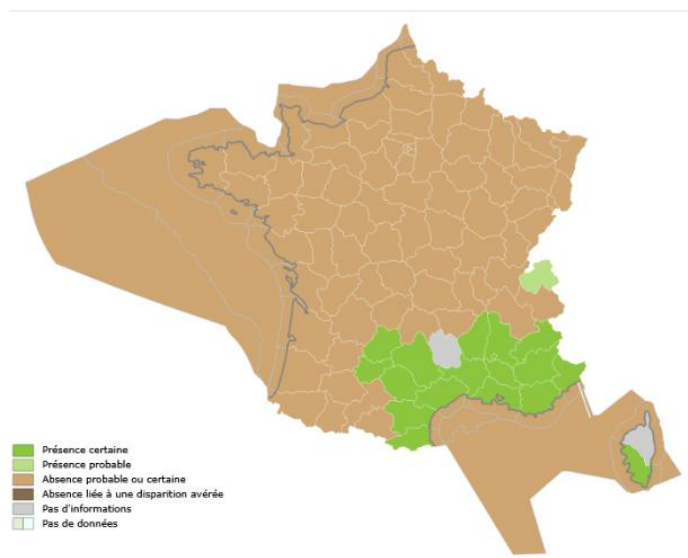


Figure 2 : Localisation de la présence de *Saga pedo* Source : INPN

L'étymologie de son nom latin « *Saga* » renvoie aux sorcières et magiciennes, ayant donné lieu à son nom vernaculaire de Magicienne dentelée. Le terme « dentelée » a été choisi en lien avec les pattes antérieures épineuses de l'espèce. Le nom latin « *Pedo* », quant à lui, désigne le sol et la terre, en référence au mode de vie et de ponte de l'espèce.

Cet insecte est généralement de couleur verte, variant parfois du brun au gris. Les ailes vestigiales forment des bourrelets peu visibles, rendant l'espèce aptère.

La taille d'une femelle varie entre 53-75mm, auxquels il faut ajouter 40 mm d'oviscapte.

Cette espèce est considérée parmi les plus grands insectes et comme le plus grand représentant des orthoptères européens (Willemse 1996, Trizzino et al. 2013). La tête est allongée et l'oviscapte est presque droit. La Magicienne dentelée se reproduit par parthénogénèse (reproduction asexuée), il n'existe que des individus de sexe femelle et à ce jour, un seul mâle a été observé (en Suisse). Cette stratégie est unique chez les orthoptères, mais est beaucoup plus répandue chez d'autres insectes comme les phasmes, ou encore chez les crustacés.



Figure 3 : Photographie de *Saga pedo* sous forme immature (juin 2023) Auteur : LERENDU Audrey

La Magicienne dentelée chasse à l'affût dans la végétation où elle reste immobile afin de se dissimuler. Elle privilégie des déplacements nocturnes et ses déplacements en journée sont très limités (Lemonnier-Darcemont et al., 2009). Le régime alimentaire est quasiment exclusivement composés d'autres orthoptères, notamment du genre *Ephipiger*.

Les habitats propices à l'accueil de *Saga pedo* sont les milieux ouverts méditerranéens comme les garrigues, les pelouses sèches ou les maquis. Ces derniers regroupent d'autres sauterelles carnassières, telles que le Dectique à front blanc (*Decticus albifrons*) et la Grande Sauterelle verte (*Tettigonia viridissima*).

On peut observer la forme adulte de *Saga pedo* entre le mois de juin et le mois de septembre :

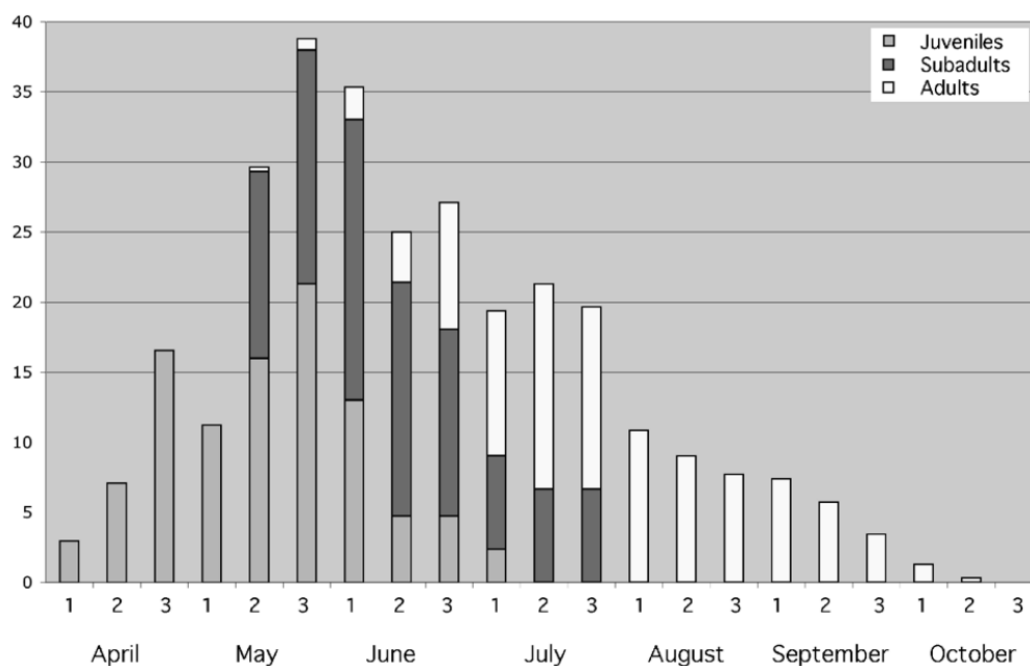
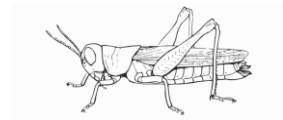


Figure 4 : Phénologie de l'espèce *Saga pedo* Source (Lemonnier-Darcemont et al., 2009)



Le mimétisme de l'espèce avec son milieu rend son observation très difficile. Sur la région PACA, on dénombre au total seulement 605 observations sur la plateforme Silene Nature.

Les larves ayant été peu étudiées, et uniquement en captivité, le cycle larvaire est encore largement méconnu. La croissance s'effectue sur une durée de 80 à 100 jours (Béranguier 1907, Schall 2002), avec un nombre de mues variant de 5 à 6.

L'espérance de vie d'un adulte est d'une centaine de jours en captivité, avec un maximum observé de 144 jours.

Les déplacements sont assez limités avec une moyenne de 0,5 à 2 mètres par jour, et une densité très basse, due au cannibalisme connu de l'espèce (Anselmo L. 2022).

2.1.5. Le site d'étude

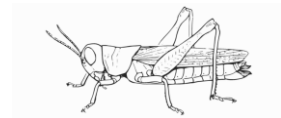
La superficie du terrain d'étude est de 46,5 ha et se compose de parcelles gérées en pâturage. Le site d'étude est vaste et constitue une zone en relief, avec des falaises et de fortes pentes. Il se compose de zones ouvertes, semi-ouvertes et fermées par la végétation. On y retrouve différentes cultures avec des oliveraies, des champs de lavandes et de thyms. L'ensemble des parcelles cadastrales composant le terrain d'étude est la propriété d'un particulier agriculteur.



Figure 5 : Photographie prise sur les hauteurs du site d'étude (avril 2023) Auteur : LERENDU Audrey

L'altitude maximale est de 750 mètres et l'altitude minimale est de 573 mètres. Les parcelles avec l'altitude la plus élevée se trouve au nord du site d'étude. La parcelle la plus haute est très proche du sommet du pic Bernard, qui culmine à 845 mètres.

Le site est à proximité d'un site Natura 2000, La Durance FR9301589, au titre de la directive européenne Habitats et la Directive Oiseaux.



