Programme les sentinelles du climat. Tome II : Protocoles d'échantillonnage des indicateurs des effets du changement climatique sur la biodiversité en Nouvelle-Aquitaine

Fanny Mallard

▶ **To cite this version:**

Fanny Mallard. Programme les sentinelles du climat. Tome II : Protocoles d'échantillonnage des indicateurs des effets du changement climatique sur la biodiversité en Nouvelle-Aquitaine. C. Nature, 2016. hal-02022814

HAL Id: hal-02022814
https://hal.science/hal-02022814

Submitted on 18 Feb 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Décembre 2016

les sentinelles du climat

Programme « Les sentinelles du climat » :
Tome II : Protocoles d'échantillonnage des indicateurs des effets du changement climatique sur la biodiversite en Nouvelle-Aquitaine

Fanny Mallard

Coordinatrice du programme les sentinelles du climat - fanny.mallard@cistude.org - 05.56.28.47.72

Avertissement : Le texte et les figures cachés en noir [redacted] ne font pas partie des éléments consultables en libre accès. Ces éléments font partie des données sensibles sur les espèces. Pour plus d'information veuillez contacter fanny.mallard@cistude.org

Référence bibliographique à utiliser :
Mallard F. (coord.), 2016. Programme les sentinelles du climat. Tome II : Protocoles d'échantillonnage des indicateurs des effets du changement climatique sur la biodiversité en Nouvelle-Aquitaine, C. Nature : Le Haillan, Gironde, France, 453 p.

Coordination :
Fanny Mallard[1]

Rédaction (Auteurs par ordre d'apparition dans le texte) :
Fanny Mallard[1], Kévin Romeyer[2], Anthony Le Fouler[2], Grégory Caze[2], Maud Berroneau[1], Dominique Galland[1], Pierre-Yves Gourvil[3], Thomas Ruys[1], Gilles Bailleux[3], David Soulet[3], Mathieu Molières[1], David Genoud[4], Matthieu Berroneau[1], Gabrielle Sauret[1]

[1] *Cistude Nature,*
[2] *Conservatoire Botanique National Sud Atlantique,*
[3] *Conservatoire d'espaces naturels d'Aquitaine,*
[4] *DGe*

Avant-propos

Ce document est réalisé dans le cadre du programme de recherche appliquée « Les sentinelles du climat » (2016-2021) sur l'étude des effets du changement climatique sur la biodiversité à l'échelle de la région Nouvelle-Aquitaine.

Pour plus d'informations :

Site internet du programme les sentinelles du climat : www.sentinelles-climat.org

Production du programme les sentinelles du climat 2016

Tome I : Développement d'indicateurs des effets du changement climatique sur la biodiversité en Nouvelle-Aquitaine

Tome II : Protocoles d'échantillonnage des indicateurs des effets du changement climatique sur la biodiversité en Nouvelle-Aquitaine

Résumé

Les recherches sur le terrain des effets du changement climatique sont essentielles pour alimenter des expériences de laboratoires, pour définir des « modèles » d'évolution des espèces, de leurs habitats, pour comprendre les interactions, pour choisir des modèles mathématiques d'agrégation de données, d'extrapolation des observations avec les dispersions et les incertitudes associées. Il s'agit de comprendre la relation entre les variations climatiques et la réponse de la biodiversité. La mise en place de protocoles de suivis à long terme des indicateurs climatiques et biologiques répertoriés, standardisés et adaptés à la problématique du changement climatique est nécessaire. Dans ce cadre, des plans d'échantillonnage de suivis des indicateurs climatiques locaux et de 18 indicateurs biologiques dans les différents écosystèmes de la région Nouvelle-Aquitaine ont été élaborés. La première campagne de terrain en 2016 a permis la mise en place et le test de ces protocoles qui seront ajustés et optimisés jusqu'en 2021 pour fournir des suivis scientifiques robustes à long terme. Dans le temps, l'ensemble des données, des informations agrégées permet d'alimenter le transfert d'informations vers les acteurs des « forces motrices » (industriels, exploitants de ressources, politiques, enseignants, grand public…) qui sont en retour les sources de propositions pour mettre en œuvre une gestion, pour appliquer des éléments de réponses dans des politiques environnementales volontaires et avec l'acceptation des différentes parties prenantes.

Mots clés : amphibiens, échantillonnage, humidité, insectes, mammifères, paysage, réchauffement climatique, reptiles, sensibilisation, suivis, température, végétation.

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION GENERALE 1

1.1 Changement climatique et biodiversité en Nouvelle-Aquitaine 1
1.2 Démarche de recherche des indicateurs climatiques et biologiques 3
1.3 Structure du rapport 11

2. INDICATEURS CLIMATIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX 13

2.1 Systématique climatique et écologique 13
2.2 Mesure des facteurs mesoclimatiques 15

3. INDICATEURS BIOLOGIQUES DES ECOSYSTEMES DUNAIRES 20

3.1 Végétations des dunes littorales non-boisées 20
3.2 Lézard ocellé 28

4. INDICATEURS BIOLOGIQUES DES ECOSYSTEMES SECS 37

4.1 Végétation des pelouses calcicoles 37
4.2 Populations de lépidoptères et d'ascalaphes de pelouse calcicole 48
4.3 Pachyure étrusque et Souris à queue courte 94

5. INDICATEURS BIOLOGIQUES DES ECOSYSTEMES HUMIDES 104

5.1 Végétation des landes humides et tourbières 104
5.2 Populations de lépidoptères de landes humides 116
5.3 Azuré des mouillères 133
5.4 Lézard vivipare 143
5.5 Végétation des lagunes 149
5.6 Populations d'odonates 158
5.7 Rainette ibérique 177
5.8 Végétation des étangs arrière-littoraux 183

6. INDICATEURS BIOLOGIQUES DES ECOSYSTEMES FORESTIERS 192

6.1 Végétation de hetraies planitaires 192

7. INDICATEURS BIOLOGIQUES DES ECOSYSTEMES MONTAGNARDS 202

7.1 Végétations de montagne 202
7.2 *Parnassius apollo* et cortège lépidoptérique associé 207
7.3 Cortège des bourdons 221

7.4 Grenouille des Pyrénées 241
7.5 Lézard de Bonnal et lézards gris 245
7.6 Marmotte des Alpes 253

8. Perspectives de prise en compte de la vulnerabilite et de la resilience des sites d'etude 260

9. Sensibilisation et mediation scientifique 263

9.1 Les publics visés 264
9.2 Description des outils proposés en 2016 265
9.3 Etat d'avancement 273
9.4 Prévisionnel 2017 274

10. Conclusion generale 276

11. Bibliographie 282

12. Annexes 293

1. Introduction générale

Rédaction : Fanny Mallard

1.1 Changement climatique et biodiversité en Nouvelle-Aquitaine

La communauté scientifique admet qu'une sixième extinction de masse des espèces vivantes est en cours. Le changement climatique, conséquence d'activités humaines, devient une cause anthropique du déclin de la biodiversité (CEBALLOS *et al.*, 2015). Par sa rapidité et son niveau, le changement climatique deviendra l'une des principales pressions (SALA *et al.*, 2000). Les projections du changement climatique indiquent que des espèces végétales et animales seront sujettes à un risque accru d'extinction (MCKINNEY & LOCKWOOD, 1999 ; THOMAS *et al.*, 2004 ; FEEHAN *et al.*, 2009). Cependant, malgré ces données concordantes, les réponses adaptatives intrinsèques de la biodiversité restent encore largement peu suivies, méconnues (MASSU & LANDMANN, 2011). Les valeurs des seuils de survie des espèces, les profils de biodiversité de référence restent des données à acquérir.

Comprendre la réponse de la biodiversité au changement climatique dans le cadre d'une démarche scientifique, nécessite des observations de terrain expérimentées, des données validées, des observations pertinentes en échelle de temps et d'espace, des informations agrégées. Dans ce cas de caractérisation d'état, les connaissances à rechercher concernent aussi les pressions, leurs combinaisons, leurs cumuls, leurs couplages. Des impacts en résultent, dans le temps et dans l'espace, sur des durées ou à des échelles différentes d'observations. Les propriétés, les états, les fonctionnements des composantes biotiques et abiotiques interagissent à leur tour entre elles, avec des temps de réponses temporelles et des diffusions spatiales spécifiques. Ils sont ainsi à relier dans le temps et dans l'espace aux pressions. L'ensemble agrégé, résumé des pressions, des états, des impacts va pouvoir alimenter alors les forces motrices qui sont elles-mêmes une composante des sources des pressions. Celles-ci mettent en œuvre une gestion qui apporte des réponses par des politiques environnementales volontaires et par la communication envers le public (MALLARD, 2014).

Dans cet ensemble complexe, couplé, interagissant, l'expression du manque de connaissances des conséquences de l'évolution du climat sur la biodiversité qui fait l'objet de ce programme amène à poser en liminaire la question suivante : Comment évaluer, prédire la réponse de la biodiversité face au changement climatique ?

Trois réponses de la biodiversité aux effets du changement climatique rapide sont observées : (1) la persistance de l'espèce soumise à un climat modifié dans son habitat (adaptation génétique, plasticité phénotypique), (2) la migration vers des climats plus appropriés ou (3) l'extinction locale (DAVIS & SHAW, 2001).

Une hypothèse de recherche pour ce programme est que les effets du changement climatique sur la biodiversité peuvent être étudiés à partir d'indicateurs qui utiliseront des espèces ou groupes d'espèces ayant des capacités de déplacements faibles et d'évolutions lentes.

Les espèces les plus menacées sont les spécialistes, c'est-à-dire celles qui ont des restrictions spatiales latitudinales et altitudinales, des capacités de dispersion limitées (FEEHAN *et al.*, 2009). Nous posons ainsi l'hypothèse qu'il s'agit de petites espèces n'effectuant pas de déplacements quotidiens ou saisonniers importants et/ou dont le domaine vital est limité géographiquement. Les amphibiens, les reptiles, les micromammifères et certains invertébrés ont des capacités de déplacement faibles par rapport aux grands mammifères ou aux oiseaux. Ces espèces dites « sentinelles » devraient être parmi les premières à répondre aux variations climatiques locales (MALLARD, 2016). Les espèces très mobiles, non piégées, sont plus susceptibles de changer leurs aires de répartition en réponse au changement climatique que de s'adapter *in situ* ou de disparaitre localement face à cette évolution de pression. Le changement climatique actuel peut être plus rapide que l'adaptation génétique (BRADSHAW & HOLZAPFEL, 2006). Par conséquent, le nombre d'extinctions locales dépendra fortement de la capacité des espèces à se déplacer (FODEN *et al.*, 2008).

Les indicateurs utilisés seront d'ordre « biologique » et concerneront des espèces (ou groupes d'espèces), de flore et de faune étudiées dans leur milieu. Les espèces ou groupes d'espèces retenus dans le programme ont une sensibilité particulière et attendue comme indicateur face au changement climatique, une facilité d'application de protocole et d'analyse des résultats, une optimisation des coûts et de la coordination des suivis avec les études existantes. Ils ont un aspect patrimonial. L'état et l'évolution de ces indicateurs sont à relier à un ensemble de paramètres environnementaux, à des échelles de temps et d'espace différentes. Ils concernent la température, l'humidité, la pluviométrie, la radiation solaire, la vitesse du vent, afin de dégager des tendances de l'impact des variations environnementales combinées sur l'état de la biodiversité.

La caractérisation des effets du changement climatique sur la biodiversité terrestre est intégrée dans un concept d'écologie du changement climatique (MALLARD, 2016). Trois réponses universelles de ces espèces végétales et animales sont alors reconnues et correspondent aux impacts du changement climatique: les changements d'aire de répartition, de physiologie et de phénologie (DAUFRESNE *et al.*, 2009 ; FEEHAN *et al.*, 2009). Une analyse de l'état de l'art des connaissances internationales basée sur les articles scientifiques a permis d'identifier les groupes d'espèces sentinelles sensibles à ces effets: végétaux, invertébrés (lépidoptères, odonates, hyménoptères-bourdons), amphibiens, reptiles (lézards), petits mammifères (rongeurs, Marmotte des Alpes) (MALLARD, 2016).

Cette hypothèse de recherche, basée sur un choix d'indicateurs adaptés, implique ensuite d'atteindre deux objectifs principaux. Le premier objectif écologique est de déterminer les effets potentiels du changement climatique en les dissociant des autres facteurs anthropiques par le suivi à long terme de l'état de ces espèces sentinelles. La plupart de ces effets du changement climatique sur les espèces se produira progressivement, lorsque le niveau de changement s'intensifiera, et, par conséquent, ne peut pas encore être facilement détecté sur le terrain. Cela demande une analyse plus fine des observations. A partir de ces données et de modèles, le deuxième objectif biogéographique est d'évaluer, aux différentes échelles du transect, du site, de la région, la réponse prévisionnelle des composantes mesurables dans divers milieux naturels.

Le changement climatique est variable dans l'espace et les espèces ont des sensibilités différentes. La région Nouvelle-Aquitaine est un laboratoire d'étude qui offre une sensibilité à l'évolution du climat et une variété d'écosystèmes naturels. A partir de l'analyse bibliographique, des critères définis ci-dessus, à partir d'une importante base de données

empiriques des productions d'atlas de la flore (atlas en ligne : ofsa.fr) et de la faune en région Aquitaine (BERRONEAU, 2015 ; RUYS & COUZI, 2015 ; GOURVIL *et al.*, 2016), les espèces et groupes d'espèces indicateurs ont été développés pour 5 types d'écosystèmes naturels aquitains. Sur le territoire, 18 indicateurs du changement climatique dans différents écosystèmes (dunaire, sec, humide, montagnard, forestier) ont été mis en place (Fig. 1). L'évolution des cortèges floristiques de ces milieux sera suivie en parallèle. Au sein de ces écosystèmes, les espèces animales suivantes feront l'objet d'études: insectes (lépidoptères, libellules, bourdons), amphibiens (Grenouille des Pyrénées, Rainette ibérique), reptiles (Lézard de Bonnal, Lézard ocellé, Lézard vivipare), petits mammifères (Marmotte des Alpes, Pachyure étrusque, Souris à queue courte) (MALLARD, 2016).

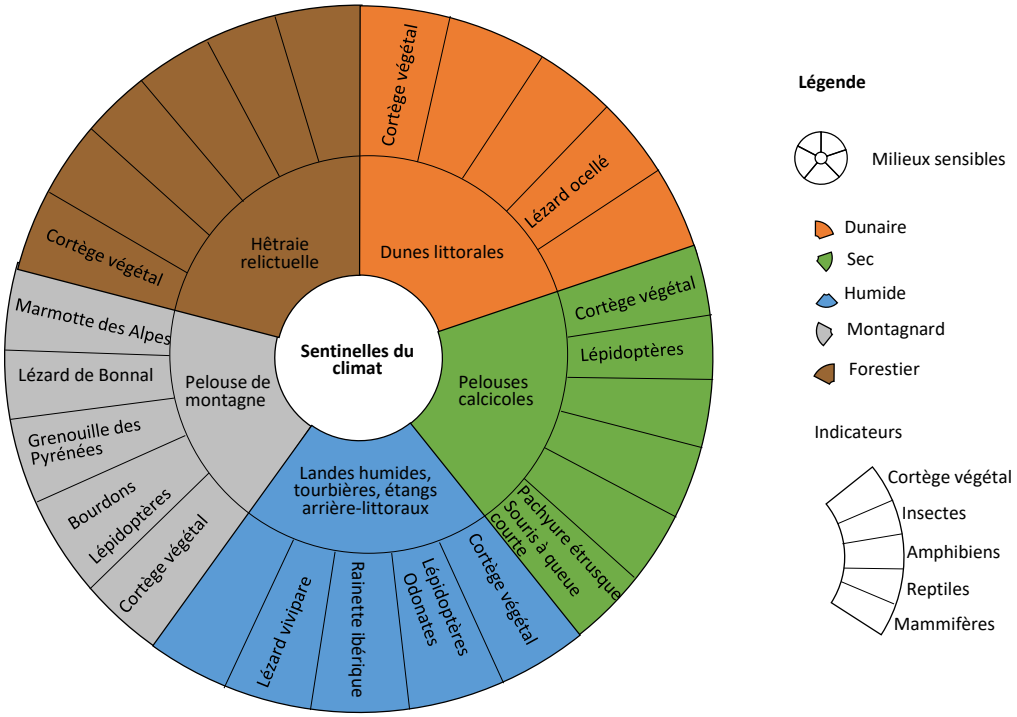


Fig. 1. Espèces ou groupes d'espèces sentinelles en région Nouvelle-Aquitaine.

1.2 Démarche de recherche des indicateurs climatiques et biologiques

Les indicateurs ont été identifiés en collaboration avec les acteurs du territoire : Conservatoire Botanique National Sud-Atlantique (CBNSA), Cistude Nature, Conservatoire d'espaces naturels d'Aquitaine (CEN Aquitaine), David Genoud DGe, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA). Suite à des échanges entre ces partenaires, les indicateurs de cortèges végétal et animal ont été développés par type d'écosystème. Pour chaque indicateur, la démarche de recherche (à savoir : problématique, hypothèse, objectif), est présentée dans le tableau suivant qui donne les éléments clés du choix des espèces ou groupes d'espèces indicateurs (Tab. I).

Tab. I. Démarche de recherche pour chaque indicateur climatique et biologique par taxon.