Localisation de la zone d'étude sur son territoire

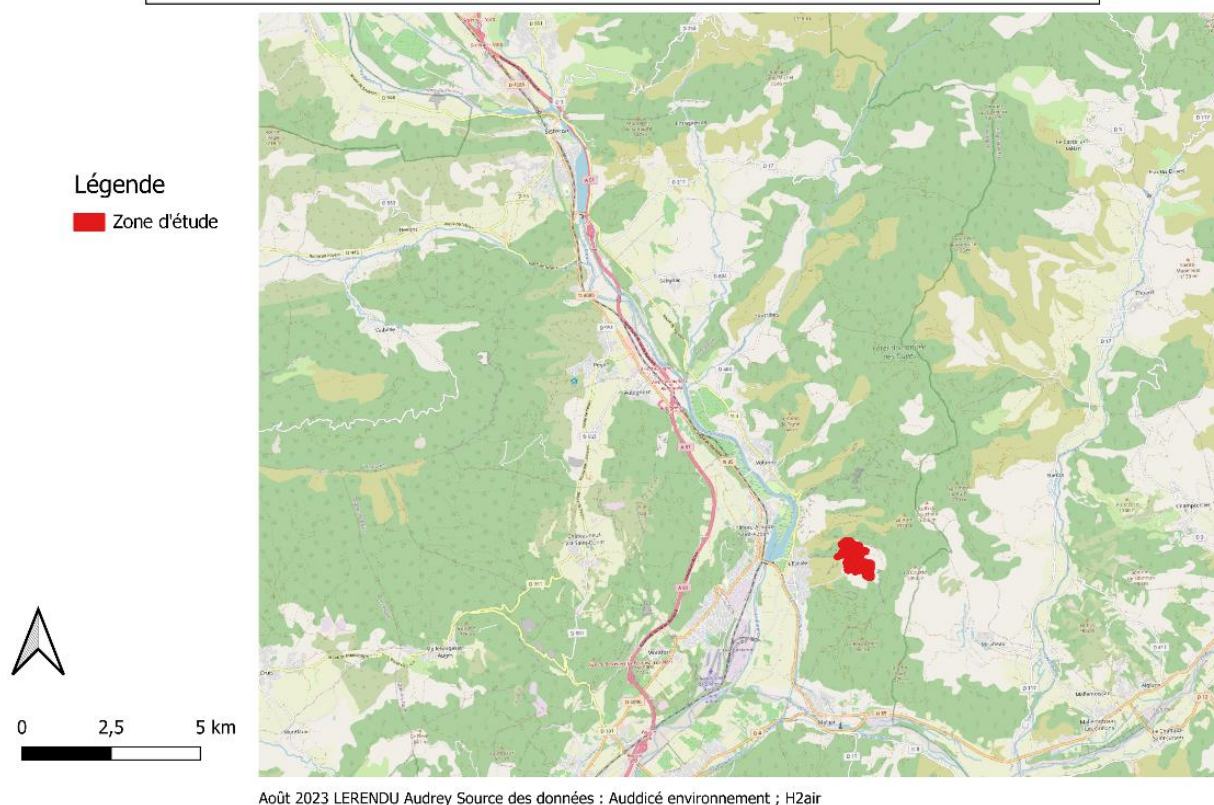


Figure 6 : Localisation du site d'étude sur le territoire rapproché

2.2. Protocole

2.2.1. Généralités

La commande émise pour le bureau d'étude Auddicé Environnement a permis de cerner les enjeux de conservation de la biodiversité sur le site. Au cours des inventaires terrains réalisés, la présence de l'espèce *Saga pedo* au stade juvénile a été détectée. A la suite de ce constat, la définition de plusieurs objectifs s'est profilée afin d'orienter le projet en assurant la protection de l'espèce. Ces objectifs ont permis de construire le protocole de cette étude. Ce protocole est expérimental, il fera l'objet d'améliorations avec les retours obtenus lors de sa mise en place.

Les objectifs identifiés sont les suivants :

- **Confirmation de la présence de l'espèce**
- **Estimation de la gêne occasionnée par le projet sur l'espèce à long terme**
- **Contribution aux connaissances biologiques de l'espèce**

Une problématique a été dégagée, au regard de ces différents objectifs :

Les conditions induites par l'installation d'un parc photovoltaïque peuvent-elles défavoriser la densité de *Saga pedo* sur le site de l'Escale ?



Le but de cette étude est de répondre aux différents objectifs, notamment en démontrant scientifiquement la relation entre au moins une des variables écologiques relevées et les effectifs de *Saga pedo*. Pour cela, la construction d'une matrice de corrélation permettra de prévisualiser la relation d'une ou plusieurs variables avec la densité d'individus *Saga pedo*.

Les recherches bibliographiques concernant l'espèce et les protocoles « standard » de suivi de population ont permis de construire un protocole pour cette étude. L'espèce étant très difficile à observer et peu étudiée, la ressource bibliographique s'est avérée pauvre sur les méthodologies existantes.

Afin de détecter l'espèce sur le site, une méthode de comptage par quadrats a été écartée afin d'éviter le risque de piétinement des zones potentielles de ponte (Richard, 2010). Une prospection par transect a été retenue au sein de stations. La manipulation et la capture ne figure pas dans ce protocole, aussi aucune autorisation n'a été nécessaire pour l'observation de cette espèce protégée.

La bibliographie a permis de mettre en évidence 1 observation de l'espèce sur la commune du site d'étude en 2016. Cependant, l'observation a été réalisée en dehors du site d'étude, cet emplacement ne sera donc pas à prospecter.

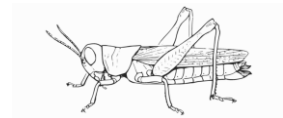
2.2.2. Placement des stations

La recherche de *Saga pedo* étant minutieuse et difficile, le terrain n'a pas pu être parcouru entièrement. Ainsi, il a fallu créer des entités délimitant les zones d'études, ici des stations de 10 m². Compte tenu du temps alloué, un nombre de 14 stations a été retenu au sein du site d'étude. L'échantillonnage des stations a été réalisé *par strates* au sein des différents grands types d'habitat, conditions d'ensoleillement, de températures et d'hygrométrie. Cet échantillonnage n'a pas été stratifié afin de maximiser les stations en milieu ouvert, ce type d'échantillonnage sera détaillé dans la partie Discussion de ce rapport.

Ces différentes conditions écologiques permettront de comparer la densité de l'espèce *Saga pedo* entre les différentes conditions écologiques des stations. L'idée est de recréer un panel de conditions écologiques simulant la présence de panneaux solaires. Les moyens temporels étant limités pour cette étude, les habitats préférés pressentis de l'espèce (Champs de lavande, garrigues ...) ont été priorisés dans les zones ouvertes.



Figure 7 : Photographie de la station N°9 Auteur : LERENDU Audrey



Deux stations ont été placées en zone fermée, autrement dit en zone forestière. Le milieu forestier présente des conditions d'ensoleillement, de température, d'hygrométrie et de richesse spécifique botanique se rapprochant des conditions en parc photovoltaïque très dense. Ces stations seront utilisées comme des proxys de la présence de panneaux solaires.

L'échantillon a été choisi en tenant compte des disponibilités des écologues pour réaliser le protocole. Les différentes variables ont été relevées au sein des stations sur 3 jours.