Indicateur	Problématique	Hypothèse	Objectif
Climatologie et écologie			
Température, humidité, vitesse du vent, pluviométrie, radiation solaire	Quelle est la réponse climatique prévisionnelle des différents types d'écosystèmes naturels face au changement climatique ?	Les réponses climatiques spécifiques des milieux catégorisés « secs » et « frais » agissent sensiblement sur la réponse des éléments biologiques de ces milieux.	Mettre en place un réseau de stations météorologiques des sites d'étude pour leur suivi climatique Suivre l'évolution de l'état de deux types extrêmes de milieux dans le temps et dans l'espace Etablir un lien entre la pression du changement climatique et la réponse aux différentes échelles des systèmes écologiques, encadrer ce lien d'incertitudes pour son extrapolation
Botanique			
Végétation dunaire	Quelles sont les évolutions de la répartition, de la composition floristique et de la structure végétale dans le temps et dans l'espace face au changement climatique ?	Progression des cortèges d'espèces thermophiles Recul de cortèges sous l'action de l'érosion ou de la sécheresse (dune embryonnaire, mares arrière-dunaires)	Suivre la répartition dans le temps et dans l'espace de l'ensemble des végétations dunaires : Taxons et communautés thermophiles. Taxons de dunes embryonnaires et de mares arrières-dunaires. Humidité atmos. / Température (+ Vitesse des vents)
Végétation des pelouses calcicoles		Enrichissement en espèces xéro-thermophiles méditerranéennes. Recul de cortèges de taxons vivaces au profit de taxons annuels. Progression des communautés thérophytiques.	Suivre la répartition, la composition floristique et la structure des pelouses sèches dans le temps et dans l'espace : Cortège des pelouses très sèches (Xerobromion erecti). Cortège de pelouses thérophytiques (Trachynion distachyae). Recouvrement des taxons annuels. Surface cumulée des pelouses en Nouvelle-Aquitaine (photo-interprétation)
Végétation des lagunes		Glissement des cortèges vers le centre de la lagune Recul des végétations strictement aquatiques et amphibies et atterrissement des lagunes Régression d'espèces d'affinités boréales	Suivre la répartition et la composition floristique dans le temps et dans l'espace des végétations de lagunes : Cortège des communautés amphibies oligotrophes (Elodo-Sparganion) et aquatiques (Hydrocharition morsus-ranae)

Indicateur	Problématique	Hypothèse	Objectif
Végétation des étangs-arrière littoraux		Glissement des cortèges vers les plus bas niveaux. Recul des végétations strictement aquatiques et amphibies et assèchement des marges. Régression des espèces d'affinités boréales.	Suivre la répartition et la composition floristique dans le temps et dans l'espace des végétations des étangs arrière-littoraux: Cortège des communautés amphibies oligotrophes (Elodo-Sparganion) et gazons subaquatiques (Lobelion dortmannae)
Végétation des landes humides et tourbières acides		Raréfaction et disparition des taxons d'affinités boréales. Recul des systèmes landicoles humides au profit de systèmes plus secs et moins oligotrophes.	Suivre la composition floristique et la structure des landes humides et tourbières dans le temps et dans l'espace : Cortège des landes humides et mésohygrophiles (Ulici-Ericenion) ; Cortège des tourbières et bas marais acides (Oxycocco-Ericion et Rhyncosporion fuscae)
Végétation des hêtraies relictuelles de plaine		Raréfaction et disparition des taxons typiques de hêtraies. Mauvaise voire absence de régénération des hêtres. Fragmentation accrue, dépérissement et régression des habitats à hêtre.	Suivre la chorologie, la composition floristique et la structure des forêts à hêtre d'Aquitaine dans le temps : Cortège floristique de hêtraies (affinités montagnardes) ; Régénération et croissance du hêtre

Indicateur	Problématique	Hypothèse	Objectif
Végétation de montagne		Remontée en altitude et/ou disparition des taxons cryophiles. Disparition des cortèges d'espèces liés à la couche neigeuse.	Suivre la phénologie, la composition floristique et la structure des végétations montagnardes dans le temps : Cortège floristique cryophiles des étages montagnard à nival ; Phénologie des espèces
Entomologie			
Lépidoptères de pelouses calcicoles Lépidoptères de landes humides	Quelle est la réponse prévisionnelle des populations de lépidoptères de pelouses calcicoles et des landes humides face au changement climatique?	Evolution spatio-temporelle du cortège de lépidoptères (diversité alpha, gamma, bêta)	Déterminer les effets spatio-temporels potentiels du changement climatique sur les populations de Lépidoptères Identifier différents scénarios de distribution future des espèces et de structure des assemblages
Azuré des mouillères	Quelle est la réponse prévisionnelle des populations de Maculinea alcon écotype alcon au décalage de la floraison de sa plante-hôte Gentiana pneumonanthe liée à un changement climatique ?	Décalage de la période de floraison de Gentiana pneumonanthe variable selon la zone géographique et le contexte (montagne / plaine, etc.). Ce décalage va avoir un impact qualitatif (date de ponte, positionnement des œufs sur des parties « non viables » de la plante) et quantitatif (nombre d'œufs pondus) sur les pontes de Maculinea alcon.	Déterminer les impacts potentiels du changement climatique sur la phénologie de Gentiana pneumonanthe Evaluer les conséquences des modifications phénologiques de Gentiana pneumonanthe sur les populations de Maculinea alcon

Indicateur	Problématique	Hypothèse	Objectif
Odonates des lagunes	Quelle la réponse prévisionnelle du cortège des odonates des lagunes face au changement climatique ?	Evolution spatio-temporelle du cortège des odonates Les espèces en limites d'aire de répartition ou d'affinités boréo-montagnardes seront plus impactées	Déterminer les impacts potentiels du changement climatique sur le cortège odonatologique des lagunes. Identifier différents scénarios de répartition des espèces et de structure des assemblages
Bourdons de montagne	Quelles modifications des communautés de bourdons (groupe fonctionnel relique glaciaire avec taxons euryèces et sténoèces) à l'évolution climatique et aux évènements associés	Evolutions spatiales du cortège des bourdons (diversité alpha, gamma, bêta) à l'échelle d'un gradient d'altitude (Remontée et disparition des alpino-arctiques, colonisation des planitiaires-collinnéenes)	Mesurer le positionnement dans la niche montagnarde / sténoèces vs euryèces Obtenir et affiner un cortège ou pattern de peuplement (populations ?) local (es?) = image cortège assemblage/abondance et évolution Faire un zoom sur sténoèces ou euryèces (oligolectiques, inquilines, stratégie à émergence printanière, stratégie à émergence estivale, bivoltine/monovoltine, populeuses vs peu populeuses, colonisatrices, modification eco-morphologique (adaptation))
Lépidoptères de montagne	Quelle est la réponse prévisionnelle des populations de Lépidoptères montagnards et de Parnassius apollo notamment face au changement climatique?	Evolution spatio-temporelle du cortège de lépidoptères et disparition de certaines stations de Parnassius apollo	Déterminer les impacts potentiels du changement climatique sur les populations de Lépidoptères montagnards Identifier différents scénarios de répartition des espèces et de structure des assemblages
Herpétologie			
Lézard ocellé	Espèce thermophile qui colonise la quasi-totalité du milieu dunaire Habitats préférentiels en dune grise : milieu fragile (érosion, vague submersion, etc.) Quelle est la réponse du Lézard ocellé à la perte de son habitat préférentiel ?	Mouvement et extinction locale possible des populations suite à la disparition de stations remarquables Adaptation écophysiologique jusqu'à un certain seuil	Tendance évolutive de la répartition et abondance sur un gradient nord et sud et Est et ouest Mortalité des individus en fonction des variations climatiques

Indicateur	Problématique	Hypothèse	Objectif
Rainette ibérique	Habitats préférentiels de type lagune et landes humides : milieu fragile (assèchement, etc.) Quelle est la réponse de la Rainette ibérique à la perte de milieu frais et à la compétition avec la Rainette méridionale ?	Extinction locale possible des populations suite à la disparition de stations remarquables Rapport de force en faveur de la Rainette méridionale	Tendance évolutive de la répartition et abondance de la Rainette ibérique en lien avec d'éventuelles variations climatiques Evolution de la syntopie entre l'espèce Rainette ibérique et l'espèce Rainette méridionale en expansion
Lézard vivipare	Affinité climatique fraiche : en plaine, inféodé au massif landais Quelle est la réponse du Lézard vivipare à la perte de milieu frais ?	Extinction locale possible des populations suite à la disparition de stations remarquables	Tendance évolutive de l'occurrence du Lézard vivipare en lien avec d'éventuelles variations climatiques
Grenouille des Pyrénées	Grenouille des Pyrénées : espèce endémique de l'ouest des Pyrénées. Un des amphibiens les plus rares de France. Espèce torrenticole : reproduction dans les torrents frais et oxygénés de moyenne montagne. Quel est l'impact sur la reproduction de la Grenouille des Pyrénées de l'augmentation des épisodes de variations hydriques extrêmes et de la diminution de neige en hiver?	Mortalité des têtards : Baisse de la survie et déplacement des têtards par l'augmentation de crue violente vers un milieu non adapté et augmentation du risque de prédation Perte d'apport d'eau dans le torrent en hiver par la fonte des neiges	Suivi du nombre de têtards dans les torrents et évaluation de la survie des populations

Indicateur	Problématique	Hypothèse	Objectif
Lézard de Bonnal et lézards gris	Lézard de Bonnal : espèce endémique des Pyrénées. Un des reptiles les plus rares de France. Cantonné entre 1700 et 2400 m. Lézard catalan : espèce d'affinité ibérique. Pénètre en France par les secteurs bas des Pyrénées. Strictement rupestre dans le nord de son aire. Deux espèces souvent en compétition avec le Lézard des murailles. Quelle influence du changement climatique sur la répartition fine des espèces ?	Contraction de l'aire de répartition chez le Lézard de Bonnal Extension de l'aire de répartition chez le Lézard catalan	suivi du décalage de répartition de ces espèces le long d'un gradient altitudinal et du point d'interface de chevauchement du Lézard de Bonnal/Lézard des murailles et Lézard catalan/Lézard des murailles
Mammalogie			
Marmotte des Alpes	Dans les Alpes, 20 ans d'étude ont montré que le réchauffement climatique impactait le succès reproducteur des femelles de Marmotte des Alpes, est-ce le cas dans les Pyrénées ?	La population pyrénéenne de marmotte subit la même action négative du changement climatique que dans les Alpes	Réaliser un suivi de la reproduction de la marmotte dans les Pyrénées en adaptant le protocole alpin
Pachyure étrusque et Souris à queue courte	Quelle sera la réaction de deux espèces de petits Mammifères d'affinité méditerranéenne, face au réchauffement climatique ?	Réchauffement climatique donc extension des aires de répartition et augmentation de l'abondance/densité	Quantifier l'extension des aires de répartition et l'abondance/densité des deux espèces en Nouvelle-Aquitaine via l'analyse de pelotes de réjection

Ces indicateurs sont la base du programme d'étude « les sentinelles du climat » pour contribuer à une analyse à long-terme des effets du changement climatique sur la biodiversité à l'échelle d'une région, la Nouvelle-Aquitaine. L'originalité intrinsèque de ce programme réside dans le suivi multi-écosystèmes, multi-espèces dans le temps et à l'échelle de la région. En conséquence, il relie différentes disciplines scientifiques d'études et il facilite l'analyse et la circulation multi-publics des connaissances acquises. Cette recherche action est coordonnée par Cistude Nature, soutenue par le Comité AcclimaTerra, accompagnée de nombreux partenaires (Conservatoire Botanique National Sud-Atlantique, Conservatoire d'Espaces Naturels d'Aquitaine, David Genoud DGe, Université de Bordeaux Montaigne, Université de Pau & Pays de l'Adour). A notre connaissance, il n'existe pas actuellement d'équivalent en France de programme sur le suivi du changement climatique et de la biodiversité rassemblant des compétences, des acteurs et des chercheurs de plusieurs disciplines dans une région. L'échelle d'étude met en cohérence les acteurs du territoire. Les méthodes et modèles développés dans ce programme, mis en œuvre, pourraient être une référence de discussions et généralisés au niveau national. L'objectif de mise en œuvre pratique avec une méthode de base de réflexion dite « DPSIR » est d'établir une réponse de protection de la biodiversité plus efficace en définissant mieux les « D-« forces motrices, les « P-Pressions », les « S-états », les « I-Impacts », les « R-Réponses », avec une attention particulière portée à la relation entre l'Homme (public, exploitant, collectivité) et le milieu naturel.

1.3 Structure du rapport

Pour décrire les relations complexes entre la société et l'environnement, un cadre possible de raisonnement est de se baser sur le modèle d'analyse dit «DPSIR» (Driver–Pressure–State–Impact–Responses) pour avoir une méthode pour la compréhension des synergies entre les effets du changement climatique et les processus écologiques (Fig. 2).

Le changement climatique est une composante de pression sur la biodiversité principalement lié à diverses activités anthropiques, dites forces motrices (Fig. 2). Dans ce programme, le suivi de l'état des écosystèmes naturels est réalisé en fonction de la présence d'espèces animales ou végétales qui y vivent et qui sont soumises à des pressions, dont l'évolution du climat. Les espèces sont considérées par les fonctions qu'elles assurent au sein de l'écosystème. Les recherches sur le changement climatique sur le terrain sont essentielles pour alimenter en complément des expériences de laboratoires ou des « modèles » d'évolution des espèces, des modèles mathématiques physiologiques et fonctionnels (Li *et al.*, 2013). Il s'agit également de comprendre la relation entre les variations climatiques et la réponse de la biodiversité. La confrontation sur le terrain augmente les connaissances et les données disponibles sur les milieux naturels et elle permet d'enrichir, et de valider les modèles. Les études à long terme des populations naturelles sont généralement considérées comme indispensables. Les observations directes devront s'effectuer sur des périodes de plusieurs décennies. Une période d'observation minimale de deux décennies est recommandée pour les espèces végétales (Bertin, 2008). La mise en place de protocoles de suivis des indicateurs climatiques et biologiques standardisés et adaptés à la problématique du changement climatique est nécessaire.

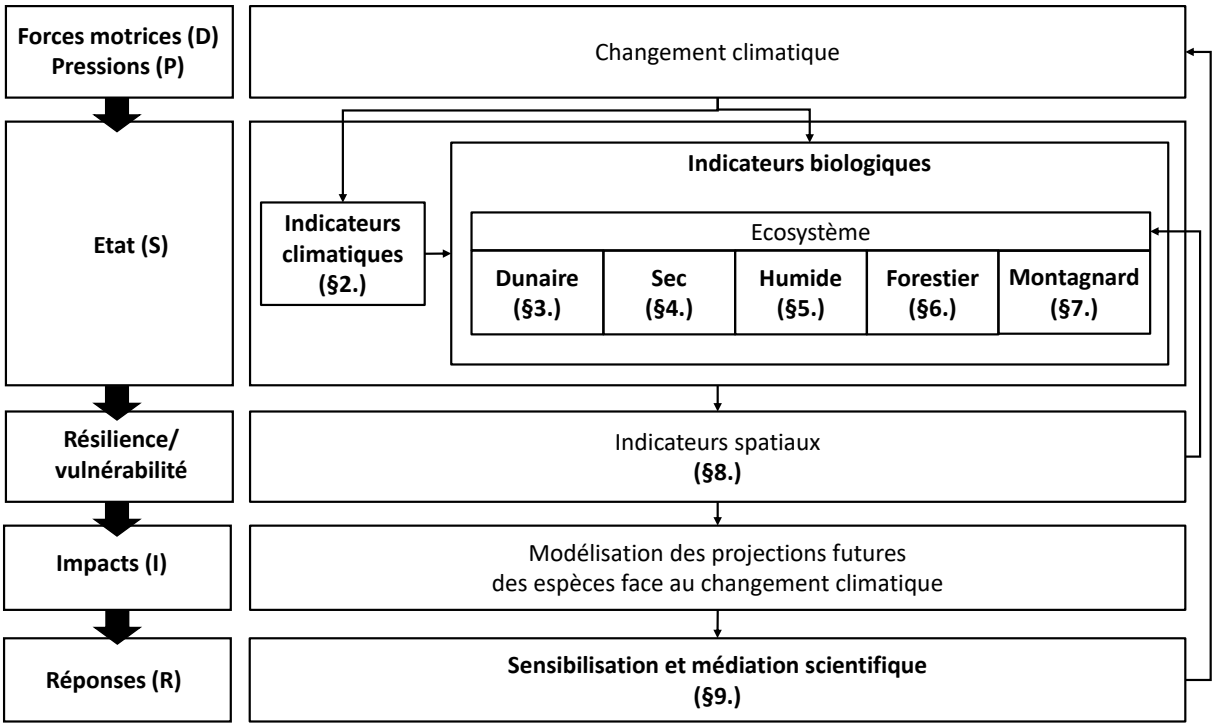


Fig. 2. Structure du rapport dans le cadre DPSIR (en gras les parties du rapport).

Dans ce cadre, ce rapport présente les protocoles de suivis des indicateurs climatiques (§2.) et les 18 indicateurs biologiques du changement climatique dans les différents écosystèmes de la région Aquitaine : dunaire (§3.), sec (§4.), humide (§5.), forestier (§6.), montagnard (§7.)

(Fig. 2). Pour chaque indicateur, le plan d'échantillonnage pose la définition des critères de sélection et la description des sites d'études. Pour chaque site, le positionnement des points d'échantillonnages et les méthodes de relevés sont explicités et spécifiques à la problématique du changement climatique. Les conditions météorologiques locales seront relevées afin de prendre en compte d'éventuels biais microclimatiques lors des observations. Une première campagne de terrain en 2016 a permis la mise en place et le test des protocoles. Un plan d'analyse donne les premiers résultats exploratoires. Cette campagne de terrain est une première étape à la mise en place de protocoles standardisés qui seront ajustés et optimisés jusqu'en 2021 pour élaborer des suivis scientifiques robustes à long terme.

Les sites d'étude choisis pour les suivis d'indicateurs biologiques sont à relier à un contexte paysager associé à des effets d'autres facteurs anthropiques. Il s'agit ici d'établir une première réflexion pour discerner la réponse des indicateurs biologiques au changement climatique des autres facteurs anthropiques. Une méthode est de s'appuyer sur des indicateurs spatiaux permettant de replacer ces écosystèmes dans l'espace en étudiant leur taux de dégradation et les échanges entre les systèmes voisins dans le paysage (§8).

L'ensemble des données, des informations ainsi déterminées par les protocoles de suivis et agrégées conduit à des caractérisations couplées, pressions, états et impacts. Cela permet d'alimenter le transfert d'informations vers les acteurs de forces motrices (industriels, exploitants de ressources, politiques, enseignants,...) qui sont les sources de propositions pour mettre en œuvre une gestion, pour appliquer des éléments de réponses dans des politiques environnementales volontaires et avec l'acceptation du public. La dernière partie de ce rapport présente les actions de médiation et de sensibilisation mises en place pour procéder au transfert d'informations et rendre disponible la connaissance auprès du plus grand nombre (§9.) (Fig. 2). Le grand public peut également devenir acteur dans l'acquisition de données, dans le traitement de connaissances scientifiques indispensables à la conservation de la biodiversité par le canal des sciences participatives. Ces données collectées par le public permettent l'accès à des informations nombreuses sur un large territoire. Cette masse de données est complémentaire aux données des scientifiques et déterminante pour mieux saisir les changements de l'environnement.

2. Indicateurs climatiques et environnementaux

Rédaction : Fanny Mallard

Le climat joue un rôle fondamental dans la répartition et la vie des êtres vivants. Il est caractérisé par plusieurs facteurs : température, précipitations, humidité, vent, lumière,... Ces facteurs sont à relier à la théorie de la hiérarchie des niveaux d'organisation (BUREL & BAUDRY, 1999) des systèmes écologiques à l'échelle du globe (zone climatique–biome/peuplement), de la région (macroclimat–écosystème/communauté), de la localité (méso climat–habitat/population) ou de l'individu (microclimat–environnement immédiat/organisme) (FAURIE *et al.*, 2011 ; MALLARD, 2014). Des approches mixtes sont alors nécessaires pour étudier l'effet du changement climatique sur la biodiversité. Les prévisions de l'évolution du climat à l'échelle de la planète avec des modèles statistiques permettent un niveau de détail limité. Les résultats doivent être affinés à des domaines spécifiés (LE TREUT, 2013). Les différentes zones géographiques connaîtront des intensités variables du changement climatique (GIEC, 2013). Elles renferment des espèces avec des sensibilités différentes à la pression des modifications climatiques (BERTIN, 2008 ; LI *et al.*, 2013). Au cours des dernières années, de nombreuses études ont abordé les effets du changement climatique sur l'avenir de la biodiversité. Trois effets des impacts du changement climatique sur les systèmes écologiques ont déjà été observés et sont reconnus au niveau international : changements d'aire de répartition, de la physiologie et de la phénologie (MALLARD, 2016).

2.1 Systématique climatique et écologique

Zones climatiques – À l'échelle du globe, les grandes zones climatiques de l'équateur vers les pôles, sont les suivantes : zone à climat équatorial, tropical, subtropical, tempéré, subpolaire et polaire (FAURIE *et al.*, 2011).

La France est en zone tempérée. D'ici 2100, l'augmentation de la température moyenne se retrouvera dans une gamme comprise entre 3,4°C et 3,6°C en hiver, et 2,6°C et 5,3°C en été, selon les scénarios utilisés. L'augmentation de température sera également associée à une forte augmentation du nombre de jours de vagues de chaleur en été, des épisodes de sécheresse au sud du pays, du taux de précipitations extrêmes et à une diminution des extrêmes froids sur l'ensemble du territoire (OUZEAU *et al.*, 2014). Cette zone contient une grande richesse botanique liée à la diversité de climats, de reliefs et de types de sols, qui en font une zone d'étude avec une grande diversité d'écosystèmes naturels (GADANT, 2002) fermés, ouverts, aquatiques et terrestres bien documentés : forêts, prairies, landes, milieux méditerranéens, zones humides et écosystèmes aquatiques (MALLARD, 2014). Cette biodiversité diversifiée est potentiellement impactée par le changement climatique.

Climat régional ou macroclimat – A l'intérieur de ces grandes zones, les conditions climatiques ne sont pas uniformes. Sous le climat tempéré de la France, plusieurs régions climatiques sont distinguées à l'échelle des climats régionaux ou macroclimats (FAURIE *et al.*, 2011).

La région Nouvelle–Aquitaine fait partie de la zone climatique océanique et de montagne. C'est une des régions où le réchauffement climatique sera parmi le plus important en France.

Cette région du sud-ouest fera certainement face à des sécheresses estivales récurrentes dans les décennies à venir, un réchauffement général marqué par des vagues de chaleur plus nombreuses et un accroissement possible des épisodes de pluie intense en été. Les évolutions moyennes sont généralement caractérisées par des vents hivernaux moins violents et des vents d'été éventuellement plus violents car associés à des tempêtes d'origine convective. À la différence des situations hivernales, le mécanisme qui peut amplifier les circulations atmosphériques d'été est connu : il s'agit de la condensation de la vapeur d'eau. Il s'agit de risques fortement étayés, mais pas de prévisions certaines. L'Aquitaine, avec sa très longue façade maritime sera également particulièrement sensible au relèvement moyen du niveau de la mer. Un relèvement de quelques dizaines de centimètres est anticipé pour la fin de ce siècle (Le Treut, 2013).

L'augmentation des niveaux des données climatiques (3-4°C) sont à rapporter au domaine du vivant sauvage qui se situe entre 10°C et 35°C. Dans ce programme un partenariat avec Météo France est en cours de développement et permettra de travailler sur une relation entre la simulation climatique future avec les projections des modèles de biodiversité. Rappelons que les facteurs climatiques étudiés seront la température, l'humidité relative, la vitesse du vent, les précipitations, la radiation solaire, et, en milieu montagnard, l'épaisseur de la couche de neige. La température et les précipitations représentent les facteurs les plus importants du climat. La température résultante dépend de la nébulosité jouant un rôle de filtre, de la latitude, de l'angle d'exposition du site à ce même rayonnement, de la présence d'une masse d'eau par son inertie, des courants marins (Gulf Stream, Labrador) apportant, prélevant des calories, des caractéristiques de surface du sol (les roches claires renvoient plus de chaleur que les terres sombres), des formations végétales en place (les végétaux amortissant les variations de température). La quantité de précipitations (pluie, neige, brouillard, rosée, etc.) indique la quantité d'eau disponible pour les êtres vivants. L'humidité dépend de plusieurs facteurs, de la quantité d'eau tombée par unité de temps, de la durée soit du nombre de jours de pluie, de la forme de ces précipitations (orage, ou pluie fine), de la température, des vents et de la morphologie de la station considérée. A chaque température, correspond une tension maximale de vapeur d'eau permettant de déterminer l'humidité relative. La vitesse du vent dépend fortement de la nature du terrain, de sa rugosité. La lumière joue un rôle fondamental dans la vie des plantes mais également des animaux par sa durée, son intensité et la qualité de ses radiations. La luminosité dépend de la latitude, de l 'altitude, de la saison, de l'incidence locale des rayons, de la nébulosité, de la nature du substrat et du couvert végétal (Faurie *et al.*, 2011). La période de fonte des neiges est influencée par la température mais également par la quantité de précipitions et d'autres facteurs (Ahas, 1999 ; Burns *et al.*, 2007 ; Hüttich *et al.*, 2007). Le ressenti du vivant est une combinaison de ces facteurs.

Climat local ou mésoclimat – Dans une région climatique, le climat n'est pas le même en tout lieu, les climats locaux sont variables suivant l'altitude et la latitude. Dans le programme, ce climat est défini par les données de stations météorologiques disposées localement sur la plupart des sites observés. Les conditions climatiques sont particulières et résultent notamment de la topographie et du couvert végétal. L'action combinée des facteurs climatiques, et notamment du couple température-humidité, conditionne directement la répartition des espèces végétales et animales et le développement de leurs populations (Faurie *et al.*, 2011). La région Nouvelle-Aquitaine offre des sites d'étude privilégiés par ses écosystèmes diversifiés. Les différents types d'écosystème choisis, dunaire, sec, humide, forestier et montagnard ont des conditions climatiques spécifiques. Le changement climatique augmentera la caractéristique des milieux sec et dunaire, déficitaires en eau

absorbable avec des sécheresses et canicules. Le milieu dunaire est également soumis à l'érosion marine. Le changement climatique induira un déficit hydrique dans les milieux humides. Il dégradera les conditions fraiches du milieu forestier spécifique de hêtraies relictuelles de plaine. Les milieux montagnards seront soumis aux variations amorcées du régime des pluies, aux changements de températures estivales et aux modifications du manteau neigeux (LE TREUT, 2013 ; MALLARD, 2016).

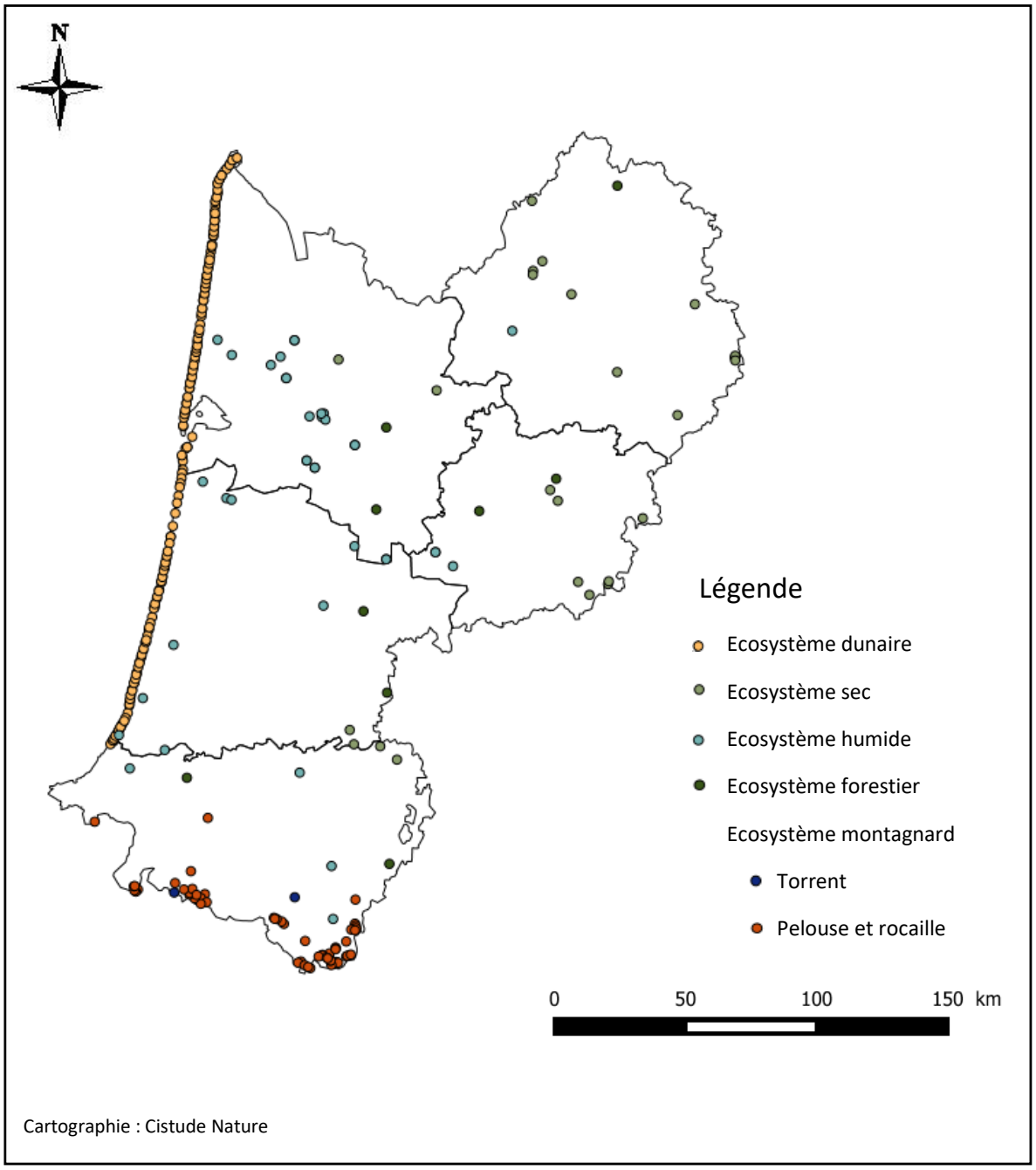
Microclimats – Les conditions climatiques particulières du climat local contribuent à l'étude de la réponse physiologique de l'organisme aux variations climatiques. Plusieurs études en écophysiologie ont souligné l'importance croissante de l'étude de ces réponses y compris leurs limites de tolérance aux changements environnementaux. L'écophysiologie peut contribuer à une vision globale des impacts des changements climatiques sur les organismes, les écosystèmes et leurs réponses évolutives (BOZINOVIC & PÖRTNER, 2015). Diverses approches conceptuelles et de modélisation traitent des questions de réaction thermique en se basant sur les limites de tolérance des organismes (ANGILLETTA, 2009). Dans ce programme, les réponses des individus sont étudiées au moyen de dispositifs expérimentaux sur le terrain en utilisant des sondes, des thermocouples placés dans des modèles biomimétiques permettant d'imiter les propriétés thermiques et hydriques des organismes (SINERVO *et al.*, 2010).

2.2 Mesure des facteurs mesoclimatiques

Les recherches sur le changement climatique sur le terrain alimentent les expériences sur les « modèles » physiques des espèces, et les modèles mathématiques de réponses physiologiques et fonctionnels (LI *et al.*, 2013) mais également pour la compréhension de la relation entre les variations climatiques et la réponse de la biodiversité.

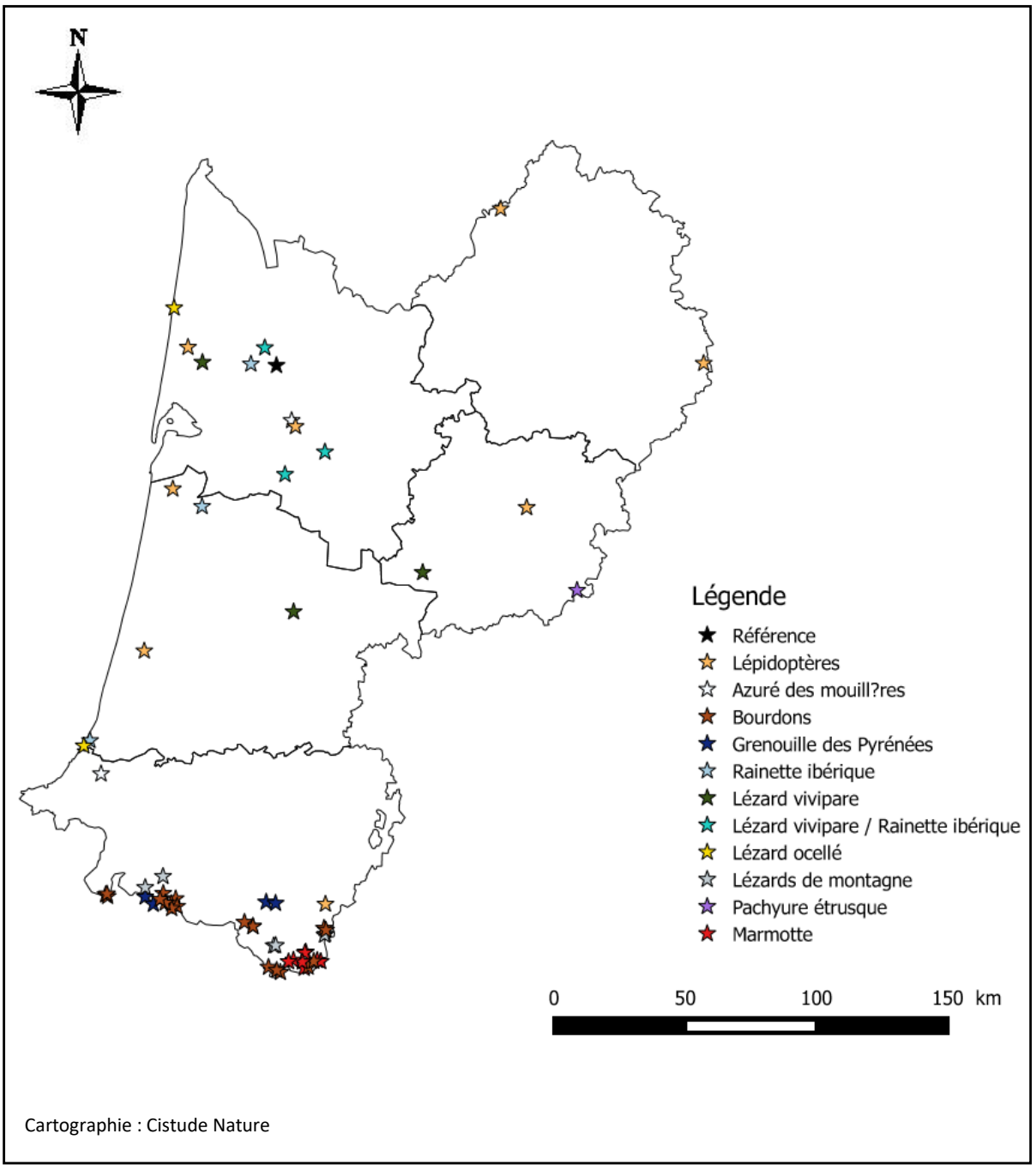
Les facteurs climatiques mesurés sont la température et l'humidité relative sur chaque site d'étude de suivis floristiques et faunistiques. Ces facteurs sont les plus représentatifs et les plus facilement mesurables des conditions climatiques des populations à l'échelle locale. Le matériel de base choisi est l'enregistreur de température/humidité relative externe avec interface USB optique HOBO datalogger U23 Pro V2 (HOBO U23 Pro v2, Hobo®, Onset Computer Corporation, Bourne, MA, USA) et l'abri météorologique HOBO0039 RS1. La station météorologique est une station autonome à faible consommation disposant d'une mémoire suffisante pour enregistrer au minimum une année de suivi. Ce matériel a été utilisé, testé et validé dans le cadre d'étude des effets du changement climatique sur la phénologie des essences d'arbres en zone tempérée européenne (VITASSE *et al.*, 2011). La plage de fonctionnement du capteur U23-002 de température externe est de -40 ° à 70 ° C. La précision est de ± 0,21 ° C de 0 ° à 50 ° C et la résolution 0,02 ° C à 25 ° C. La stabilité (dérive) dans le temps est inférieure à 0.1 ° C par an. La plage de fonctionnement du capteur d'humidité relative U23-002 est de 0-100% HR, -40 ° à 70 ° C. la précision est ± 2,5% de 10% à 90% HR, avec un maximum de ± 3,5% et une résolution de 0,03%. La stabilité (dérive) est inférieure à 1% par an. La plage de fonctionnement du logger est de -40 ° à 70 ° C. L'horloge en temps réel est de ± 1 minute par mois de 0 ° à 50 ° C. La batterie 1/2 AA, 3.6 Volt lithium est autonome pour une utilisation standard pendant maximum 3 ans avec un intervalle d'enregistrement de 1 minute ou plus. La mémoire est de 64 Ko (environ 21 000 mesures de température et d'humidité relative). Les sondes et l'enregistreur sont résistants à la submersion brève et à la pluviométrie.

Les mesures en température et humidité seront déployées dans chaque station (plus d'une centaine de site). En 2016, 60 sites ont été équipés (Fig. 1 – Fig. 2). Une station météorologique de référence a été positionnée sur le site de Cistude Nature, coordinateur du programme les sentinelles du climat (Annexe 1). En 2017, l'ensemble des sites sera équipé sur l'Aquitaine et une partie sur la Nouvelle-Aquitaine.



Sites de suivis des sentinelles du climat validés en 2016

Fig. 1. Sites de suivis des sentinelles du climat validés en 2016.



Sites équipés en stations météorologiques en 2016

Fig. 2. Sites équipés en stations météorologiques en 2016.

Dans chaque site, les capteurs sont installés à 1,10 m–1,30 m au-dessus du sol (Fig. 3) à proximité des points d'échantillonnage des populations (milieu ouvert, lisière,...) et à l'abri des regards pour éviter les éventuelles dégradations, à une distance maximum de 100 m, à la même altitude. Cette hauteur est choisie pour représenter en moyenne les conditions environnementales de vie de l'ensemble des populations des espèces suivies. Pour éviter toute exposition à la pluie et à la lumière directe du soleil, les capteurs sont protégés par un abri constitué de couches de plastique blanc, espacées les unes des autres pour permettre une bonne circulation de l'air (Annexe 2). Les supports de fixation sont des poteaux en acacia pour les sols meubles et épais, l'utilisation d'arbre isolé à étêter sur des sols durs et des piquets en

acier encastrés entre de gros rochers pour les milieux montagnards. La face de la station météorologique est positionnée de la même manière sur chaque site orientée sud permettant d'éviter des variations liées à l'ombre du piquet de fixation (Annexe 3). Les données sont enregistrées toutes les heures toute l'année soit 17520 données de température et humidité par station météorologique. Tous les capteurs sont inter-calibrés avant l'installation sur le terrain. 60 enregistreurs ont été calibrés le 07/05/2016 à 1:00 AM.

Fig. 3. Station météorologique sur un site d'étude du programme les sentinelles du climat en pelouse calcicole.

Le suivi du réseau des stations météorologiques est basé sur les normes de l'Organisation météorologique mondiale appliquée par Météo France. Il concerne les éventuelles dégradations naturelles ou anthropiques, les défauts de fonctionnement, les conditions du milieu (photo nord-sud-est-ouest), le changement des piles, l'entretien de fixation et la récupération des données. Une navette de transport de données 4 Mo – U-DTW-1 – Hobo sera utilisée afin de récupérer les données de manière pratique dans les conditions difficiles sur le terrain comme par exemple en milieu montagnard.

Pour l'analyse des données climatiques, une première étape est de réaliser un test de contrôle des données pour écarter de l'analyse d'éventuelles données biaisées par exemple par l'entretien de la station météorologique ou d'éventuelles dégradations. Ce test sera basé sur les méthodes de contrôle réalisées par Météo France. Dans une deuxième étape, le logiciel d'exploitation utilisé est HOBOWARE PRO V3.0.X LOGICIEL. Il permet de visualiser les séries Température/Humidité en fonction du temps (Fig. 4). Dans une dernière étape, les moyennes mobiles à retenir des données (jour, mois) seront calculées et mises en relation avec les données naturalistes et pourront être exploitées par des modèles thermiques ou hygroscopiques adaptés.