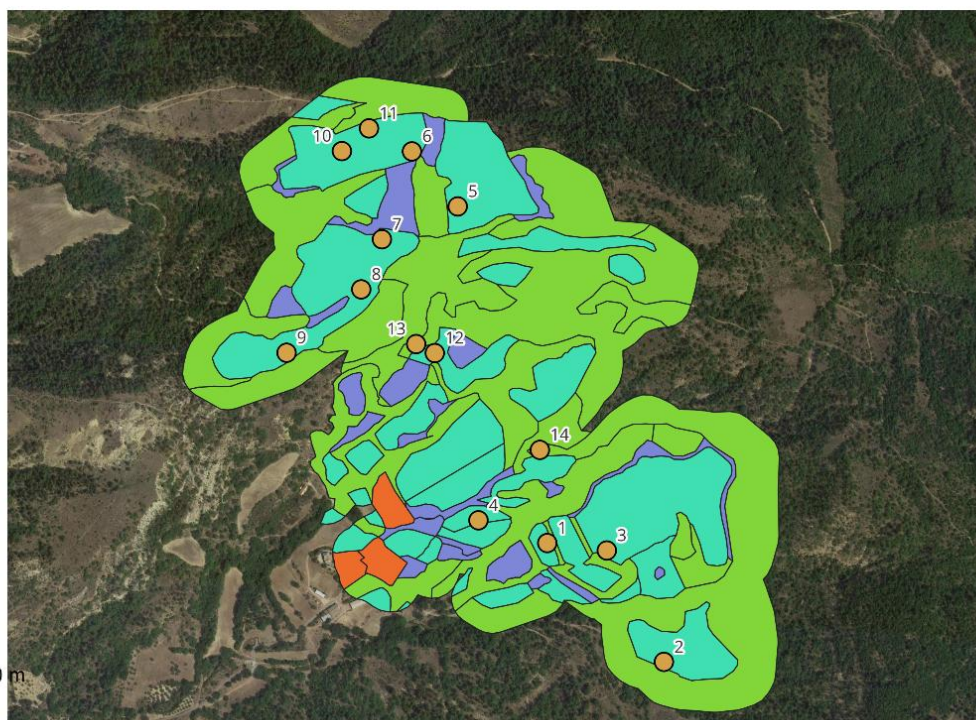
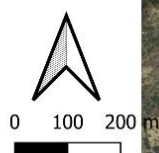
La période retenue pour les relevés, permettant d'atteindre le pic de population adulte de *Saga pedo*, est le mois de juillet 2023. Il s'agit de la période permettant d'observer un maximum d'individus au stade adulte et éviter d'avoir des données amoindries par les premières morts (Cf Figure 4).

Les stations seront délimitées par un cordeau. Au sein de celles-ci, les différentes variables seront étudiées afin de caractériser les microclimats, les types de micro-habitats ainsi que la disponibilité en proie.

Répartition des stations en fonction des grands type d'habitats sur le site de L'Escale

Légende :

- Stations
- Grands types d'habitats
- Anthropique
- Fermé
- Ouvert
- Semi-ouvert



Juillet 2023 LERENDU Audrey - Source des données : Auddicé Environnement, H2air, Google satellite

Figure 8: Cartographie des stations

2.2.3. Variables à étudier



Type de végétation : Afin de déterminer le type de végétation, des photos sont prises sur les différentes stations. Ces photos sont ensuite consultées par un botaniste qui permet de déterminer le type de végétation.

Richesses botaniques spécifiques : La variable « Richesse botanique » est estimée par un écologue ayant des notions en botanique. Pour le relevé, l'observateur parcourt la surface de la station et compte le nombre d'espèces végétales différentes.

La valeur obtenue n'est pas exacte, elle peut être considérée comme un score. Le même observateur est conservé afin d'éviter un biais.

Types d'habitat : Afin de déterminer les grands types d'habitat sur les stations, une estimation des surfaces occupées par les différentes strates de végétation est effectuée. Ainsi, les observateurs estiment la surface recouverte par le feuillage des différentes strates en mètres carré. Les strates sont déterminées selon la hauteur des végétaux, à l'aide des classes suivantes :

Tableau 2 : Modalités de la variable "Recouvrement"

Strate arborée	3,50 m -
<i>Strate arbustive</i>	2 m – 3,49 m
<i>Strate buissonnante</i>	1,20 m – 1,99m
<i>Strate herbacée</i>	0 m – 1,19 m
<i>Sol nu</i>	0 m

Pourcentage d'ombre : Le pourcentage d'ombre est estimé pour l'ombre projetée à partir de la strate arbustive à environ 12h.

Abondance de proies : La variable « Richesse de proie » a été la plus difficile à estimer. Selon les connaissances de l'écologie de *Saga pedo* et de son régime alimentaire, il apparaît que l'espèce se nourrit principalement d'orthoptères. Les observateurs se sont donc concentrés sur ce groupe lors de l'étude de cette variable. *Saga pedo* se nourrit de toutes sortes d'espèces d'orthoptères, il n'existe pas d'informations sur un potentiel lien entre richesse spécifique et abondance de *Saga pedo*. Les contraintes temporelles contraignent ce protocole à mesurer uniquement l'abondance. Pour cela, deux écologues se positionnent dans un coin de la station et avancent doucement en suivant la diagonale de la station formant elle-même un carré. Lors de la progression, chaque écologue compte approximativement le nombre d'orthoptères s'échappant sous ses pas. Lors du croisement entre les deux observateurs, un soin est pris de ne pas compter deux fois les mêmes individus. Les deux estimations sont ensuite sommées.



Figure 9 : Schéma du relevé de la variable "Abondance de proies"

Cette méthode s'inspire du protocole de l'Indice d'Abondance Relative ILA (A. LACOEUILHE 2020).

Température et hygrométrie : La température et l'hygrométrie sont mesurées sur les stations lors des nocturnes. Les nocturnes ont lieu à des horaires fixes et permettent une comparaison des données. Les heures de passage en journée pouvant beaucoup différer et la température en juillet pouvant grimper très vite. Les données sont relevées au centre de chaque station, à l'aide d'un thermo-hygromètre (modèle BC06) de la marque Trotec.

Densité *Saga pedo* : Les effectifs de l'espèce *Saga pedo* sont été relevés dans chaque station. Pour cela, les deux observateurs effectuent des transects au sein de la station à la manière du protocole ILA (Indice Linéaire d'Abondance). Les transects sont effectués par 2 écologues se suivant lentement à quelques mètres de distance. L'espèce *Saga pedo* est difficile à contacter en milieu naturel par son mimétisme avec la végétation mais également par son immobilité et son mode de vie nocturne. Ainsi, la recherche des individus sur le secteur d'étude s'effectue au crépuscule, afin d'optimiser les chances de voir l'espèce en mouvement. Les deux écologues conservent l'ordre durant toute l'étude afin d'éviter un biais observateur. Afin de faciliter l'observation de l'espèce, un bâton servant à remuer la végétation est utilisé par l'écologue évoluant en premier. Le deuxième écologue recherche les mouvements de fuite de l'espèce à la suite du dérangement provoqué par le bâton (Bernier, 2005). Enfin, les stations étant de même surface, les effectifs relevés seront transformés en densité d'individus au mètre carré.

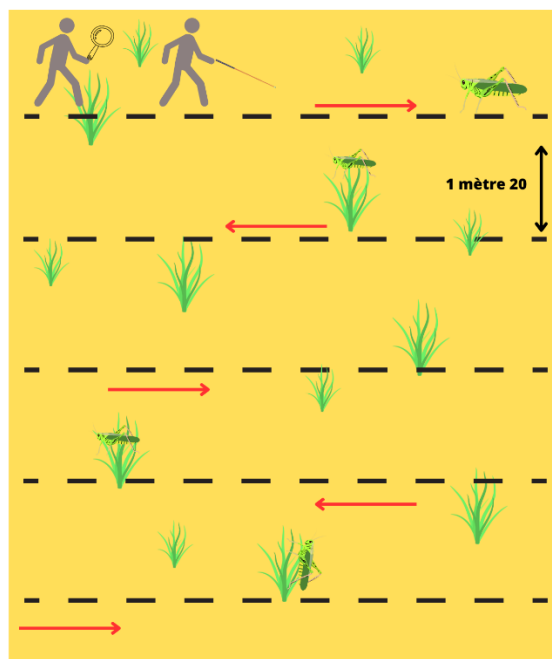


Figure 10 : Schéma de la méthode de relevé de la variable "Effectif de *Saga pedo*" Auteur : LERENDU Audrey

Habitat naturel : La géolocalisation des différentes stations à l'aide l'application MapINR permette l'identification des habitats naturels. Cette dernière a été cartographiée au préalable par la botaniste d'Audice environnement, dans le cadre de l'étude d'impact.

Effectif Mante : Lors des recherches de *Saga pedo*, les observateurs noteront le nombre de Mantes religieuses observées au sein des stations. Cette variable a été relevée dans l'éventualité où aucune corrélation ne serait trouvée avec les effectifs de *Saga pedo*. S'agissant d'un autre super-prédateur, l'écologie des deux espèces peut être très relativement rapprochée et par conséquent les résultats d'analyses.