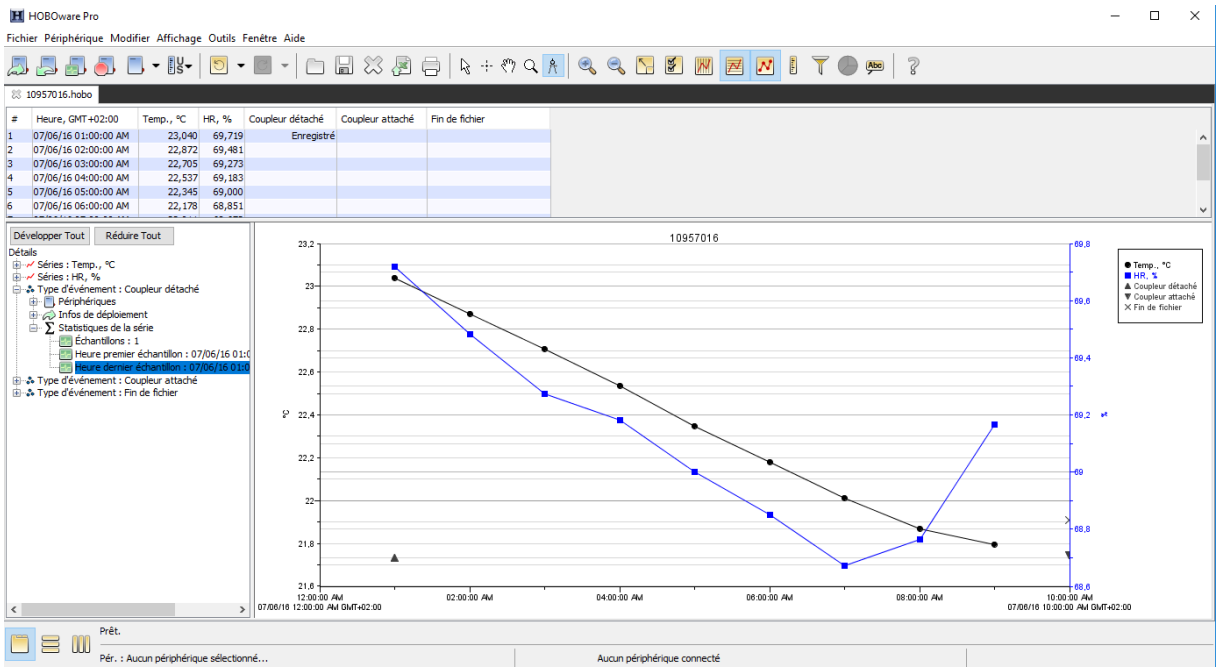


Fig. 4. Illustration des séries température et humidité dans le logiciel HOBOWARE PRO V3.0.X.

En 2016, les 60 sites d'étude ont été équipés en fonction de l'opportunité d'accords des propriétaires pour la pose des stations météorologiques. En 2017, environ une centaine d'autres sites d'étude seront également accessoirisés de stations et permettront d'obtenir un réseau complet de suivi sur tous les sites aquitains. Cette première année 2016 est également l'occasion de contrôler le maintien des stations dans des milieux extrêmes en montagne et des milieux fréquentés par le public. Une organisation de la récupération des données de ce réseau sera mise en place en partenariat avec l'ensemble des chargés d'étude de suivi floristique et faunistique.

La mise en place d'un partenariat avec Météo France permettra d'obtenir des données historiques climatiques qui seront mis en relation avec les données naturalistes disponibles. L'ensemble de ces données historiques et des relevés pendant la durée du programme alimenteront les modèles de projections futures des espèces sentinelles du climat sur les sites d'étude et à l'échelle régional. Une démarche globale de modélisation spatiotemporelle des effets du changement climatique sur la biodiversité sera développée peu à peu.

3. Indicateurs biologiques des écosystèmes dunaires

3.1 Végétations des dunes littorales non-boisées

Rédaction : Kévin Romeyer, Anthony Le Fouler, Grégory Caze

Les dunes littorales non-boisées d'Aquitaine hébergent une flore d'une grande patrimonialité avec de nombreuses espèces endémiques (*Hieracium eriophorum*, *Linaria thymifolia*, *Silene uniflora subsp. thorei*). Les végétations dunaires sont adaptées aux conditions extrêmes du littoral (sols xériques et pauvres en nutriments, embruns salés, vents violents, forte insolation). Ces contraintes, s'atténuant du haut de plage à l'arrière-dune, déterminent leur disposition en bandes parallèles successives sur le cordon dunaire. On retrouve ainsi des communautés de sables très mobiles régulièrement remaniées aux communautés de sables fixés, en passant par des communautés hygrophiles à aquatiques à la faveur de dépressions où la nappe affleure (pannes dunaires). Toutefois, l'ensemble de ce système dunaire subi d'importantes perturbations engendrées par l'érosion marine depuis plusieurs décennies (effondrement de dune blanche, disparition de dune embryonnaire). De plus, dans le contexte du changement climatique avec des sécheresses et canicules plus intenses, la composition floristique de ces végétations pourrait changer avec la progression d'espèces thermophiles d'affinités méditerranéennes (LAVOREL & GARNIER, 2002 ; GRILLET *et al.*, 2006 ; VENNETIER & RIPERT, 2010) et la régression d'espèces de pannes dunaires liées à la présence d'eau.

3.1.1 Plan d'échantillonnage

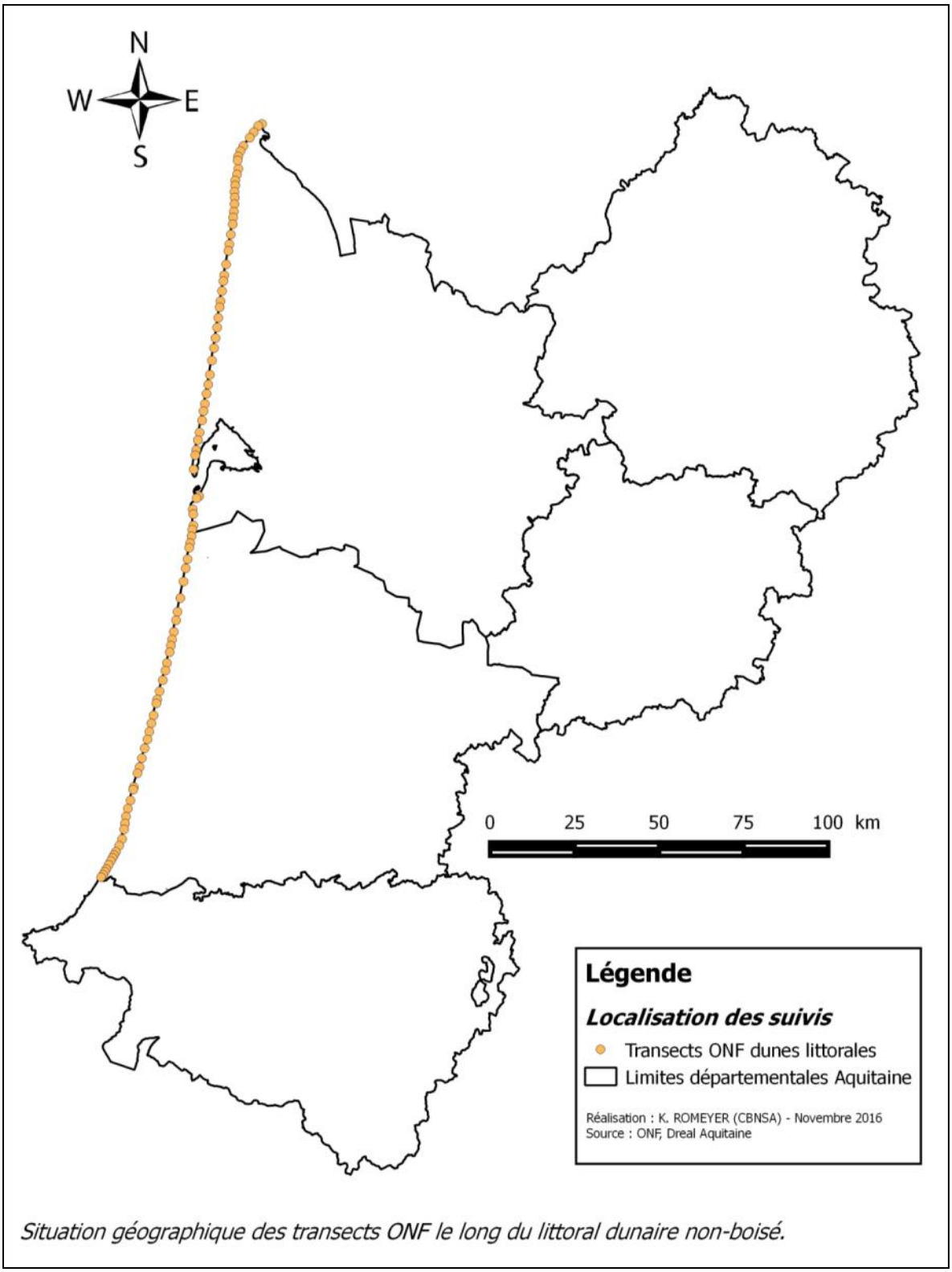
- Sélection des sites

En Aquitaine, le cordon dunaire est continu et s'étend sur près de 230 kilomètres entre la pointe de Grave au nord et l'estuaire de l'Adour au sud. La partie littorale non-boisée est plus ou moins large selon les secteurs, entre 50m et 700m.

Depuis 1997, l'Office National des Forêts (ONF) assure un suivi régulier des végétations dunaires non-boisées afin d'observer la proportion et la répartition des différentes communautés dans le temps et dans l'espace (FAVENNEC, 2002). Dans l'objectif d'un suivi fin et d'une vision exhaustive à l'échelle du cordon dunaire, 97 transects sont positionnés soit un tous les 2 à 3 kilomètres (Fig. 5).

Dans le cadre du programme Sentinelles du climat, cet important réseau de suivi est particulièrement intéressant à exploiter car exhaustif au niveau régional. De plus, il apporte un recul sur ce milieu par la présence de données historiques depuis de nombreuses années (19 ans), avec un état de référence en 2015. Ainsi, il pourra être utilisé en totalité ou en partie afin de mutualiser les dispositifs mis en place en accord avec l'ONF. De plus, cela permettra des analyses diachroniques robustes.

- Description des sites choisis



Situation géographique des transects ONF le long du littoral dunaire non-boisé.

Fig. 5. Situation géographique des transects ONF le long du littoral dunaire non-boisé.

Les caractéristiques des sites de cordon dunaire (communes, statut, gestionnaires, structures de suivi…) seront précisées ultérieurement.

- Définition et positionnement des points d'échantillonnage

Le suivi des végétations dunaires non-boisées en lien avec les évolutions climatiques dans le cadre des Sentinelles du climat reprend les mêmes principes d'échantillonnage que pour le réseau de l'ONF ; c'est-à-dire un système de transect orienté perpendiculairement au cordon dunaire, de la lisière forestière jusqu'au haut de plage.

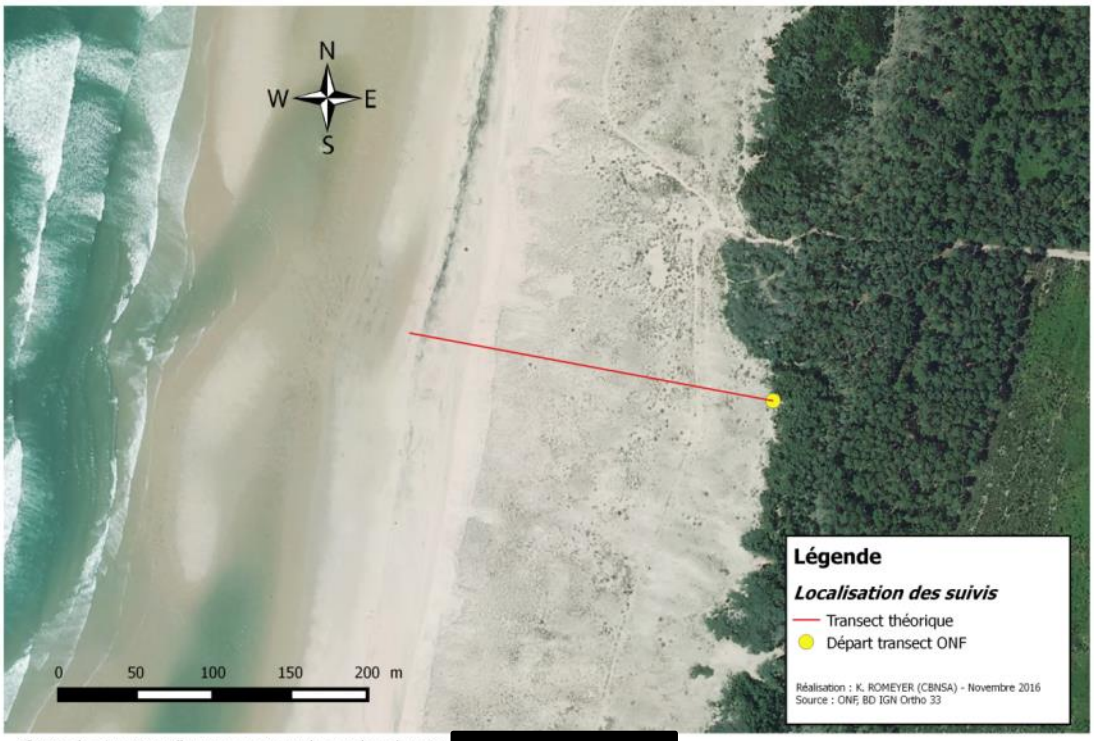
Ce type de dispositif permet à la fois une étude diachronique de la zone de cordon dunaire, pour suivre dans le temps et dans l'espace l'évolution des communautés végétales ; et une étude synchronique pour décrire l'organisation spatiale et la composition floristique des groupements (LAFON *et al.*, 2015a).

La répartition spatiale des communautés végétales étant surtout expliquée par les gradients topographiques et de contraintes (embruns salés, dépôts sableux), le transect est placé en répondant aux critères suivants :

- Départ du transect au niveau de la lisière forestière (fourrés littoraux);
- Transect perpendiculaire au cordon selon un azimut prédéfini ;
- Dans l'objectif d'un suivi à moyen/long terme (plusieurs décennies) et afin d'assurer la relocalisation précise et la pérennité du dispositif, le point de départ du transect est géo référencé par ses coordonnées GPS. La forte érosion marine s'opérant dans certaines zones entraîne une migration et un décalage des communautés végétales vers l'est. Dans l'objectif de suivre à chaque lecture toutes les communautés de dunes non-boisées, le point de départ du transect est redéfini au niveau de la nouvelle zone de lisière forestière. Le cordon dunaire étant un milieu en perpétuelle évolution topographique, une matérialisation de transect par des repères fixes peut s'avérer inutile dans certaines zones car trop éphémère. Le temps de la lecture, le transect est matérialisé à l'aide d'un topofil tendu au ras du sol.

La localisation du point de départ du transect est rapide une fois sur le site, à l'aide d'un GPS et avec les coordonnées précises du point. La durée de lecture du transect dépend de sa longueur et de la diversité des communautés ; elle peut être estimée autour de 2h à 3h.

Les caractéristiques de chaque transect ONF sur le cordon dunaire (dénomination, longueur, coordonnées GPS et azimuts) ainsi que toutes les cartes de localisation seront précisées dans un futur rapport. Un exemple de situation est présenté ci-après (Fig. 6 et Fig. 7).



Carte de situation d'un transect sur le cordon dunaire [redacted]

Fig. 6. Exemple de situation des transects sur le cordon dunaire (fond IGN BD Ortho).

[redacted]

Fig. 7. Exemple de situation des transects sur le cordon dunaire (fond IGN Scan25).

• Méthodes de relevés et détermination des espèces

La méthode de suivi des végétations dunaires développée par l'ONF consiste à relever et renseigner, par transect :

- L'ensemble des espèces végétales présentes à travers l'approche des communautés végétales ;
- Les conditions stationnelles (topographie, comportement du sable) rencontrées ;
- La largeur occupée par les différentes végétations ou habitats dunaires.

Dans le cadre du programme Sentinelles du climat, cette méthode apparaît pertinente pour suivre l'évolution des végétations en lien avec le changement climatique. En effet, elle permet une détection relativement fine des variations de composition floristique localement et donc un suivi exhaustif de la chorologie des espèces le long du littoral dunaire à travers le nombre conséquent de transects.

Pour mener ce travail, c'est la phytosociologie sigmatiste qui est retenue car basée sur une démarche rigoureuse et éprouvée, dotée d'un référentiel structuré et régulièrement mis à jour.

Le relevé phytosociologique consiste en la réalisation de relevés floristiques exhaustifs effectués sur une surface de végétation physionomiquement, écologiquement (exposition, pente, substrat, luminosité, etc.) et floristiquement la plus homogène possible. La surface optimale ou aire minimale est un compromis entre une surface suffisamment homogène et une surface représentative du type de milieu. Des coefficients dits d'abondance-dominance de Braun-Blanquet sont attribués à chaque espèce pour indiquer son recouvrement au sein de chaque strate de la placette. Enfin, la date, l'observateur, la localisation (point GPS, lieu-dit), les caractères généraux de la station (pente, exposition, altitude, topographie, substrat, etc.) et de la formation végétale inventoriée (trophie, physionomie, etc.), accompagnés d'une description brève (ex : Pelouse à immortelle sur sables semi-fixés) sont renseignés (Annexe 4).

Ainsi, un relevé phytosociologique est réalisé au sein de chaque communauté végétale (pelouse annuelle, pelouse vivace, ourlet, fourré) présente dans le long d'un transect. Ces relevés sont rattachés, directement ou a posteriori, à un syntaxon existant ou à définir dans le référentiel phytosociologique.

La prise de photo est conseillée pour une aide à l'interprétation et garder une vision du site lors des différentes lectures.

En pratique, l'observateur part de la frange forestière où figure le point de départ du transect, et chemine le long du transect selon un azimut prédéfini de sorte que le transect soit perpendiculaire au cordon dunaire. Il effectue alors des relevés phytosociologiques sur des stations circulaires de l'ordre de 100 m² à chaque nouvelle communauté rencontrée (Fig. 8). La distance entre relevés ne doit pas dépasser 30 mètres, même lorsque le milieu est homogène. L'observateur enregistre également au fur et à mesure la « distance » de chaque relevé au point de départ à l'aide d'un topofil.

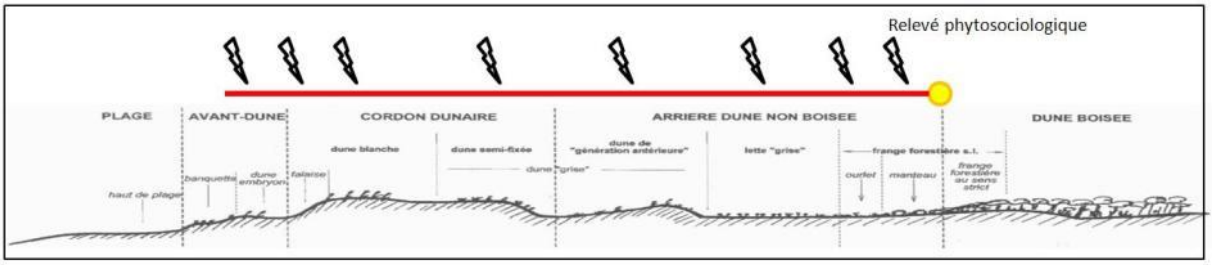


Fig. 8. Schéma du profil topographique dunaire avec répartition théorique des relevés le long d'un transect.

La détermination des espèces végétales non-identifiées peut s'effectuer directement sur le terrain à l'aide d'une flore et d'une loupe (x10 minimum). Dans le cas de critères délicats à appréhender *in situ*, l'identification se fera ultérieurement en laboratoire, avec un matériel adéquat (loupe binoculaire, microscope, etc.), sur des échantillons prélevés si possible hors de la zone d'étude. Concernant les espèces rares ou protégées, la détermination devra se faire autant que possible sur photos ou *in situ* sans prélèvement.

Pour l'étude des végétations dunaires, le champ d'investigation taxonomique concerne uniquement les spermatophytes et ptéridophytes, excluant donc les bryophytes et lichens trop complexes à appréhender. Le référentiel taxonomique suit la version la plus récente de TaxRef (actuellement version 9, (GARGOMINY *et al.*, 2015). Les flores utilisées sont diverses : Flora Gallica (TISON *et al.*, 2014a), Flore du Pays Basque et des régions limitrophes (AIZPURU *et al.*, 1999), Flore de France méditerranéenne continentale (TISON *et al.*, 2014b), Flore descriptive et illustrée de la France, de la Corse et des contrées limitrophes (Tomes 1 à 3) (COSTE, 1901 ; COSTE & FLAHAULT, 1903 ; COSTE & FLAHAULT, 1906).