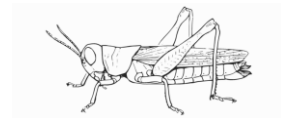


Tableau 3 : Récapitulatif des variables

Variable	Type de variable	Unité
<i>Types de zone</i>	Catégorielle	Ouverte ; Semi-ouverte ; Fermée
<i>Type végétation</i>	Catégorielle	Héliophile ; Sciaphile ; Mésophile
<i>Richesse botanique</i>	Quantitative discrète	Nombre d'espèces
<i>Surface strate arborée</i>	Quantitative continue	Estimation en m ²
<i>Surface strate arbustive</i>	Quantitative continue	Estimation en m ²
<i>Surface strate buissonnante</i>	Quantitative continue	Estimation en m ²
<i>Surface strate herbacée</i>	Quantitative continue	Estimation en m ²
<i>Surface sol nu</i>	Quantitative continue	Estimation en m ²
<i>Pourcentage d'ombre</i>	Quantitative	% de m ² ombragés par un arbre
<i>Abondance de proies</i>	Quantitative discrète	Nombre d'individus
<i>Température</i>	Quantitative continue	°C
<i>Hygrométrie</i>	Quantitative continue	Teneur en eau en %
<i>Effectif autres</i>	Quantitative discrète	Nombre de mantes observées
<i>Densité Saga pedo</i>	Quantitative discrète	Nombre d'individus au mètre carré

2.3. Méthode d'analyse

L'analyse des résultats des données récoltées commence par la construction d'une matrice de corrélation linéaire à l'aide du logiciel Excel, sur les variables quantitatives. Cette matrice permettra de visualiser le lien entre deux variables, au travers de la valeur du coefficient de corrélation. Une relation forte d'une variable avec une autre est traduite par une valeur proche de 1 ou de -1. Une valeur proche 0 témoigne d'un lien nul ou limité d'une variable avec une autre.

Ainsi les variables ayant une corrélation négative ou positive avec la variable réponse « Effectif de *Saga pedo* » pourront être identifiées puis décrites. Les effectifs étant ramenés à la surface des stations, ils s'apparentent à une densité.

Nous pourrons par la suite effectuer un test non paramétrique entre la variable réponse et les variables susceptibles de présenter une relation avec cette dernière. Les tests non paramétriques sont appropriés aux données, puisque la taille de l'échantillon est inférieure à 25.

La matrice de corrélation exploitant un test de corrélation par régression linéaire, les variables qualitatives en sont exclues. Par conséquent, un test de Kruskal-Wallis sera effectué pour tester la liaison entre la densité de *Saga pedo* et les habitats naturels. Seule cette variable est retenue au vu des connaissances de la biologie de l'espèce. Les conditions d'application de l'ANOVA ne sont pas remplies car l'échantillon est inférieur à 25, les données ne suivront pas une loi normale. Les observations sont indépendantes, le test de Kruskal Wallis est donc envisageable.



La recherche d'une dépendance entre les différentes variables et la variable « Effectif de *Saga pedo* » sera analysée. Le test sera effectué sur le logiciel R (version 4.1.0).

Une cartographie de la localisation des observations de l'espèce sera produite afin de représenter sa répartition sur le site d'étude.

3. Résultats

Au cours des relevés, 4 individus de *Saga pedo* ont été retrouvés au sein des différentes stations, à savoir 1 individu en station 9 et 3 individus en station 6.

Répartition des observations de *Saga pedo* en fonction des dates

Légende :

Observations de *Saga pedo*

19/07/2023

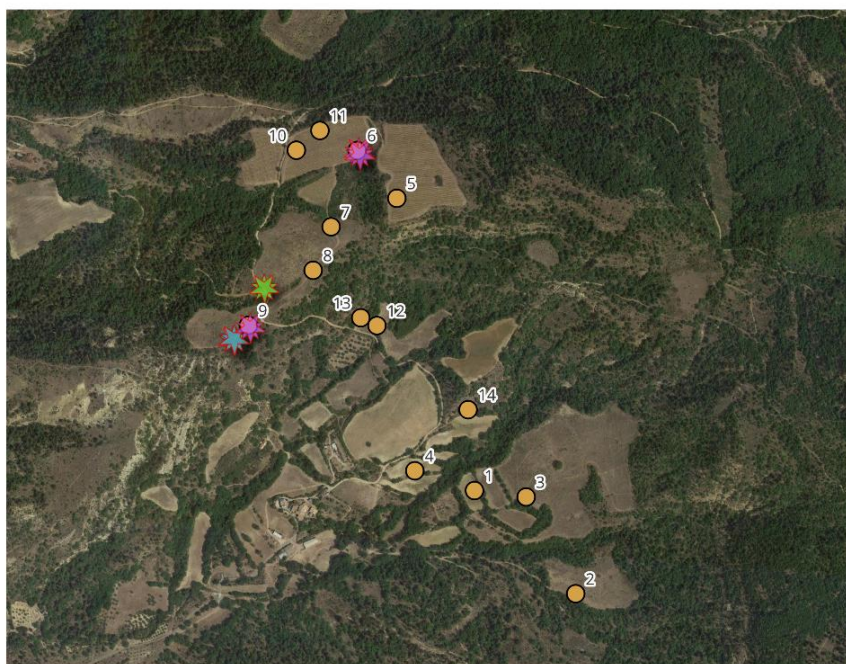
22/05/2023

26/06/2023

Numéros de stations



0 100 200 m



Juillet 2023 LERENDU Audrey - Source des données : Auddicé Environnement, H2air, Google satellite

Figure 11 : Cartographie de l'ensemble des observations de *Saga pedo* sur le site d'étude

3.1. Description des stations

Au sein des 14 stations étudiées, 3 d'entre elles présentaient une végétation du type mésophile. Il s'agit cependant d'une simplification de la réalité puisqu'il s'y trouve également des espèces xérophiles.

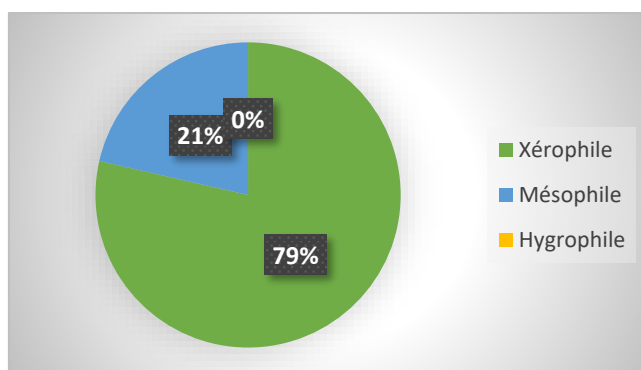


Figure 12: Type de végétation en fonction des stations

On retrouve une richesse spécifique botanique diversifiée : les stations ont été placées volontairement dans des habitats très différents. Le maximum de cette variable « Richesse botanique » est la station 3 et 7 qui possèdent 37 espèces végétales différentes. Les minimums sont les stations placées en zones fermées à savoir les stations 13 et 14.

Tableau 4 : Indicateurs de la variable "Richesse botanique"

Indicateurs	Valeur
Moyenne	21
Médiane	19
Ecart-type	9,4

La strate dominante au sein des différentes stations est la strate herbacée : cette dernière est en minorité au sein des stations 2, 13 et 14. Sur la station 2, le sol nu est dominant. Sur les stations 13 et 14, il s'agit de la strate arborée.

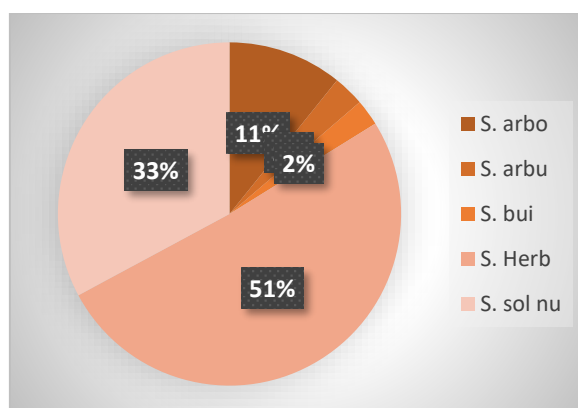
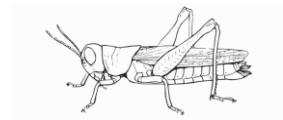


Figure 13: Répartition des strates au sein des stations

3.2. Analyse de la matrice de corrélation

La matrice de corrélation est visible en Figure 14.