Pour la mise en place et la lecture des transects dunaires, le matériel requis est le suivant :

- Appareil GPS (GPS submétrique si possible) ;
- Topofil avec mesure de distance (400m minimum) ;
- Boussole ;
- Appareil photo

- Période optimale de suivi

Les végétations des dunes non-boisées connaissent leur optimum phénologique entre début mai et début juillet ; c'est-à-dire la période durant laquelle la majorité du cortège floristique est en floraison. Afin de noter et pouvoir identifier le maximum d'espèces, les inventaires et suivis doivent s'effectuer durant cette période (FAVENNEC, 2002 ; LAFON *et al.*, 2015b).

- Nombre de campagne de relevés

Une seule campagne de relevés est réalisée pour chaque année de suivi. En effet, la majorité du cortège floristique étant observable dans le cas d'une lecture pendant la période phénologique optimale, la réalisation de plusieurs campagnes n'offre qu'un intérêt limité.

Les végétations dunaires et leur agencement résultent d'un blocage dynamique dû aux contraintes rencontrées sur le littoral ; par définition, elles sont donc très peu dynamiques en absence de perturbations d'origine anthropiques directes (eutrophisation, plantations). En revanche, l'érosion marine rend ces végétations relativement changeantes spatialement. De plus, elles peuvent être impactées en cas d'aléas climatiques extrêmes (forte sécheresse, canicule, etc.) répétés. Pour ces raisons, le délai entre chaque campagne de suivis a été fixé à 6 ans par l'ONF. Les précédentes campagnes ont eu lieu lors des années 1997, 2003, 2009 et 2015, la prochaine est donc prévue pour l'année 2021. Les impacts du changement climatique sur ces milieux intervenant à une échelle de temps assez large, ce délai apparaît raisonnable dans le cadre des Sentinelles du climat étant donné l'historique des données collectées.

- Fiches de relevés

Pour le suivi de ces végétations, une fiche de renseignement par transect est conçue (Annexe 5). Elle reprend les différentes informations à renseigner :

- Localisation et caractéristiques du transect
- Proportion des différentes communautés végétales (largeur)
- Schémas éco-dynamique et du profil topographique
- Relevés floristiques et informations physionomiques

En plus, un bordereau de relevé phytosociologique (Annexe 4) est rempli pour chacune des communautés rencontrées le long du transect.

3.1.2 Discussion et perspectives de suivi

Les protocoles de suivis et les dispositifs d'échantillonnage explicités plus haut permettent de collecter des données floristiques et de végétations relativement exhaustives à l'échelle de l'écosystème dunaire aquitain et ainsi de distinguer les tendances d'évolution avec des variations floristiques dans le temps et dans l'espace. Pour mieux répondre à la problématique du changement climatique, des compléments ou modifications pourront être adaptés en concertation avec l'ONF.

Toutefois, les transects ne prennent en compte que les végétations de la xérosère (sur substrat nu et sec, en biotope xérique) ; hors les communautés humides de dépressions arrière-dunaires (hygrosère) sont également très intéressantes car sensibles aux épisodes de sécheresse intense, peu fréquentes et abritant des espèces patrimoniales (*Liparis loeselii*, *Carex trinervis*). Le CBN Sud-Atlantique propose donc d'étendre les dispositifs de suivi à ces zones de fort intérêt (Fig. 9). En termes de végétation, l'identification des zones de présence de ces communautés (*Hydrocotylo vulgaris – Schoenion nigricantis* de Foucault 2008) s'appuie sur l'étude typologique réalisée par le CBN Sud-Atlantique (Lafon *et al.*, 2015b) et sa base de données flore OFSA (Observatoire de la Flore Sud-Atlantique).

Fig. 9. Situation géographique des zones potentielles de suivi de pannes dunaires.

Concernant la période de suivi, il existe de nombreuses communautés thérophytiques dont l'optimum phénologique intervient entre fin mars et fin mai, soit légèrement décalé par rapport aux communautés vivaces. De même, les communautés de laisses de mer connaissent un optimum décalé puisqu'intervenant entre août et septembre. Ainsi, selon la date de lecture d'un transect, certaines communautés ne pourront pas être contactées ou du moins pas dans leur état optimal. En théorie, 3 campagnes de relevés par an serait donc nécessaires pour dresser un inventaire floristique exhaustif sur un transect.

Dans le cas des végétations dunaires, la modélisation des effets du changement climatique portera sur plusieurs aspects. Tout d'abord, l'enrichissement en espèces xéro-thermophiles aux extrêmes nord et sud du littoral, qui revient à modéliser la nouvelle niche écologique disponible pour ces espèces en lien avec les scénarios climatiques du GIEC (NAKICENOVIC *et al.*, 2000).

Ensuite, la progression/migration des espèces xéro-thermophiles déjà présentes à partir des extrêmes nord et sud vers le centre du littoral, selon le même principe.

Enfin, la régression des espèces de pannes dunaires pourra être évaluée.

3.2 Lézard ocellé

Rédaction : Maud Berroneau

Le Lézard ocellé est une espèce thermophile qui colonise la quasi-totalité du milieu dunaire entre l'embouchure de l'Adour et la pointe du Verdon-sur-Mer. La configuration du littoral est parfaitement adaptée à une étude de l'abondance de l'espèce.

Les habitats préférentiels du Lézard ocellé se trouvent en dune grise. Ces milieux fragiles sont soumis à différents risques et perturbations dû au changement climatique (érosion, vague submersion, etc.). Les hypothèses de l'impact du changement climatique sur le Lézard ocellé sont donc :

- La disparition de stations remarquables
- Le mouvement des populations

L'objectif du suivi de cet indicateur est la mise en évidence d'une tendance évolutive de la répartition et de l'abondance du Lézard ocellé en lien avec d'éventuelles variations climatiques.

3.2.1 Plan d'échantillonnage

- Sélection des sites

L'abondance du Lézard ocellé a fait l'objet d'un travail important entre 2008 et 2012 par Cistude Nature. Un système de suivi sur placettes avait été alors mis en place. Les sites sélectionnés ici reposent sur le protocole existant, reconduit lors de ce programme, en coordination avec les placettes ONF et ainsi couplé aux autres relevés faune/flore en milieu dunaire.

- Description des sites choisis

Les sites sont répartis selon la répartition connue du Lézard ocellé entre les départements de la Gironde et des Landes : 80 placettes sur l'ensemble du cordon dunaire (depuis la dune blanche jusqu'à la frange forestière). Au niveau de la terminologie, pour ce suivi Lézard ocellé et dans la suite du rapport, un « site » équivaut à une « placette » (Fig. 10, Tab. II).

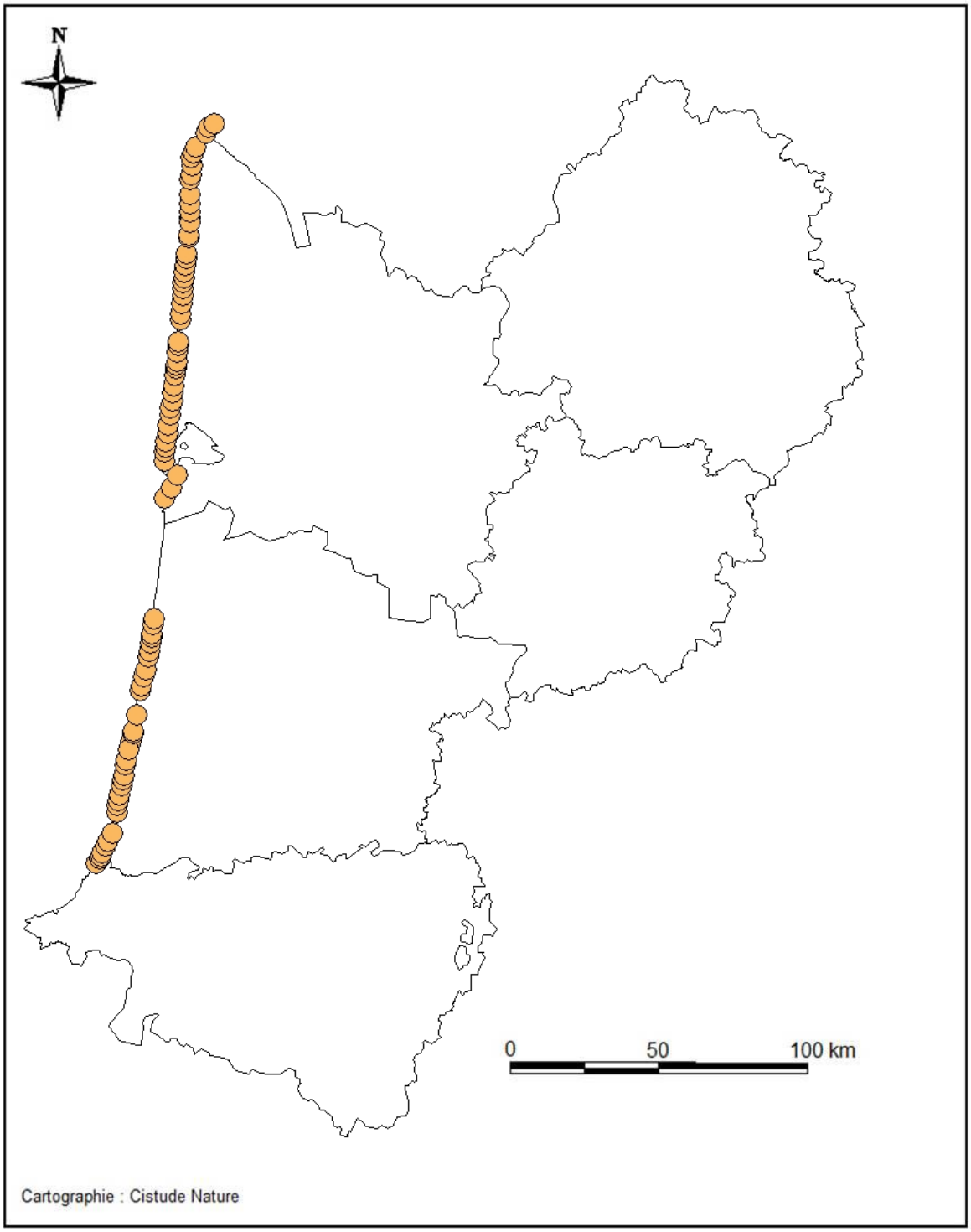


Fig. 10. Situation géographique des sites d'études validés dans la cadre du suivi du Lézard ocellé.

Tab. II. Caractéristiques des sites étudiés dans le cadre des suivis "Lézard ocellé"

Département	Dénomination	Type d'habitat	Superficie (m2)	Propriétaire/ gestionnaire	Accord	Structure de suivi et nom de l'observateur	Latitude	Longitude
Gironde (33)	LO_33_1	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_2	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_3	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_4	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_5	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_6	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_7	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_8	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_9	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_10	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_11	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_12	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_13	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_14	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_15	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_16	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_17	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_18	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_19	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_20	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_21	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]

Département	Dénomination	Type d'habitat	Superficie (m2)	Propriétaire/ gestionnaire	Accord	Structure de suivi et nom de l'observateur	Latitude	Longitude
Gironde (33)	LO_33_22	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_23	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_24	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_25	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_26	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_27	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_28	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_29	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_30	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_31	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_32	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_33	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_34	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_35	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_36	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_37	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_38	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_39	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_40	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_41	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_42	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]

Département	Dénomination	Type d'habitat	Superficie (m2)	Propriétaire/ gestionnaire	Accord	Structure de suivi et nom de l'observateur	Latitude	Longitude
Gironde (33)	LO_33_43	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_44	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_45	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_46	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_47	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	LO_33_48	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Landes (40)	LO_40_1	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Landes (40)	LO_40_2	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Landes (40)	LO_40_3	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Landes (40)	LO_40_4	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Landes (40)	LO_40_5	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Landes (40)	LO_40_6	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Landes (40)	LO_40_7	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Landes (40)	LO_40_8	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Landes (40)	LO_40_9	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Landes (40)	LO_40_10	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Landes (40)	LO_40_11	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Landes (40)	LO_40_12	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Landes (40)	LO_40_13	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Landes (40)	LO_40_14	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Landes (40)	LO_40_15	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]

Département	Dénomination	Type d'habitat	Superficie (m2)	Propriétaire/ gestionnaire	Accord	Structure de suivi et nom de l'observateur	Latitude	Longitude
Landes (40)	LO_40_16	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Landes (40)	LO_40_17	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Landes (40)	LO_40_18	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Landes (40)	LO_40_19	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Landes (40)	LO_40_20	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Landes (40)	LO_40_21	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Landes (40)	LO_40_22	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Landes (40)	LO_40_23	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Landes (40)	LO_40_24	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Landes (40)	LO_40_25	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Landes (40)	LO_40_26	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Landes (40)	LO_40_27	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Landes (40)	LO_40_28	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Landes (40)	LO_40_29	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Landes (40)	LO_40_30	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Landes (40)	LO_40_31	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Landes (40)	LO_40_32	dunaire	2500	ONF	oui	Cistude Nature – Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]

- **Définition et positionnement des points d'échantillonnage**

Comme explicité précédemment, les points d'échantillonnages Lézard ocellé correspondent aux placettes individuelles. Le protocole de suivi est basé sur un comptage de l'espèce sur chacun des sites d'études, c'est-à-dire sur chacune des placettes précédemment listées. Les placettes de 50 x 50 m sont réparties sur l'ensemble du littoral aquitain. Une carte et un numéro sont attribués à chaque placette (Fig. 11).

Fig. 11. Exemple disposition des placettes littorales (Lézard ocellé)

- Méthode de relevés et détermination des espèces

Le Lézard ocellé est une espèce dont le principal comportement observable est l'activité d'insolation. Cette espèce ectotherme a besoin de se chauffer au soleil afin de réguler sa température interne. Pour ce faire, il se place généralement à l'entrée de son abri où il est facilement observable. La prospection du Lézard ocellé tend à une prise de contact directe de l'espèce, mais également à la recherche de ses indices de présence, et de ses abris potentiels.

L'application de ce protocole type « POP Reptile » permet une estimation fine de la présence ou de l'abondance du Lézard ocellé. Cette abondance peut être mise en relation avec des facteurs extérieurs (évolution des températures, etc.) et peut être comparée d'une année sur l'autre.

Le Lézard ocellé étant une espèce farouche, qui disparaît à la moindre alerte, il convient d'être **le plus discret possible** à l'approche du secteur à prospecter. Il est également recommandé de faire le moins de bruit possible durant les observations.

Chaque placette est parcourue trois fois pendant 20min au cours de la saison d'activité de l'espèce. Après une approche discrète et une recherche visuelle aux jumelles pendant 10 minutes, l'observateur parcourt la placette le de manière aléatoire pendant 10 minutes à la recherche d'indices de présence (traces, crottes, mues). Chaque observation est notée et quantifiée pour chaque relevé et chaque placette. D'autres informations, tels que les indices de présence de Lapin de Garenne, sont également notées.

- Conditions météorologiques requises

Les recommandations pour les conditions météorologiques favorables à l'observation des Lézards ocellés sont les suivantes :

- Préférer une température moyenne (éviter température trop fraiche notamment en début de saison ou à l'inverse trop élevée en été)
- Eviter les jours à couverture nuageuse importante et pluvieux
- Vent faible

En début de saison, et en fonction de la météo, les relevés peuvent être réalisés toute la journée ou le matin préférentiellement. Les horaires optimaux préconisés se situent généralement après 10h en début de saison, et entre 9h30 et 11h environ en fin de saison.

- Nombre de campagne de relevés

Les placettes doivent être prospectées en matinée lors de conditions météorologiques favorables, d'**avril à fin juin** (période d'activité du Lézard ocellé).

- Fiche de relevés

La récolte de données sera réalisée à l'aide de fiches de relevé standardisées.

Trois fiches de renseignements doivent être remplies pour chaque placette et chaque passage. La première fiche « Relevé » renseigne par placette les observations de l'espèce, les indices de présence et les gîtes utilisés pour les trois passages. La deuxième fiche « Descriptif placette » permet un descriptif précis de la placette pour les trois passages. Enfin, la fiche « Récapitulatif placettes » liste l'ensemble des placettes à prospecter.

Fiche Relevé

– Localisation / aide localisation : coordonnées GPS des quatre extrémités de la placette. Il peut également être noté toute remarque facilitant le bon repérage du site.

Météo :

– T° : valeur maximale indiquée par le thermomètre/anémomètre (en degré Celsius).

– Vent : valeur maximale indiquée par le thermomètre/anémomètre (en m/s) sur une minute.

– Nuage : la couverture nuageuse doit être indiquée selon 5 coefficients ($1 \leq 20\%$; $20\% < 2 \leq 40\%$; $40\% < 3 \leq 60\%$; $60\% < 4 \leq 80\%$; $5 > 80\%$).

Nature du contact avec LO :

– Observation directe : nombre d'individus différents observés.

– Traces : nombre de traces observées.

– Fèces : nombre crottes.

– Mues : nombre de mues dénombrées (attention à la confusion avec d'autres lacertidés).

Nature du Gîte :

Description du gîte utilisé par l'individu.

– Remarque : pour indiquer tout type d'information supplémentaire.

- *Fiche Descriptif placette*

– Localisation / aide localisation : cf. ci–dessus.

– Date / Observateur : date et nom des observateurs lors des trois passages.

– Position : emplacement de la placette sur la dune.

– Strates de végétation : pourcentage et hauteur des différentes strates de végétation au sein de la placette.

– Nature du Gîte : présence / absence et nombre des différents abris disponibles pour les Lézards ocellés.

– Lapins : présence / absence et nombre des types d'observations du Lapin de Garenne.

- *Fiche Récapitulatif placettes*

– Coordonnées GPS : indiquent les quatre extrémités Nord–Ouest, Nord–Est, Sud–Est et Sud–Ouest de la placette.

– Commentaires : toutes informations permettant de faciliter le repérage de la placette.

3.2.2 Analyses et statistiques

Les données seront analysées par modèle N–mélange, à l'aide du logiciel R et du package unmarked.

3.2.3 Résultats exploratoires

En 2016, les sites ont été sélectionnés et visités pour vérifier leur bonne existence et accessibilité (certaines placettes ayant disparu sous l'eau ou sous la dune lors des dernières tempêtes de 2010).

Aucun relevé selon le protocole précédemment présenté n'a été fait. Ainsi, aucun résultat exploratoire n'est apporté pour 2016.

3.2.4 Discussion et perspectives de suivi

Le suivi devra être assuré dans le temps pour produire des indices annuels d'abondance et de répartition pour comparaison sur le long terme. Les analyses devront porter sur la mise en place d'une méthode efficace permettant de vérifier les liens entre de potentielles variations de répartition / abondance et les variations climatiques ; l'un des constats attendus étant la possible disparition de certaines populations par changement brutal du milieu (intempéries, érosion massive et soudaine).

En parallèle, un travail de coordination avec les structures mettant en place des suivis similaires sur le reste du littoral de la Nouvelle–Aquitaine (populations uniquement présentes sur l'Ile d'Oléron – Charente–Maritime) est à envisager.

4. Indicateurs biologiques des écosystèmes secs

4.1 Végétation des pelouses calcicoles

Rédaction : Kévin Romeyer, Anthony Le Fouler, Grégory Caze

Les pelouses sèches sur substrats calcaires hébergent une flore thermophile avec de nombreuses espèces patrimoniales au niveau régional (*Rhaponticum coniferum*, *Dorycnium pentaphyllum*, *Argyrolobium zanonii*, *Stipa gallica*) et nationale (*Anthericum liliago*, *Sideritis hyssopifolia* subsp. *guillonii*), souvent d'affinités méditerranéennes. Ces végétations vivaces sont adaptées à des sols maigres, pauvres en nutriments, en stations souvent pentues et supportant un déficit hydrique important en période estivale (BOULLET & GEHU, 1984 ; ROYER, 1984). Toutefois, très sensibles au changement ou à l'abandon de pratiques agricoles et à l'eutrophisation, elles ont fortement régressé ces dernières années et certaines de manières irréversibles (LE FOULER, 2013). De plus, dans le contexte du changement climatique, ces pelouses pourraient connaître une importante modification de leur cortège sur plusieurs aspects : l'apparition et la propagation d'espèces méditerranéennes typiques (GRILLET *et al.*, 2006 ; VENNETIER & RIPERT, 2010) et le développement de cortèges d'espèces annuelles au profit des vivaces (LAVOREL & GARNIER, 2002 ; ZWICKE, 2013).