	Richesse bot	S. arbo	S. arbu	S. bui	S. Herb	S. sol nu	% ombre	Abon. Proie	Temp.	Hygro.	Saga pedo	Phasme	Mante
Richesse bot	1,00												
S. arbo	-0,58	1,00											
S. arbu	-0,13	-0,10	1,00										
S. bui	0,09	-0,08	0,07	1,00									
S. Herb	0,54	-0,89	-0,07	-0,31	1,00								
S. sol nu	-0,56	0,77	-0,06	0,33	-0,90	1,00							
% ombre	-0,60	0,92	0,28	0,00	-0,89	0,74	1,00						
Abon. Proie	0,67	-0,70	0,21	0,04	0,61	-0,49	-0,60	1,00					
Temp.	0,09	-0,10	0,19	0,37	0,11	-0,14	0,00	0,09	1,00				
Hygro.	-0,12	-0,01	0,34	0,08	-0,14	0,31	0,13	0,22	-0,13	1,00			
Saga pedo	-0,02	-0,15	-0,10	-0,14	0,22	-0,35	-0,19	-0,12	0,15	-0,66	1,00		
Phasme	0,06	-0,10	-0,08	0,98	-0,26	0,33	-0,08	0,04	0,37	0,04	-0,10	1,00	
Mante	0,18	-0,28	-0,19	-0,28	0,30	-0,18	-0,36	0,34	-0,25	0,20	0,19	-0,19	1,00

Figure 14 : Matrice de corrélation des variables quantitatives de l'étude

L'étude concernant la variable « Effectifs de *Saga pedo* », seule cette ligne sera analysée.

Parmi les différentes variables, une anti-corrélation existe entre les effectifs de *Saga pedo* et la variable « Hygrométrie » avec un coefficient $r=-0,66$.

Une autre anti-corrélation plus faible entre l'abondance de *Saga pedo* et les variables « Surface de sol nu » ($r=...$) et la « Surface de strate herbacée » ($r=...$).

La variable hygrométrie semble donc importante dans la compréhension de l'espèce *Saga pedo*. Les indicateurs de cette variable sont visibles dans le tableau 5 :

Tableau 5 : Indicateurs de la variable "Hygrométrie"

Indicateurs	Valeurs
Valeur minimale	0,420
1 ^{er} Quartile	0,558
Moyenne	0,566
Médiane	0,573
3 ^{ème} quartile	0,631
Ecart-type	0,082
Maximum	0,663

L'intervalle de confiance associée à la moyenne de la variable hygrométrie est IC [0,522 ; 0,609]. Il a été obtenu grâce à la loi normale, cependant les conditions d'application ne sont pas remplies car l'échantillon est trop petit.

La moyenne des stations où l'on a retrouvé des individus de *Saga pedo* est de 42,2% tandis que la valeur de la moyenne des stations où l'espèce est absente est de 59%.

3.3. Tests statistiques

Au vu des résultats de corrélation obtenus dans la matrice, nous pouvons approfondir l'analyse des relations entre la variable étudiée et celles qui lui semblent liées. Un test non-paramétrique peut être effectué entre la variable « Hygrométrie » et « Effectif de *Saga pedo* ». Ces deux variables étant quantitatives, une régression linéaire peut être tentée. Afin d'assurer la cohérence des résultats, la variable « Effectif de *Saga pedo* » est ramenée sous forme de densité au mètre carré. Les stations étant de 100 mètres carrés, il s'agit d'une simple division par 100.



Le nuage de points obtenu avec les données relevées laisse supposer une relation décroissante entre le taux d'hygrométrie et la densité de *Saga pedo* au mètre carré, confirmée par la corrélation négative :

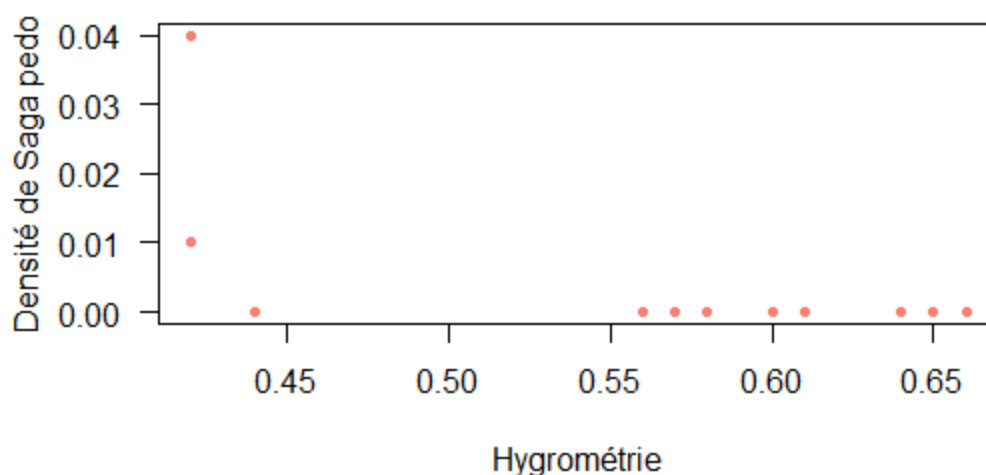


Figure 15: Nuage de points entre les variables *Saga pedo* et Hygrométrie

Le coefficient de corrélation est dans un premier temps testé de manière à prouver qu'il est significativement différent de zéro. En effet, un coefficient de corrélation nul signifierait qu'il n'existe pas de relation entre les deux variables.

Ici, le test permet d'écarter l'hypothèse nulle correspondant à un coefficient de corrélation égal à zéro, avec une valeur p inférieure à 5%. Il y a bien une relation, au moins linéaire, entre les effectifs de *Saga pedo* et le taux d'hygrométrie. Pour poursuivre l'étude de cette relation, il faut trouver un modèle permettant de faire des prédictions sur nos variables. Pour cela, le modèle le plus simple à tester est un modèle linéaire.

La régression linéaire nécessite que les observations soient indépendantes, que les résidus suivent une loi normale et que les variances soient homogènes. Lorsque les conditions ne sont pas remplies, cela signifie que le modèle n'est pas adapté aux données.

Ici l'étude des conditions d'application sont visibles en *Annexe 3*. Ces dernières ne sont visiblement pas remplies (horizontalité des courbes), le modèle linéaire ne prédira pas des résultats représentatifs de la réalité.

Pour approfondir l'étude de l'effet de l'hygrométrie sur les effectifs, il faut déterminer la pente de la relation entre les deux variables. On effectue un test F pour vérifier l'effet entre les deux variables : ici la valeur p est inférieure à 5%, on rejette l'hypothèse qu'il n'y a pas d'effet entre les deux variables au risque de 5%.

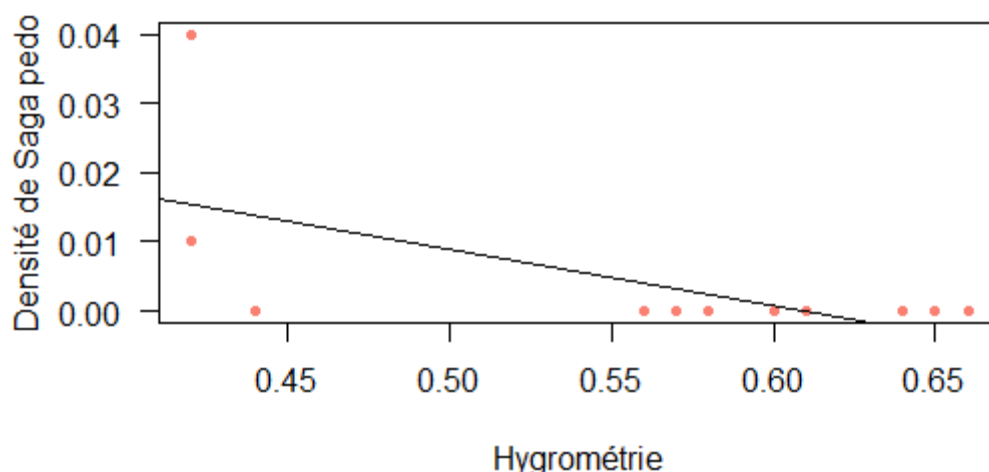


Figure 16 : Droite représentant la relation entre les deux variables *Saga pedo* et *Hygrométrie*

La valeur du coefficient de détermination (R^2) qui évalue l'ajustement du modèle est de 0,39 (R^2 ajusté 0,34). En étudiant les paramètres du modèle on obtient les résultats visibles dans le tableau 6.