4.1.1 Plan d'échantillonnage

- Sélection des sites

Les pelouses sèches calcicoles sont relativement fréquentes sur les coteaux de l'est de la région Aquitaine (Lot-et-Garonne et Dordogne) et deviennent plus rares et appauvries floristiquement vers le sud-ouest où elles se cantonnent à des buttes bien exposées (Fig. 12). Néanmoins, si les patchs bien exprimés de pelouses sont nombreux et garantissent l'expression d'une flore intéressante, ils occupent rarement de grandes surfaces et sont généralement en mosaïque avec des végétations plus matures (fourrés, forêts).

Dans le cadre du schéma pluriannuel de suivi des habitats d'intérêts communautaires (HIC) de la région Aquitaine mis en place par le CBN Sud-Atlantique (LE FOULER & CAZE, 2012), les pelouses sèches font l'objet d'un suivi régulier pour l'évaluation d'état de conservation à travers le réseau Natura 2000 (LE FOULER, 2013).

Au sein ce réseau, l'Aquitaine compte près de 1000 hectares de pelouses sèches répartis sur 20 sites. La sélection de ceux-ci pour la mise en place de suivis s'est faite selon 2 critères principaux :

- surface minimum supérieure à 15 hectares ;
- chorologie des sites (éviter les sites trop proches) ;
- bon état de conservation (présence des communautés et des espèces caractéristiques d'habitats d'intérêts communautaires).

Au total, 10 sites Natura 2000 de coteaux calcaires abritant des pelouses sèches sont matérialisés avec 52 dispositifs de suivis. Ces sites sont répartis essentiellement dans

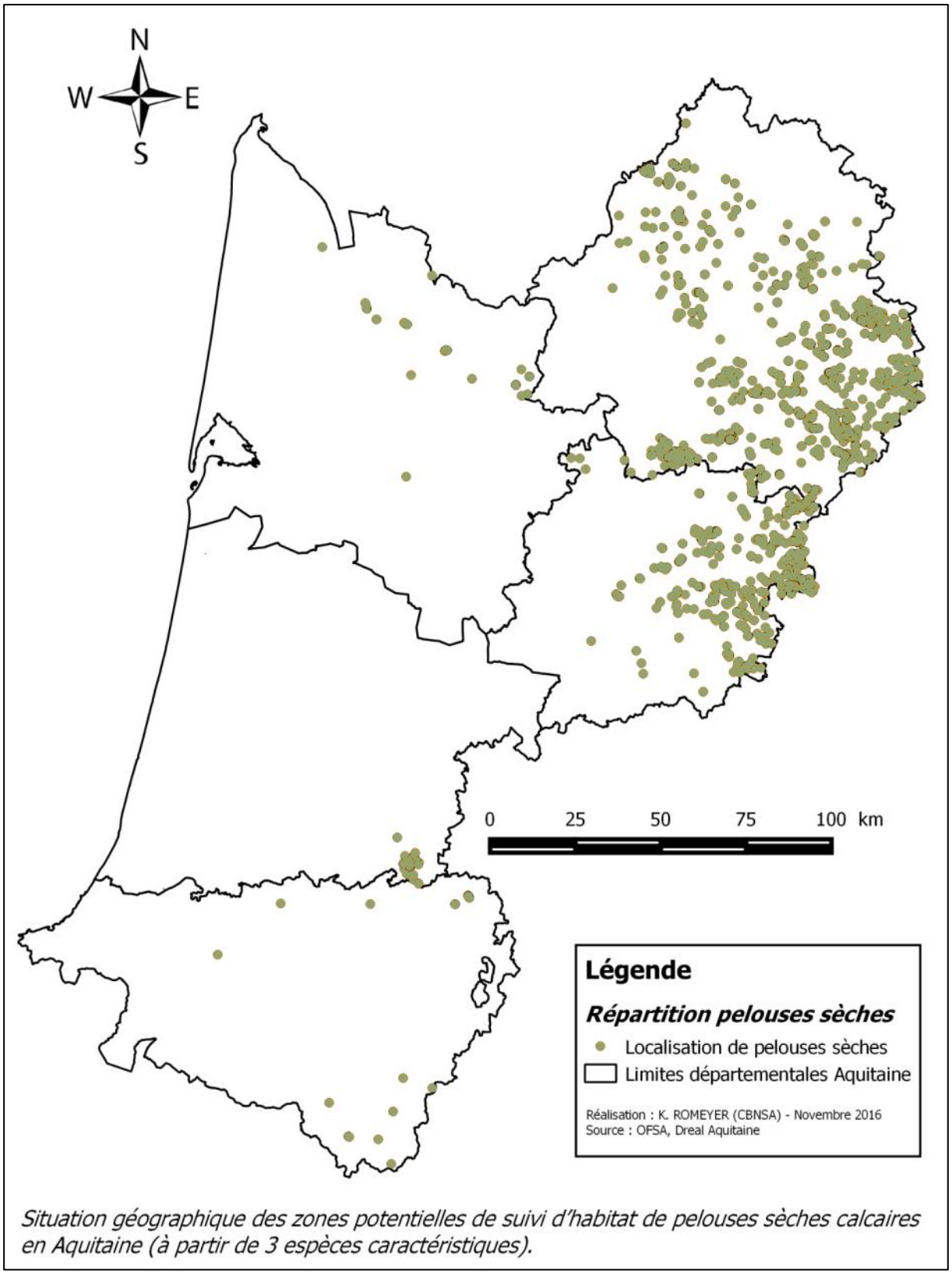
l'extrême est de la région (Dordogne et Lot-et-Garonne) correspondant aux zones d'expression optimales des pelouses (Annexe 6).

Le Programme Sentinelles du climat se repose en partie sur ce réseau de suivi afin de mutualiser les dispositifs mis en place. La sélection de nouveaux sites avec une répartition représentative des coteaux à l'échelle de la région est essentielle pour l'étude de cet habitat dans le contexte du changement climatique. En effet, la mise en place de suivis dans des secteurs plus à l'ouest et au sud (Gironde et Pyrénées-Atlantiques) de la zone d'expression optimale s'effectue selon un gradient de pluviosité (Données AURELHY par Météo France) et donc d'appauvrissement en espèces de pelouses très sèches. Cela devrait permettre de détecter des variations de cortèges (ex : enrichissement en espèces xéro-thermophiles) dans les différentes zones suivies.

En termes de végétation, l'identification des nouveaux sites s'est d'abord appuyée sur la présence de la flore caractéristique des pelouses sèches calcicoles (*Xerobromion erecti* (Braun-Blanquet & Moor 1938) Moravec 1967 ou *Mesobromion erecti* (Braun-Blanquet & Moor 1938) via la base de données OFSA d'une part (Fig. 12) et les connaissances et prospections de partenaires/gestionnaires d'autre part. D'autre part, l'étude de la bibliographie (ROYER, 1982 ; BOULLET & GEHU, 1984 ; ROYER, 1984 ; LAMOTHE & BLANCHARD, 2005 ; LE FOULER, 2013 ; ABADIE *et al.*, 2014 ; FY & BISSOT, 2014) a permis de tenir compte de la variabilité et de la répartition des communautés de pelouses.

Enfin, l'utilisation d'indices d'état ont permis de sélectionner les habitats les plus favorables pour la mise en place d'un suivi à long terme. Ces indices sont les suivants (Fig. 13):

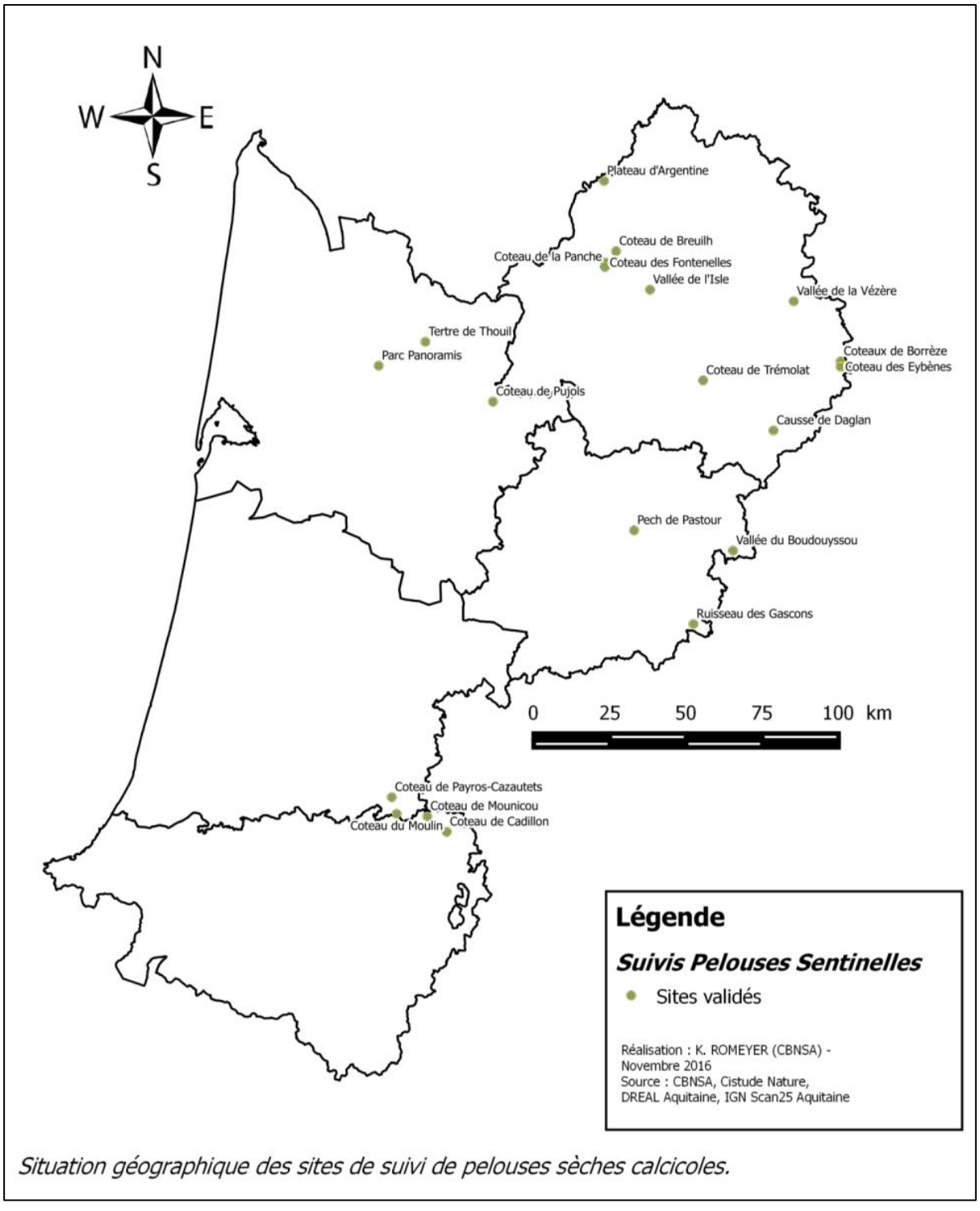
- Niveau de dérive trophique, basé sur la fréquence relative des espèces eutrophes au sein du tapis végétal (ex : *Senecio vulgaris*, *Sonchus asper*) ;
- Fermeture du milieu, basé sur la fréquence relative et le recouvrement d'espèces de stades dynamiques ultérieurs aux pelouses (ex : *Brachypodium rupestre*, *Origanum vulgare*, *Juniperus, communis*) ;
- Recouvrement de sol nu, basé sur le pourcentage de recouvrement du sol nu et la proportion entre plantes annuelles et plantes vivaces.
- Limitation de perturbations : eutrophisation, surpâturage, exploitation calcaire…



Situation géographique des zones potentielles de suivi d'habitat de pelouses sèches calcaires en Aquitaine (à partir de 3 espèces caractéristiques).

Fig. 12. Situation géographique des zones potentielles de suivi d'habitat de pelouses sèches calcaires.

- Description des sites choisis



Situation géographique des sites de suivi de pelouses sèches calcicoles.

Fig. 13. Situation géographique des sites Sentinelles de pelouses sèches calcicoles

- Définition et positionnement des points d'échantillonnage

Le suivi des pelouses sèches calcicoles en lien avec les évolutions climatiques dans le cadre des Sentinelles du climat reprend les mêmes principes d'échantillonnage que pour l'évaluation de l'état de conservation dans le cadre du suivi des HIC pour Natura 2000 ; c'est-à-dire un système d'échelles emboîtées permettant des analyses complémentaires et une vision représentative des sites du point de vue floristique :

- échelle du coteau entier, soit plusieurs hectares.
- échelle du complexe pelousaire par un quadrat paysager de 25m de côté.
- échelle de la communauté végétale par un quadrat de fréquence de 4m de côté.

Les données à l'échelle du coteau peuvent être obtenues via photographies aériennes (couleurs normales et infra-rouge) et ne nécessitent pas d'instrumentalisation sur le site.

Les données concernant le complexe pelousaire sont obtenues à l'aide d'un quadrat paysager de 25m de côté. Après des tests sur le terrain, cette surface de 625m² semble être le meilleur compromis pour apprécier la mosaïque des communautés végétales sans pour autant être trop grande et empêcher l'observateur d'avoir une vision complète de la zone.

Le positionnement du quadrat paysager est défini après visite du coteau et identification des zones où l'habitat de pelouses sèches est bien représenté ; il est placé dans une de ces zones où l'on peut également avoir un aperçu des végétations en dynamique et en contact avec les pelouses. Son géo référencement est également déterminé sur le terrain avec un GPS par les coordonnées de ses 4 sommets (Fig. 14 et Fig. 15).

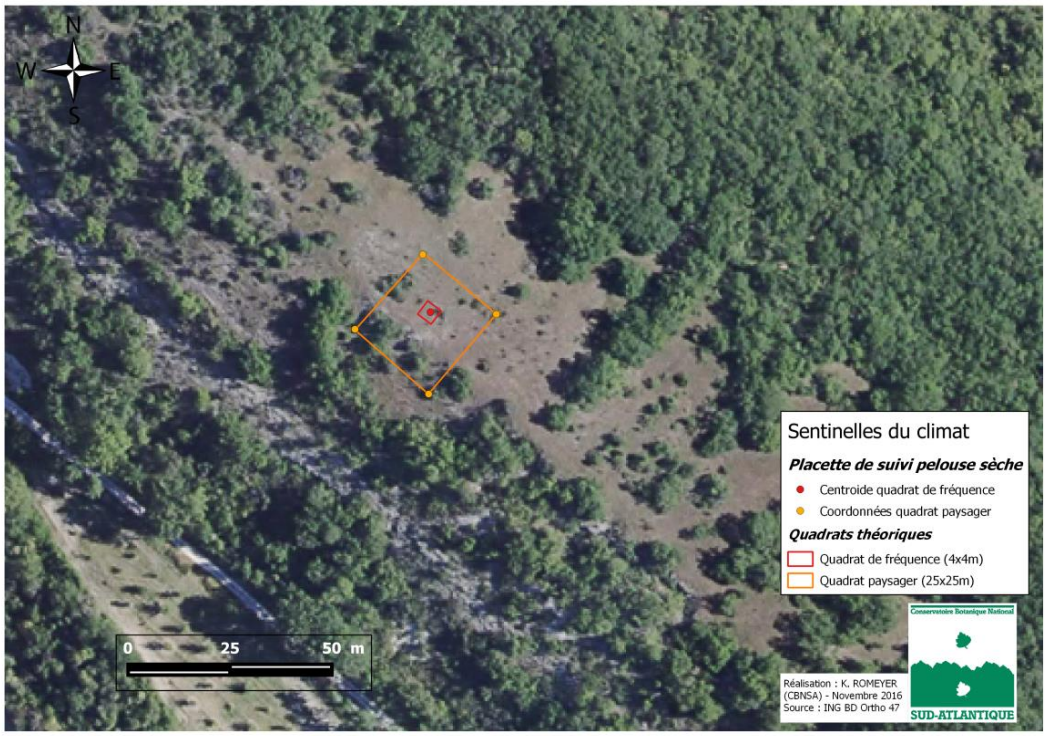


Fig. 14. Exemple de situation des quadrats de pelouses sèches calcaires (photographie aérienne).

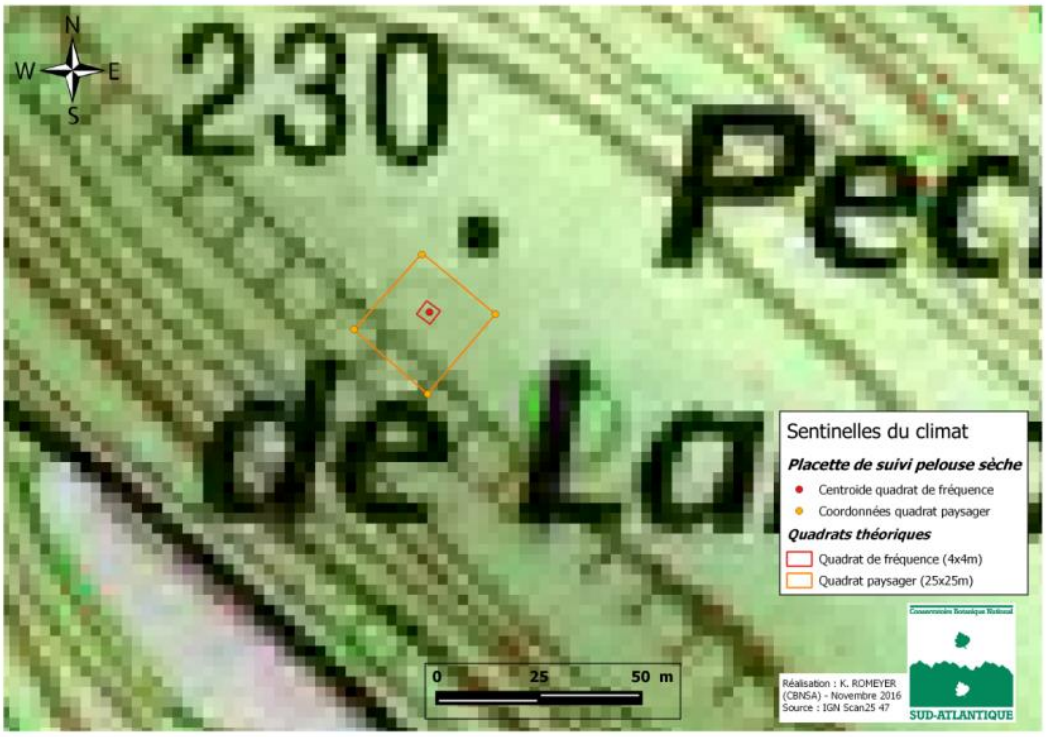


Fig. 15. Exemple de situation des quadrats de pelouses sèches calcaires (carte topographique).

Sur le terrain, l'observateur peut alors localiser ces coordonnées grâce à un GPS (GPS submétrique si possible) ; le niveau d'imprécision engendré par celui-ci est considéré comme acceptable compte-tenu de la grande taille du quadrat paysager. Le temps de la lecture, le quadrat est matérialisé par des piquets temporaires aux 4 sommets et reliés par une rubalise.