Tableau 6 : Résultats des paramètres du modèle linéaire

Paramètres	Coefficient	Erreur-type	Intervalle de confiance à 95%
Ordonnée à l'origine	0,05	0,02	[0,01 ; 0,09]
Pente de la droite	-0,08	0,03	[-0,15 ; 0,02]

Ce modèle peut s'interpréter de la façon suivante :

- La densité au mètre carré de *Saga pedo* est maximale lorsque l'hygrométrie est nulle. La densité au mètre carré dans une station avec une hygrométrie tendant vers 0 serait 0,05 individus au mètres carré. Il faut nuancer ce résultat, en effet l'intervalle de confiance est très large, ce qui signifie que le modèle est mal ajusté aux données.
- La valeur du coefficient « pente » est de -0,08, qui peut s'interpréter par une hausse d'environ 0,01 individus au m² à chaque perte d'environ 0,1 points d'hygrométrie (ou tous les 10% d'hygrométrie).

Le modèle linéaire ne semble pas totalement satisfaisant. Par conséquent, le coefficient de Spearman semble plus approprié pour prouver une liaison monotone entre les variables, qu'elle soit décroissante ou croissante.

La variable qualitative, exclue de la matrice des corrélations, sont testées par un test de Kruskal-Wallis. La valeur de la valeur p est nettement supérieure à 5% (95%). L'hypothèse selon laquelle il n'existe pas de dépendance entre le type d'habitat naturel et la densité de *Saga pedo* ne peut être exclue. Le type d'habitat n'a pas d'effet sur la densité de *Saga pedo* selon ces données.



4. Discussion

Les résultats de cette étude ont permis de montrer qu'un faible taux d'hygrométrie sur une station favorise la densité d'individus de *Saga pedo*. Concernant le modèle linéaire construit pour ce test, il ne semble pas satisfaisant pour différentes raisons :

- Le coefficient de détermination R^2 est relativement faible ($<0,5$), à savoir qu'un modèle explicatif présente un R^2 supérieur à la valeur de 0,8.
- Les intervalles de confiance sur les coefficients du modèle sont larges, incluant des valeurs négatives et positives pour la pente. On comprend que le modèle n'est pas fiable.

La présence de panneaux solaires ayant un effet positif sur l'hygrométrie, un effet négatif de leur installation sur l'espèce est identifié ici, malgré les faiblesses du modèle.

Par ailleurs, le type d'habitat naturel EUNIS ne semble pas avoir d'effet sur la densité d'individus de l'espèce au risque de 5%. La relation avec d'autres variables n'a pas été testée car la matrice de corrélation en *Figure 14* ne met pas en évidence de coefficients de corrélation proches de 1 ou -1.

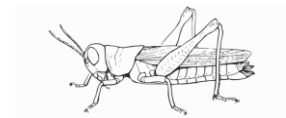
Les relations avec les autres variables de la matrice n'ont pas été analysées de manière plus approfondie. Les surfaces des différentes strates de végétation ne semblent pas influencer la densité de *Saga pedo*. La surface de sol nu semble potentiellement avoir un léger effet. Le type de végétation étant largement dominé dans les différentes stations par une végétation xérophile, son influence sur la densité de *Saga pedo* reste difficile à cerner. **Ces résultats amorcent la prise de connaissance concernant les impacts des parcs photovoltaïque sur l'espèce protégée *Saga pedo*.**

Cette étude comporte de nombreux biais explicités dans cette partie du rapport. Pour commencer, l'échantillonnage ne s'est pas réalisé de manière probabiliste par manque de moyens temporels. En effet, l'idéal aurait été de procéder à un échantillonnage stratifié, en procédant à un découpage des habitats naturels Eunis ou plus simplement par grand type d'habitat. Par la suite, les stations auraient été placées aléatoirement au sein des différentes strates ou habitats. La proportion de la surface de chaque strate aurait été calculée par rapport à la surface totale du site d'étude. Le nombre de stations au sein de ces strates doit être proportionnel à la surface représentée pour chaque strate, tel que dans le tableau 7.

Tableau 7 : Echantillonnage stratifié des 14 stations en fonction des grands types d'habitats

Type d'habitat	Ouvert	Fermé	Semi-ouvert	Anthropique
Surface	282944,6	438801,5	5624,7	12359,8
Proportion	0,358	0,555	0,072	0,016
Nombre de stations	5	8	1	0

Les objectifs de cette étude étant de confirmer la présence de l'espèce, le choix a été fait de maximiser les stations susceptibles d'accueillir l'espèce en habitat ouvert. Avec plus de temps, le nombre de stations aurait pu être augmenté et l'échantillonnage stratifié aurait pu être réalisé.



La répétabilité est une faiblesse majeure de ce protocole, d'autant plus lorsque le sujet d'étude possède une détectabilité aussi faible. Dans l'idéal, 3 visites, où toutes les variables sont remesurées à chaque fois, auraient permis d'avoir des résultats plus proches de la réalité.

Avec plusieurs visites, une probabilité d'occurrence de l'espèce, au sein des stations, aurait pu être estimée. Une simulation avec 3 visites est visible dans le tableau 8 avec les résultats associés. **La présence ou non présence de l'espèce a été imaginée pour les 2 autres visites.**

Tableau 8: Résultats de la probabilité d'occupation des stations en simulation de 3 visites

Probabilité d'occupation	Erreur type	Intervalle de confiance à 95%
0,25	0,14	[0,073 ; 0,585]

La variable « Abondance de proie » a été estimée par une méthode discutable pour sa précision. Les valeurs relevées sont à considérer comme des scores plutôt que des abondances. Il subsiste un problème dans cette variable puisqu'une partie des stations a été étudiée en journée tandis que d'autres ont été étudiées tôt le matin afin d'éviter les fortes chaleurs. La fraîcheur du matin a sans doute impacté la mobilité des orthoptères et donc leur visibilité par les écologues. D'autre part, les orthoptères ont été comptés en journée : or, les observateurs ont remarqué qu'il semblait exister un phénomène de « refuge » au sein des lavandes la nuit. Les observateurs ont remarqué une plus forte abondance ou détectabilité des proies potentielles de *Saga pedo* lors des nocturnes.

D'après Anselmo L (2022), la répartition spatiale de *Saga pedo* est conditionnée par l'abondance de proies potentielles. Les effectifs de *Saga pedo* auraient dû être corrélés à cette abondance de proies, cependant on peut observer sur la matrice de corrélation une valeur très proche de 0 (-0,12). Les résultats obtenus ont été impactés par l'erreur systématique due à la méthode de comptage en journée et le comportement des orthoptères la nuit.

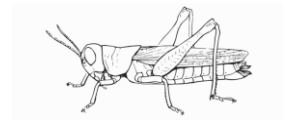
Notons également que, bien que non documentée, il aurait été intéressant d'explorer une variable « richesse spécifique d'orthoptères » dans cette étude.

Pour ce qui est de la variable explicative de notre étude, l'hygrométrie, une unique mesure peut ne pas bien refléter les conditions d'hygrométrie d'une station. En effet, beaucoup de facteurs hasardeux de l'environnement (urine d'animaux, etc.) peuvent influencer la valeur d'hygrométrie relevée. Plusieurs mesures à différentes périodes et moments de la journée nous auraient permis d'avoir des indicateurs beaucoup plus fiables.

D'autre part, les moyennes de l'hygrométrie entre les stations où l'on a retrouvé des individus et celle où l'espèce était absente n'ont pas été testées. Un test d'équivalence des moyennes aurait permis d'établir si la différence est significative.

En ce qui concerne les effectifs de *Saga pedo*, la potentialité que des individus aient été manqués ne peut être écartée. D'autre part, les relevés des différentes variables en journée a pu provoquer la fuite des individus des stations, même si cela ne reste qu'une hypothèse.

En somme, ce protocole peut être grandement amélioré afin d'augmenter la robustesse et la précision des résultats. Il est tout de même important de rappeler qu'un meilleur moyen de mesurer l'impact d'un parc photovoltaïque sur une espèce serait d'effectuer un suivi de population sur un site avant et après l'installation d'un parc photovoltaïque. Pour cela il faudrait suivre la population sur plusieurs années, autant avant qu'après l'installation. Il convient d'être



certain que la dynamique de la population ne soit pas décroissante avant l'installation et/ou de l'inclure dans les effets mesurés.

5. Conclusion

Au cours de cette étude, la présence de l'espèce *Saga pedo*, constatée en mai et juin 2023, a été confirmée par l'observation d'individus adultes. La localisation de cette population semble se réduire sur les hauteurs nord du site. La prise en compte de cette information permettra d'éviter la zone pour l'implantation du parc.

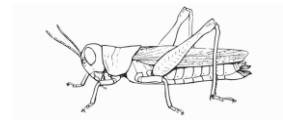
Bien que les effets des parcs photovoltaïques ne soient encore pas bien connus pour beaucoup de taxons, les mœurs typiquement méditerranéennes de *Saga pedo* laissent supposer qu'il y aurait des effets négatifs sur cette ogresse des garrigues. L'intuition ne peut remplacer la certitude posée par des résultats scientifiques. Aussi, ce travail a permis de récolter des premières données, de tirer des premières conclusions/tendances, et des premières orientations pour les prochaines études.

En résumé, cette étude a permis de mettre en évidence un effet de l'hygrométrie sur la présence de *Saga pedo*. Ce résultat reste cohérent avec l'écologie de l'espèce, cependant le faible effort d'échantillonnage ne permet pas une représentativité fiable de la réalité. Les faiblesses du protocole ont sans doute empêché de découvrir une relation entre les effectifs de l'espèce et une ou plusieurs autres variables. Il a néanmoins permis de faire le lien entre une des conséquences de l'installation d'un parc photovoltaïque et une baisse de la densité d'individus de l'espèce.

Plusieurs pistes existent pour optimiser l'implantation du parc photovoltaïque afin de ne pas impacter la biodiversité. Parmi celles-ci on retrouve l'évitement des zones d'observation d'individus, mais aussi la réduction de la densité des panneaux solaires au sein du parc. Il est envisageable de réduire l'ombrage et l'hygrométrie porté par l'installation de panneaux *mobiles* ou bien juchés à une hauteur plus élevée. Parmi les préconisations de l'ADEME, les parcs photovoltaïques doivent être implantés prioritairement dans des zones déjà artificialisées, afin de minimiser les nouveaux impacts.

Les perturbations induites par les phases de chantier peuvent être évitées en partie en adaptant les périodes en fonction de la biologie de l'espèce, à savoir dans le cas de *Saga pedo*, pendant la phase d'incubation des œufs. Également, une attention particulière doit être observée pour perturber le moins possible les sols.

La Magicienne Dentelée *Saga pedo*, est loin d'être suffisamment étudiée et les recherches à son sujet sont essentielles à sa protection. Le conflit entre protection de la biodiversité et le développement des EnR doit se résoudre par une parfaite connaissance des problématiques associées. Les investigations doivent se poursuivre dans l'avenir afin de répondre favorablement aux objectifs nationaux.



6. Références bibliographiques

Anselmo L (2022) A field study on Saga pedita (Ensifera, Tettigoniidae, Saginae): Spatial behavior of adult specimens. Journal of Orthoptera ; Research 31(1): 41–46.

<https://doi.org/10.3897/jor.31.69425>

BÉRENGUIER, P. (1905): Notes orthoptérologiques I. La Magicienne dentelée "Saga serrata". - Bulletin de la Société des Sciences Naturelles de Nîmes et du Gard 33: 145-154.

BERNIER, C. (2005-2006): Synthèse 2004-2005 de l'enquête nationale sur la Magicienne dentelée *Saga pedita* (Pallas, 1771) - [unpublished]: <http://www.onem-france.org/saga>

Boniffacy E., Charbonneau A., Duque C., Giraldi J. – Martin C. - Mesureux M. - Seguin L. - Viande E. ; (2018) Étude du lien entre communautés d'Orthoptères et hauteur de végétation par différentes méthodes d'échantillonnage dans la vallée de l'Ubaye ; Université Aix-Marseille ; Institut Pythéas Observatoire des Sciences de l'Univers

Chopard L., (1946). Quelques notes sur les mœurs de la Saga (Orth. Tettigoniidae), In Bulletin de la Société Entomologique de France, 126-128.

Chopard L., (1951). Famille des Sagidae. Orthoptéroïdes et Dermaptères - Faune de France 56, 156-157.

Insee, (2012) « [Exploitations agricoles en 1988 et 2000](#) [archive] », Insee, (fichier de 24,6 Mio)

Kristin, A., Kanuch P. (2007) "Population, ecology and morphology of Saga pedita(Orthoptera: Tettigoniidae) at the northern limit of its distribution." European Journal of Entomology 104.1: 73-79.

Lacoeuilhe A., Roquinarc'h O., Thierry C. & Latour M., (2020) Protocole de suivi des Orthoptères pour l'étude des milieux prairiaux – Application à deux cas d'étude.. UMS PatriNat – OFB/CNRS/MNHN. 16 p.

Lemonnier-Darcemont M., Bernier C. & Darcemont C., (2009). Field and breeding data on the European species of the genus Saga (Orthoptera: Tettigoniidae). Articulata 24, 1-14.

Lemonnier-Darcemont M. & Darcemont C., (2005). Les Saga d'Europe étranges prédateurs du crépuscule. Le Courrier de la Nature 219

Lemonnier-Darcemont M. & Darcemont C., (2008). Quelques notes sur le comportement social et reproductif des Saginae européens (Orthoptera : Tettigoniidae), In Biocosme Mésogéen, 25-38.

Lemonnier-Darcemont M., Dutrillaux A.M., Dutrillaux B. & Darcemont C., (2008). Recherches sur la phylogénie de Saga pedita (Pallas, 1771) (Orthoptera: Tettigoniidae). Annales de la Société Entomologique de France 44, 477-485.



Ministère de l'Agriculture, « Orientation technico-économique de l'exploitation », *Recensements agricoles 2010 et 2000*.

Perrin C. (Dir.). (2013), Un littoral sans nature ? L'avenir de la Méditerranée face à l'urbanisation. Ecole française de Rome, 978-2-7283-0962-7. [hal-01526896](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01526896)
Radisson Laurent, L'impact des parcs photovoltaïques en zones naturelles suscite des inquiétudes ; Actu-environnement, 23 septembre 2022

D. Raynaud, J. M. Barnola & J. Chappellaz (1995) Les glaces polaires : une mémoire de l'évolution des gaz à effet de serre, La Houille Blanche, 81:5-6, 123-125, DOI: [10.1051/lhb/1995057](https://doi.org/10.1051/lhb/1995057)

Richard Marc-Antoine (2010), Expérimentation et suivi de population chez *Saga pedo* sur la plaine du Regard (07), Université Paul Sabatier Toulouse, ONEM France

SCHALL, A. (2002): Détails sur la connaissance de *Saga pedo* (Pallas, 1771), cycle biologique en captivité, (Orthoptera, Tettigoniidés, Saginae). – Bulletin de la Société Entomologique de France 107 (2): 157-164.

Tissot B. (2003), Primary energy sources and greenhouse effect, Geoscience, 597-601, [https://doi.org/10.1016/S1631-0713\(03\)00104-4](https://doi.org/10.1016/S1631-0713(03)00104-4)

Quéfelec Stefane (2008), L'efficacité énergétique et les énergies renouvelables au cœur des solutions, Programme des Nations Unies pour l'Environnement, Plan d'action pour la Méditerranée

Willemse, L. (1996). *Saga pedo*. *Helsdingen PJ van, Willemse*.