Les données concernant la communauté végétale sont obtenues à l'aide d'un quadrat de fréquence permanent de 4m de côté à l'intérieur du quadrat paysager. L'aire minimale pour l'étude des pelouses sèches étant estimée autour de 20m² (BOUZILLE, 2007 ; ROYER, 2009), la surface de 16m² de ce quadrat apparaît réduite mais se trouve palliée par l'utilisation complémentaire du quadrat paysager. D'après des travaux universitaires, la lecture du quadrat de fréquence s'effectue par l'intermédiaire de 16 quadrats élémentaires de 25cm de côté.

Le positionnement du quadrat de fréquence correspond normalement au centroïde du quadrat paysager mais peut être adapté à une zone plus adéquate où la communauté de pelouse est bien exprimée (Fig. 16) ; tant qu'il se trouve à l'intérieur du quadrat paysager. L'orientation du quadrat se fait dans la direction de plus grande pente, soit vers le nord ou vers le haut du coteau. Son géo référencement est déterminé sur le terrain par les coordonnées de son centroïde (Fig. 14 et Fig. 15). Dans l'objectif d'un suivi à moyen/long terme (plusieurs décennies) et afin d'assurer la relocalisation précise et la pérennité du dispositif, le quadrat de fréquence est délimité à ses sommets par 4 tiges métalliques (acier ou inox) enterrées et affleurant à la surface du sol. Un détecteur de champs magnétiques est nécessaire pour retrouver la position des tiges. Le temps de la lecture, le quadrat est matérialisé par des piquets temporaires aux 4 sommets et reliés par une corde ou rubalise.

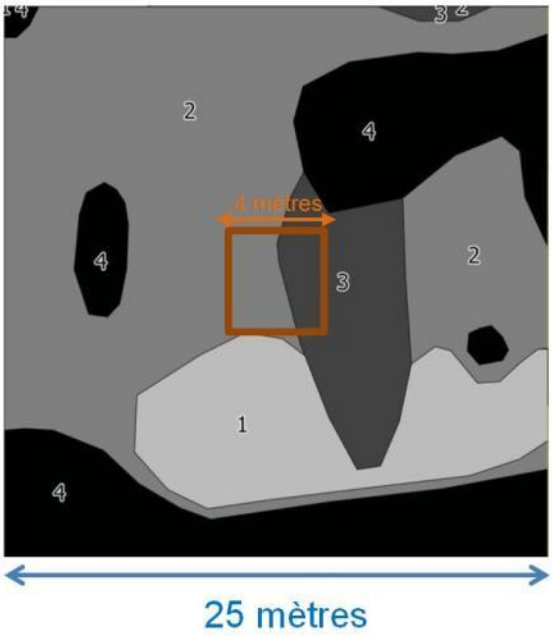


Fig. 16. Schéma de positionnement théorique des quadrats de pelouses sèches.

La durée de mise en place et de relocalisation des quadrats sur un coteau est estimée autour de 1h. La durée de lecture des 2 types de quadrat n'est pas limitée et peut être estimée autour de 2 à 3h.

Les caractéristiques de l'ensemble des quadrats de pelouses sèches (type de quadrat, coordonnées GPS, surface) seront présentées dans un futur rapport après la mise en place de la totalité des dispositifs.

Les cartes de situation des quadrats paysagers et de fréquence ayant été matérialisés sont présentées en Annexe 7. Les cartes des sites non matérialisés seront présentées dans un prochain rapport.

- Méthodes de relevés et détermination des espèces

Le protocole de suivi des pelouses sèches dépend de l'échelle spatiale considérée.

A l'échelle du coteau, le but est de suivre l'évolution de la surface occupée par les ligneux, témoin directe de la régression/progression des pelouses et plus généralement des habitats ouverts. Pour cela, on réalise une analyse diachronique du recouvrement des ligneux sur la base des photographies aériennes en couleurs et en infra-rouge (BD Ortho et IRC de l'IGN) prises à des dates plus ou moins éloignées dans le temps (2 ans minimum).

A l'échelle du quadrat paysager, le but est de suivre l'évolution du complexe pelousaire et la dynamique de végétation. Pour mener ce travail, c'est la phytosociologie sigmatiste qui est retenue car basée sur une démarche rigoureuse et éprouvée, dotée d'un référentiel structuré et régulièrement mis à jour.

Le relevé phytosociologique consiste en la réalisation de relevés floristiques exhaustifs effectués sur une surface de végétation physionomiquement, écologiquement (exposition, pente, substrat, luminosité, etc.) et floristiquement la plus homogène possible. La surface optimale ou aire minimale est un compromis entre une surface suffisamment homogène et une surface représentative du type de milieu. Des coefficients dits d'abondance-dominance de Braun-Blanquet sont attribués à chaque espèce pour indiquer son recouvrement au sein de

chaque strate de la placette. Enfin, la date, l'observateur, la localisation (point GPS, lieu-dit), les caractères généraux de la station* (pente, exposition, altitude, topographie, substrat, etc.) et de la formation végétale inventoriée (trophie, physionomie, etc.), accompagnés d'une description brève (ex : pelouse à Stéhéline piquetée de fourré) sont renseignés (voir bordereau en Annexe 4).

Ainsi, un relevé phytosociologique est réalisé au sein de chaque communauté végétale (pelouse annuelle, pelouse vivace, ourlet, fourré) présente dans le quadrat paysager. Ces relevés sont rattachés, directement ou a posteriori, à un syntaxon existant ou à définir dans le référentiel phytosociologique.

D'autre part, la phytosociologie paysagère ou symphytosociologie est utilisée afin de proportionner les différentes communautés au sein du quadrat. Ici, seule l'homogénéité des conditions écologiques est recherchée (pente, orientation, substrat) pour réaliser un relevé. On dresse alors la liste exhaustive des groupements végétaux présents, auxquels sont associés un coefficient de recouvrement ainsi qu'un indice d'agrégation (isolé, plus ou moins fragmenté, étendu). Comme pour le relevé phytosociologique, des informations complémentaires mais indispensables sont renseignées dans un bordereau spécifique (Annexe 8). Le relevé symphytosociologique, ou synrelevé, permet de rendre compte de l'organisation spatiale des groupements et est accompagné d'un croquis (Fig. 17). En plus, la prise de photos des communautés inventoriées est encouragée pour conserver une vision physionomique de celles-ci et aider dans l'interprétation des données. Ces relevés peuvent être rattachés, directement ou a posteriori, à une série dynamique de végétation existante ou à définir.

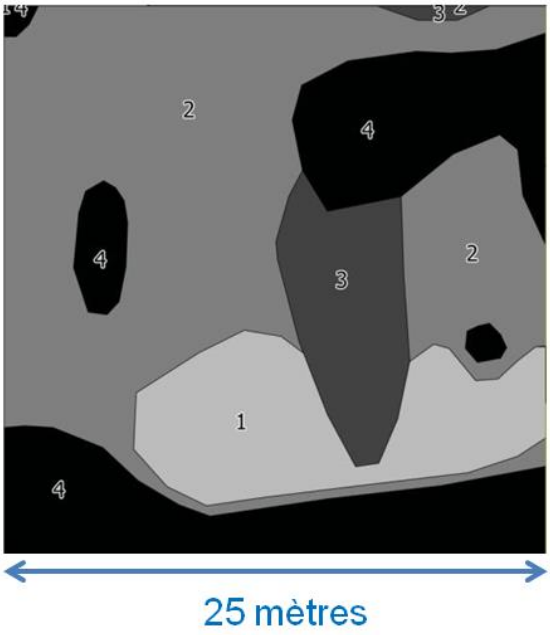


Fig. 17. Schéma d'organisation spatiale des communautés au sein du quadrat paysager.

A l'échelle du quadrat de fréquence, le but est de suivre l'évolution de la structure et de la composition de la communauté de pelouse à un niveau fin de précision. Pour cela, ce quadrat est subdivisé en 16 quadrats élémentaires de 25cm de côté (Fig. 18). Un relevé exhaustif de la flore est réalisé en présence/absence au sein de chacun des quadrats élémentaires avec notation de la hauteur moyenne et du recouvrement des différentes strates présentes (Annexe 9). En plus, un relevé complémentaire est réalisé, également en présence/absence, à l'échelle du quadrat de fréquence pour noter les espèces non contactées dans les 16 quadrats

élémentaires. Cette méthode présente l'avantage de pouvoir s'abstenir d'une estimation des coefficients de recouvrement, une variable sujette au biais d'interprétation des données engendré par la diversité des observateurs et empêchant la détection de changements subtils dans la composition floristique du tapis végétal étudié.

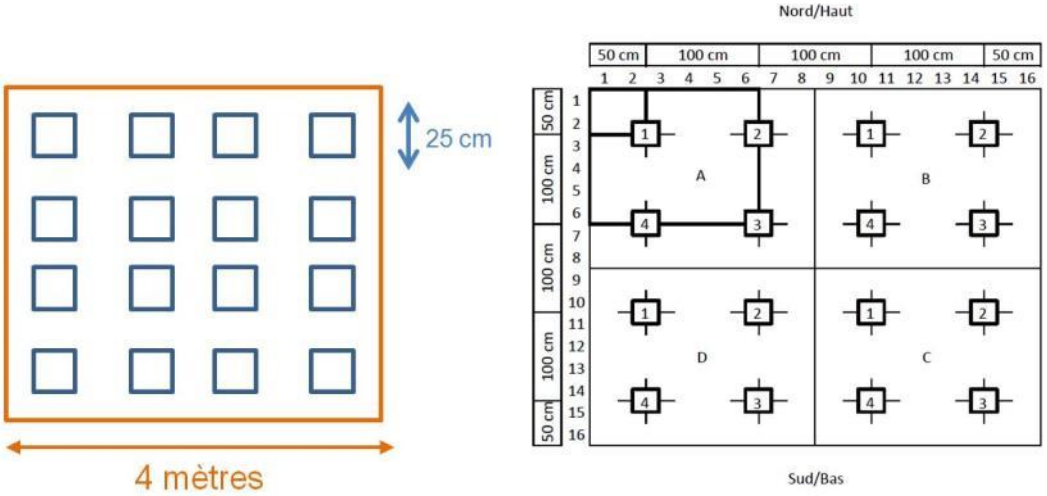


Fig. 18. Schéma d'organisation des quadrats élémentaires au sein du quadrat de fréquence.

La détermination des espèces végétales non-identifiées peut s'effectuer directement sur le terrain à l'aide d'une flore et d'une loupe (x10 minimum). Dans le cas de critères délicats à appréhender *in situ*, l'identification se fera ultérieurement en laboratoire, avec un matériel adéquat (loupe binoculaire, microscope, etc.), sur des échantillons prélevés hors de la zone d'étude. Concernant les espèces rares ou protégées, la détermination devra se faire autant que possible sur photos ou *in situ* sans prélèvement.

Pour l'étude des végétations dunaires, le champ d'investigation taxonomique concerne uniquement les spermatophytes et ptéridophytes, excluant donc les bryophytes et lichens trop complexes à appréhender. Le référentiel taxonomique suivi est la version la plus récente de TaxRef (actuellement version 9, (GARGOMINY *et al.*, 2015). Les flores utilisées sont diverses : Flora Gallica (TISON *et al.*, 2014a), Flore de Dordogne (BEDE *et al.*, 2014), Flore du Pays Basque et des régions limitrophes (AIZPURU *et al.*, 1999), Flore de France méditerranéenne continentale (TISON *et al.*, 2014b), Flore descriptive et illustrée de la France, de la Corse et des contrées limitrophes (Tomes 1 à 3) (COSTE, 1901 ; COSTE & FLAHAULT, 1903 ; COSTE & FLAHAULT, 1906).

Pour la mise en place et la lecture d'une placette de suivi de pelouses, le matériel requis est le suivant :

- Tige en métal (inox ou acier) ;
- Appareil GPS (GPS submétrique si possible) ;
- Piquets fins en bois (8 minimum) ;
- Corde tressée ou rubalise (120m minimum) ;
- Détecteur de champs magnétiques ;
- Marteau ;
- Quadrats en carton ou plastique (25cm de côté) ;
- Décamètre (50m) ;
- Appareil photo

- Période optimale de suivi

Les pelouses sèches d'Aquitaine connaissent leur optimum phénologique entre mi-mai et fin juin ; c'est-à-dire la période durant laquelle la majorité du cortège floristique est en floraison. Afin de noter et pouvoir identifier le maximum d'espèces, les inventaires et suivis doivent s'effectuer durant cette période comme l'atteste diverses études (ROYER, 1982 ; BOULLET & GEHU, 1984 ; ROYER, 1984 ; LE FOULER, 2013 ; FY & BISSOT, 2014).

- Nombre de campagnes de relevés

Une seule campagne de relevés est réalisée pour chaque année de suivi. En effet, la quasi-totalité du cortège floristique étant observable dans le cas d'une lecture pendant la période phénologique optimale, la réalisation de plusieurs campagnes n'offre qu'un intérêt limité.

Les pelouses sèches pouvant être un habitat relativement dynamique si les conditions de gestion changent ou en cas d'aléa climatique extrême telles qu'une forte sécheresse ou canicule (MAALOUF, 2012), le délai entre chaque campagne de suivis est fixé à 2 ans. En fonction des premières analyses et retours d'expérience, ce délai pourra être rehaussé. En effet, les impacts du changement climatique sur cet habitat intervenant à une échelle de temps bien plus large, des suivis trop rapprochés ont peu d'intérêt.

- Fiches de relevés

Pour les suivis de pelouses sèches calcicoles, 2 types de fiches sont utilisés sur le terrain (Annexe 8 et Annexe 9) :

- Fiche de renseignement par quadrat de fréquence (liste d'espèces, stratification) ;
- Fiche d'évaluation pour quadrat paysager (inventaire symphytosociologique, inventaire floristique complémentaire, altérations, perspectives).

4.1.2 Discussion et perspectives de suivi

Les protocoles de suivis explicités plus haut étant au départ calibrés pour évaluer l'état de conservation des habitats, des compléments ou modifications pourront être adaptés pour mieux répondre à la problématique du changement climatique. Toutefois, ces protocoles semblent assez précis car intégrant plusieurs échelles spatiales et temporelles et permettant la détection de variations floristiques fines.

La mise en place et la première lecture des dispositifs de suivi de la flore et des végétations de pelouses sèches sur les nouveaux sites dans le cadre du programme Sentinelles du climat sont prévues pour le printemps 2017. Les dispositifs déjà en place pour le suivi des HIC et mutualisés avec le programme Sentinelles feront également l'objet d'une lecture en 2017 afin d'avoir des données synchrones sur ces habitats.

Les différents stades phénologiques, et notamment la floraison, des espèces végétales pouvant être fortement influencées par les conditions météorologiques d'une année sur l'autre (MENZEL & FABIAN, 1999 ; SHERRY *et al.*, 2007 ; BERTIN, 2008 ; VITASSE, 2009 ; VITASSE *et al.*, 2011), un suivi de la phénologie et de l'abondance de certaines espèces de pelouses sèches est envisagé.

La mise en place d'un tel suivi répond à plusieurs objectifs ; le premier serait d'apporter des éléments explicatifs des variations de cortèges de Lépidoptères, en plus des conditions météorologiques directes, et ainsi mieux contextualiser les données de suivi de ce groupe taxonomique. Le second intérêt porte sur la connaissance plus fine de l'autécologie des espèces végétales choisies, en lien avec le changement climatique.

L'année 2017 servira à l'élaboration d'une liste d'espèces végétales intéressantes à suivre ainsi qu'à la définition de protocoles simples permettant de récolter les données sur leur phénologie et leur abondance. Ces données pourront alors être reliées aux données de suivi des Lépidoptères ainsi qu'aux données météorologiques enregistrées localement.

D'autre part, l'existence d'un réseau de suivi des pelouses sèches développé dans le cadre d'autres programmes et par d'autres structures (Natura 2000, CEN Aquitaine, etc.) forme un appui intéressant en termes historique. En effet, l'intégration des données floristiques acquises à travers ce réseau pour des analyses et modélisation apporterait une robustesse plus importante aux résultats. Cette démarche devra toutefois être approfondie par rapport à la compatibilité des protocoles, et discutée avec les gestionnaires des suivis.

Dans le cas des pelouses sèches calcaires, les analyses et la modélisation des effets du changement climatique portera sur plusieurs aspects. Tout d'abord, l'enrichissement en espèces xéro-thermophiles d'est en ouest et au sud, qui revient à modéliser la nouvelle niche écologique disponible pour ces espèces en lien avec les scénarios climatiques du GIEC (NAKICENOVIC *et al.*, 2000).

Ensuite, la progression des cortèges d'espèces annuelles au sein des pelouses et la perte de certaines vivaces pourra être quantifiée.

Enfin, les décalages de phénologie de certaines espèces voire du cortège pourront être évalués.

4.2 Populations de lépidoptères et d'ascalaphes de pelouse calcicole

Rédaction : Fanny Mallard, Dominique Galland, Pierre-Yves Gourvil

Les lépidoptères sont reconnus comme l'un des groupes indicateurs du changement climatique. Ils sont fortement liés aux plantes hôtes et nectarifères de l'habitat. Ils sont poïkilothermes et font l'objet de programmes de surveillances approfondies en France et à travers la Nouvelle-Aquitaine. Les pelouses calcicoles ont été identifiées comme milieu sec potentiellement impacté par le changement climatique. Le cortège des lépidoptères des pelouses calcicoles (Azuré du serpolet *Maculinea arion,* Argus bleu céleste *Polyommatus bellargus,* Flambé *Iphiclides podalirius,* Fluoré *Colias alfacariensis*, Soufré *Colias hyale,...)* peut évoluer suivant le réchauffement climatique par l'apparition ou le développement des espèces à affinité méditerranéenne, telles que le Citron de Provence (*Gonepteryx cleopatra*), et, suivant la modification des espèces végétales hôtes, par des extinctions locales d'espèces. Ils sont également dépendants de la température du milieu, la température locale de leur habitat, pour leur activité (KLECKOVA & KLECKA, 2016). Leur optimum de développement, comme les autres insectes, sera influencé par le réchauffement de température. Les zygènes et les ascalaphes sont également des espèces typiques de l'habitat de pelouse calcicole prises en compte dans les suivis et devraient potentiellement répondre de la même manière face au changement climatique.

4.2.1 Plan d'échantillonnage

- Sélection des sites

Une hypothèse de travail posée pour la sélection des sites d'étude est de s'appuyer sur un état de conservation des sites limitant autant que possible l'influence de facteurs anthropiques autres qui pourraient impacter la biodiversité et ne permettraient plus de dissocier l'effet du changement climatique de ces autres facteurs. Cet état de conservation est qualifié de "bon" dans cette étude. Ainsi, les réponses de la biodiversité observées dans un site devraient être liées principalement aux effets du changement climatique.

L'état de conservation d'un habitat naturel est défini par l'évaluation des effets de l'ensemble des pressions agissant sur cet habitat et sur les espèces typiques qu'il abrite. Ces impacts peuvent affecter à long terme sa répartition naturelle, sa structure et ses fonctions, ainsi que la survie de ses espèces typiques (BOUZILLE, 2007). Le milieu est considéré comme favorable par plusieurs critères. L'état de conservation des espèces végétales typiques de l'habitat doit leur être propice. Elles doivent être le moins possible soumises aux effets de l'ensemble des pressions qui, agissant sur l'espèce, peuvent affecter à long terme la répartition et l'importance de ses populations sur le territoire (BOUZILLE, 2007). Une pré-sélection de sites par le CBNSA a permis d'identifier 31 sites potentiels, dits de bon état de conservation. L'évaluation de l'état de conservation des pelouses sèches du réseau Natura 2000 s'appuie sur les suivis floristiques réguliers du schéma pluriannuel de suivi des habitats d'intérêts communautaires (HIC) de la région Aquitaine mis en place par le CBN Sud-Atlantique (LE FOULER & CAZE, 2012 ; LE FOULER, 2013).