7. Webographie

Climate-data 2023 <http://climate-data.org>

Commissariat général au développement durable, 2023 Énergies renouvelables : la France est-elle sur la trajectoire de l'objectif 33 % en 2030 ?, notre-environnement.gouv.fr , Juin 2022

Inpn, 2023, Inventaire National du Patrimoine Naturel

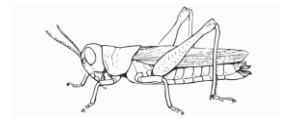
Legifrance, 2023. Service public de la diffusion du droit – Arrêté du 23 avril 2007 (Consultation le)
<http://legifrance.gouv.fr>

Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer, 2023. (Consultation le)
<http://www.developpement-durable.gouv.fr>

UICN, 2023. The IUCN Red List of Threatened Species. (Consultation le)
<http://www.iucnredlist.org>
<https://www.lescale.fr/le-village.html>
<https://www.notre-environnement.gouv.fr/actualites/breves/article/energies-renouvelables-la-france-est-elle-sur-la-trajectoire-de-l-objectif-33>

Parc Naturel Régional du Luberon, Faille de la Moyenne Durance, 2017,
https://www.parcduluberon.fr/wp-content/uploads/2017/05/panneaux_faille_moyenne_durance.pdf

Silène Nature PACA <http://silene-nature.fr>



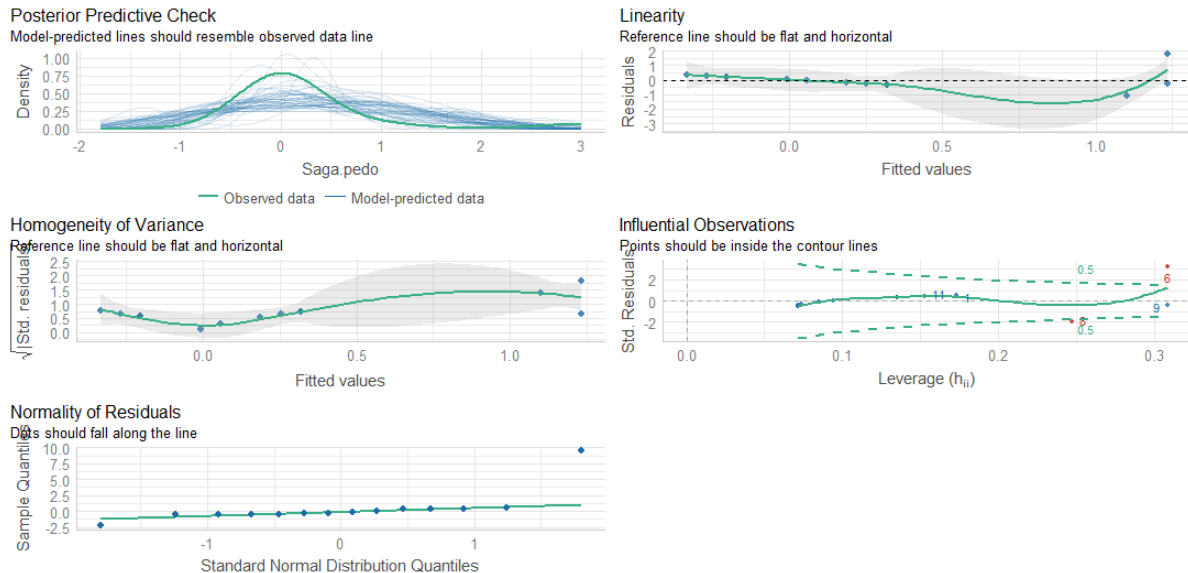
8. Annexes

Travaux à accomplir	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
Inventaires entomologiques sur les différents terrains d'étude					
Rédaction compte rendus d'étude bibliographiques					
Mise au point du protocole					
Récolte de données					
Analyse des résultats					
Rédaction rapport					
Elaboration soutenance					

Annexe 1: Rétroplanning du stage

N° Stations	Type zone	Habitat EUNIS	Végétation	Richesse bota	S. arbo	S. arbu	S. bui	S. Herb	S. sol nu	% ombre	Abon. Proi	Temp.	Hygro.	Saga pedo	Mante
1	Semi-ouverte	Verger d'arbres fruitiers	Mésophile	17	0	50	5	58	35	50	31	27,3	0,663	0	0
2	Lisière	Guarrigues supraméditerranéennes	Xérophile	23	2	0	28	37	70	8	23	28,7	0,578	0	0
3	Ouverte	Guarrigues montagnardes thymus Juniperus oxycedrus	Xérophile	37	0	0	1	90	22	1	42	29,3	0,603	0	1
4	Ouverte	Terres arables	Xérophile	12	0	0	0	84	48	0	24	26,6	0,638	0	0
5	Ouverte	Champs de lavande/	Xérophile	16	0	0	0	85	8	0	16	25,8	0,558	0	0
6	Ouverte	Champs de lavande/	Xérophile	19	0	0	0	77	18	0	19	25,7	0,420	4	1
7	Ouverte	Guarrigues supraméditerranéennes	Xérophile	37	0	0	4	70	26	1	20	23,1	0,564	0	0
8	Ouverte	Guarrigues supraméditerranéennes	Xérophile	26	0	0	1	77	33	0	33	23,4	0,444	0	0
9	Ouverte	Guarrigues supraméditerranéennes	Xérophile	26	0	0	1	90	13	0	12	29,8	0,423	1	0
10	Ouverte	Champs de lavande/	Xérophile	19	0	0	0	73	40	0	26	24	0,608	0	2
11	Ouverte	Champs de lavande/	Xérophile	16	0	0	0	70	50	0	12	23,4	0,653	0	1
12	Ouverte	Guarrigue montagnarde thymus Chênaies pubescens occidentales	Xérophile	31	0	0	0	70	37	0	39	23,9	0,639	0	1
13	Fermée	Chênaies pubescens occidentales	Mésophile	7	98	0	1	0,5	98	98	0	24,9	0,561	0	0
14	Fermée	Chênaies pubescens occidentales	Mésophile	10	88	1	2	7	75	88	0	25,7	0,568	0	0

Annexe 2 : Tableau des données de l'étude



Annexe 3 : Différents graphiques qualifiant la qualité du modèle linéaire

```
#Etude de la relation entre hygrométrie et effectif de Saga
pedo
donnees <- read.csv2("C:/Users/audre/Downloads/Données Saga
pedo .csv")
View(donnees)

plot(Saga.pedo ~Hygro., data = donnees, xlab = "Hygrométrie",
ylab= "Effectif de Saga pedo", las=1, pch = 21, col="white",
bg="salmon", cex=1)
#Au vu du nuage de points, il semble y avoir des valeurs
extrêmes
#il FAUDRAIT PLUTOT UTILISER SPEARMAN
#H0 = Coefficient de corrélation égal à 0
#H1 = Coefficient de corrélation différent de 0
cor.test(donnees$Saga.pedo, donnees$Hygro.,
         conf.level = 0.95)
#Avec coeff Spearman
cor.test(donnees$Saga.pedo, donnees$Hygro.,
         method = "spearman")
#L'intervalle de confiance ne contient pas 0 et la p_value est
inférieure à 5%, on peut donc rejeter H0
model<-lm(Saga.pedo ~Hygro., data=donnees)
library(performance)
check_model(model)
library(car)
Anova(model)
```



```
#Paramètres
library(parameters)
parameters(model)
#Coefficient de détermination
library(performance)
r2(model)
#p_value inférieure à 5%, il y a donc un lien entre
hygrométrie et Saga pedo
#Intercept à 3,98, Il y aurait 4 Saga pedo si l'hygrométrie
était à 0% -> Impossible...
#La pente de la relation est de -6.54, soit une Saga pedo à
chaque -7% d'hygrométrie
plot(Saga.pedo ~Hygro, data = donnees, xlab = "Hygrométrie",
ylab= "Densité de Saga pedo", las=1, pch = 21, col="white",
bg="salmon", cex=1)
abline(model, col = "black")
#Test avec les habitats naturels
#H0 = La densité de Saga pedo ne dépend pas de l'habitat
naturel
#H1 = La densité de Saga pedo dépend de l'habitat naturel
kruskal.test(Saga.pedo~Habitat.EUNIS, data=donnees)
```

Annexe 4 : Script d'analyse de l'étude