L'habitat doit également avoir une aire de répartition naturelle ainsi que des superficies stables ou en extension (BOUZILLE, 2007). La gestion écologique constante de l'habitat permet

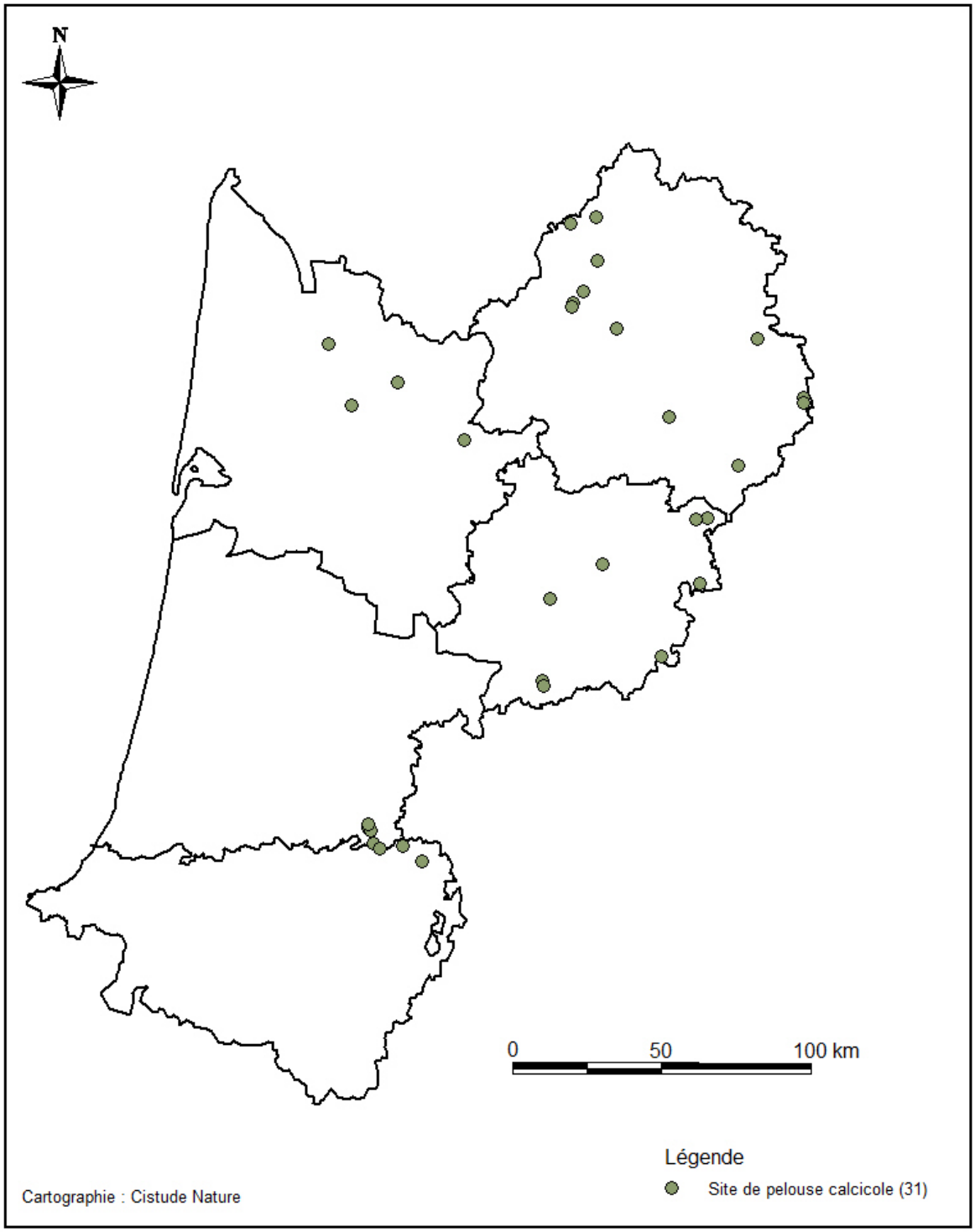
d'assurer dans le temps une pérennité à la naturalité et de lutter contre la fermeture du milieu. La maitrise foncière assure la pérennité dans le temps de la naturalité du site. Les sites gérés sont privilégiés voire également les sites privés conventionnés par des structures gestionnaires par exemple le CEN Aquitaine.

La structure et les fonctions spécifiques nécessaires au maintien à long terme de l'habitat existent et sont susceptibles de perdurer dans un avenir prévisible (BOUZILLE, 2007). Les sites privilégiés sont connectés potentiellement à d'autres pelouses calcicoles permettant d'assurer des échanges entre les habitats, offrant aux espèces des conditions favorables à leur déplacement et à l'accomplissement de leur cycle de vie. Une surface importante permet de limiter l'influence d'autres facteurs anthropiques. La surface définie pour les pelouses calcicoles doit être en pratique suffisante pour positionner un transect de 100 m dans l'habitat. Les sites sont également distants d'au moins 50 m des activités anthropiques qui pourraient fragmenter les populations de lépidoptères (VAN BOHEMEN, 1998 ; MALLARD, 2014).

Afin de pouvoir comparer les habitats de même nature, il est nécessaire d'écarter les causes de variations qui déterminent des conditions écologiques particulières (FAURIE *et al.*, 2011). Les sites choisis de pelouses calcicoles sont exposés sud et composés d'une végétation homogène d'un seul tenant afin de minimiser le nombre de paramètres climatiques et édaphiques. Ces critères permettent d'écarter les causes de variations qui déterminent des conditions écologiques particulières (FAURIE *et al.*, 2011).

En terme pratique, les sites ont un accès facile permettant la réalisation de campagnes de relevés standardisées. Les coteaux accessibles par des terrains privés sont écartés.

Les sites sélectionnés ont une répartition spatialement équilibrée à travers la région Aquitaine. La répartition spatiale de l'effort d'échantillonnage permettra de mettre en évidence des variations de réponse du cortège étudié à différentes latitudes. La littérature scientifique indique que, parmi la faune, les espèces de lépidoptères sont celles qui ont répondu le plus aux changements climatiques, notamment en modifiant leurs aires de répartition vers le nord (Wilson et Maclean, 2011).

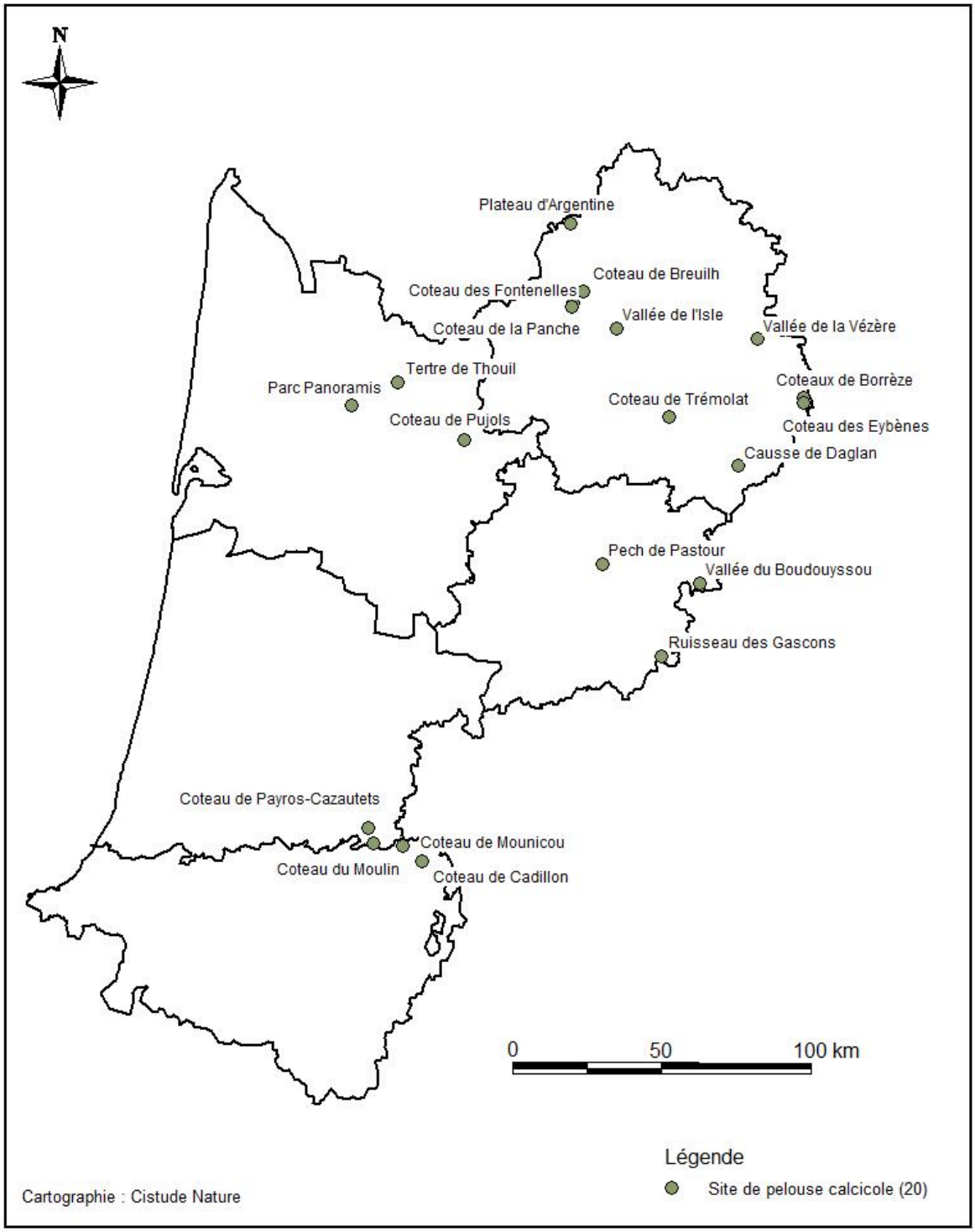


Situation géographique des sites prospectés de suivi des lépidoptères de pelouse calcicole

Fig. 19. Situation géographique des zones prospectées de l'habitat pelouse calcicole dans la cadre du suivi des espèces de lépidoptères.

- Description des sites choisis

Sur 31 sites de pelouses calcicoles prospectés, 20 sites ont été retenus pour répondre aux critères énoncés précédemment, 16 sites ont été observés en 2016 (Fig. 60, Tab. XXXV).



Sites d'études de suivis des lépidoptères de pelouse calcicole

Fig. 20. Situation géographique des sites d'études validés de l'habitat pelouse calcicole dans la cadre du suivi des espèces de lépidoptères.

Tab. III. Caractéristiques des sites étudiés de l'habitat de pelouse calcicole dans la cadre du suivi des espèces de lépidoptères.

Dép.	Commune	Dénomination	Superficie	Statut	Code statut	Gestionnaire	Accord	Transects	Station météo	Structure 2016	Observateur 2016
24	Borrèze	Coteau de Borrèze	7.5 ha	N2000	FR7200676	Privé	En cours	3		CEN Aquitaine	Duhazé Benoit
24	Borrèze	Coteau d'Eybènes	8.2 ha	N2000	FR7200676	Privé	En cours	2		CEN Aquitaine	Duhazé Benoit
24	Farges	Vallée de la Vézère	3.3 ha	0	0	?	?	2	0	Cistude Nature	Mallard Fanny
24	La Rochebeaucourt et Argentine	Plateau d'Argentine	26 ha	Natura 2000	FR7200810	Commune/PNR Périgord	oui	6	oui	Cistude Nature	Mallard Fanny
24	Razac sur l'Isle	Vallée de l'Isle	4.3 ha	0	0	?	?	2	0	Cistude Nature	Mallard Fanny
24	Saint Pompont	Causse de Daglan	14 ha	Natura 2000	FR7200672	?	?	8	0	Cistude Nature	Mallard Fanny
24	Saint Sulpice de Roumagnac	Coteau de la Panche	3.8 ha	0	0	Privé	?	?	?	CEN Aquitaine	Pas prospecté en 2016
24	Saint-Pardoux de Drôme	Coteau des Fontenelles	11.7 ha			Privé				CEN Aquitaine	Pas prospecté en 2016
24	Saint-Victor	Coteau du Breuilh	11.6 ha	Site CEN	-	Privé géré par le CEN Aquitaine	Oui	5		CEN Aquitaine	Pas prospecté en 2016
24	Trémolat	Coteau de Trémolat	5.9 ha	Natura 2000	FR7200664	?	?	3	0	Cistude Nature	Mallard Fanny
33	Carbon Blanc	Parc Panoramis	6.3 ha	0	0	?	oui	1	?	Cistude Nature	Mallard Fanny
33	Pujols	Coteau de Pujols	3,9 ha	Site CEN / ZNIEFF1	Z000000443	CEN Aquitaine	oui	3	0	Cistude Nature	Mallard Fanny
33	Villegouge	Tertre de Thouil	9 ha	ZNIEFF1	Z000000440	?	?	1	0	Cistude Nature	Mallard Fanny

Dép.	Commune	Dénomination	Superficie	Statut	Code statut	Gestionnaire	Accord	Transects	Station météo	Structure 2016	Observateur 2016
40	Payros-Cazautet	Coteau de Payros-Cazautet	2.5 ha	N2000	FR7200771	Privé	En cours	2		CEN Aquitaine	Gourvil Pierre-Yves
40	Pimbo	Coteau du Moulin	2 ha	N2000	FR7200771	Conseil Départemental des Landes	Oui	2		CEN Aquitaine	Gourvil Pierre-Yves
47	Pinel Hauterive	Pech de Pastour	1.7 ha	Site CEN / 0	0	CEN Aquitaine	oui	3	oui	Cistude Nature	Mallard Fanny
47	Saint Urcisse	Ruisseau des Gascons	4.9 ha	Natura 2000	FR7200736	?	?	5	0	Cistude Nature	Mallard Fanny
47	Tournon d'Agenais	Vallée du Boudouyssou	3.6 ha	Natura 2000	FR7200733	?	?	4	0	Cistude Nature	Mallard Fanny
64	Cadillon	Coteau de Cadillon	4.4 ha	Site CEN	-	CEN Aquitaine	Oui	2		CEN Aquitaine	Gourvil Pierre-Yves
64	Garlin	Coteau de Mounicou	1.4 ha	Site CEN	-	CEN Aquitaine	Oui	2		CEN Aquitaine	Gourvil Pierre-Yves

- Définition et positionnement des points d'échantillonnage

La méthodologie de comptage des lépidoptères est basée sur le programme national du suivi temporel des Rhopalocères de France (STERF) du programme d'observatoires de la biodiversité Vigie-Nature.

Pour pouvoir comparer les comptages entre transects, il est souhaitable que l'effort de comptage soit standardisé. Les transects devront donc être parcourus en un temps identique (10 ± 1 min.). Cette contrainte de temps détermine la longueur de chaque transect. Les transects les plus courts seront liés à un milieu riche (MANIL & HENRY, 2007). La longueur du transect définie en pelouse calcicole est de 100 m. Cette longueur est déterminée suivant la vitesse de déplacement du comptage des observateurs des premiers tests de comptage 2016 dans un habitat très diversifié et la longueur minimale disponible d'un type d'habitat homogène.

Les transects sont de forme linéaire adoptant la forme de l'habitat (Fig. 65). Les transects situés en pente en pelouse calcicole, sont positionnés sur la même courbe de niveau (Fig. 66). Plusieurs transects sont suivis par site, la distance minimale entre les transects et les limites de l'habitat est de 50 m au minimum, distance de référence d'après le protocole de suivi des lépidoptères des Réserves Naturelles de France (LANGLOIS & GILG, 2007). L'effet lisière abritant des communautés animales des écotones de bordures où se côtoient plusieurs groupements est ainsi évité (FAURIE *et al.*, 2011). Les transects des pelouses calcicoles sont orientés sud.

La matérialisation du transect est réalisée également par point GPS et cartographie. La précision de réalisation du transect se situe entre 3 à 5 m (précision du GPS) selon les conditions météorologiques. Afin de ne pas perturber le cortège sur le transect, le début du transect est déterminé à l'entrée du site.

En fonction de la surface de l'habitat homogène, le nombre de transects se situe entre 1 et 8 par site (Tab. IV).

Tab. IV. Caractéristiques des transects de l'habitat pelouse calcicole dans la cadre du suivi des espèces lépidoptères.

Dép.	Dénomination site	Dénom. transect	Longueur (en m)	Altitude (en m)	Latitude	Longitude	Latitude'	Longitude'
24	Causse de Daglan	T1	100	210	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24	Causse de Daglan	T2	100	203	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24	Causse de Daglan	T3	100	235	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24	Causse de Daglan	T4	100	209	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24	Causse de Daglan	T5	100	201	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24	Causse de Daglan	T6	100	233	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24	Causse de Daglan	T7	100	239	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24	Causse de Daglan	T8	100	231	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24	Coteau de Borrèze	T1	100	100	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24	Coteau de Borrèze	T2	100	100	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24	Coteau de Borrèze	T3	100	100	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24	Coteau de La Panche	T1	100	130	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24	Coteau de la Panche	T2	100	130	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24	Coteau de Trémolat	T1	100	117	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24	Coteau de Trémolat	T2	100	139	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24	Coteau de Trémolat	T3	100	129	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24	Coteau des Fontenelles	T1	100	125	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24	Coteau des Fontenelles	T2	100	125	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24	Coteau des Fontenelles	T3	100	125	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24	Coteau des Fontenelles	T4	100	125	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24	Coteau d'Eybènes	T1	100	105	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24	Coteau d'Eybènes	T2	100	135	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24	Coteau du Breuilh	T1	100	125	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24	Coteau du Breuilh	T2	100	125	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24	Coteau du Breuilh	T3	100	125	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24	Coteau du Breuilh	T4	100	125	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24	Coteau du Breuilh	T5	100	125	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24	Plateau d'Argentine	T1	100	131	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24	Plateau d'Argentine	T2	100	137	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24	Plateau d'Argentine	T3	100	138	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24	Plateau d'Argentine	T4	100	142	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24	Plateau d'Argentine	T5	100	143	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24	Plateau d'Argentine	T6	100	154	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24	Vallée de la Vézère	T1	100	146	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24	Vallée de la Vézère	T2	100	154	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24	Vallée de l'Isle	T1	100	120	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24	Vallée de l'Isle	T2	100	123	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
33	Coteau de Pujols	T1	100	44	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
33	Coteau de Pujols	T2	100	66	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
33	Coteau de Pujols	T3	100	54	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

Dép.	Dénomination site	Dénom. transect	Longueur (en m)	Altitude (en m)	Latitude	Longitude	Latitude'	Longitude'
33	Parc Panoramis	T1	100	44	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
33	Tertre de Thouil	T1	100	49	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
40	Coteau de Payros-Cazautet	T1	100	190	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
40	Coteau de Payros-Cazautet	T2	100	165	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
40	Coteau du Moulin	T1	100	105	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
40	Coteau du Moulin	T2	100	125	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
47	Pech de Pastour	T1	100	181	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
47	Pech de Pastour	T2	100	178	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
47	Pech de Pastour	T3	100	185	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
47	Ruisseau des Gascons	T1	100	129	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
47	Ruisseau des Gascons	T2	100	149	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
47	Ruisseau des Gascons	T3	100	155	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
47	Ruisseau des Gascons	T4	100	142	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
47	Ruisseau des Gascons	T5	100	132	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
47	Vallée du Boudouyssou	T1	100	241	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
47	Vallée du Boudouyssou	T2	100	228	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
47	Vallée du Boudouyssou	T3	100	229	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
47	Vallée du Boudouyssou	T4	100	220	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
64	Coteau de Cadillon	T1	100	100	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
64	Coteau de Cadillon	T2	100	110	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
64	Coteau de Mounicou	T1	100	127	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
64	Coteau de Mounicou	T2	100	145	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

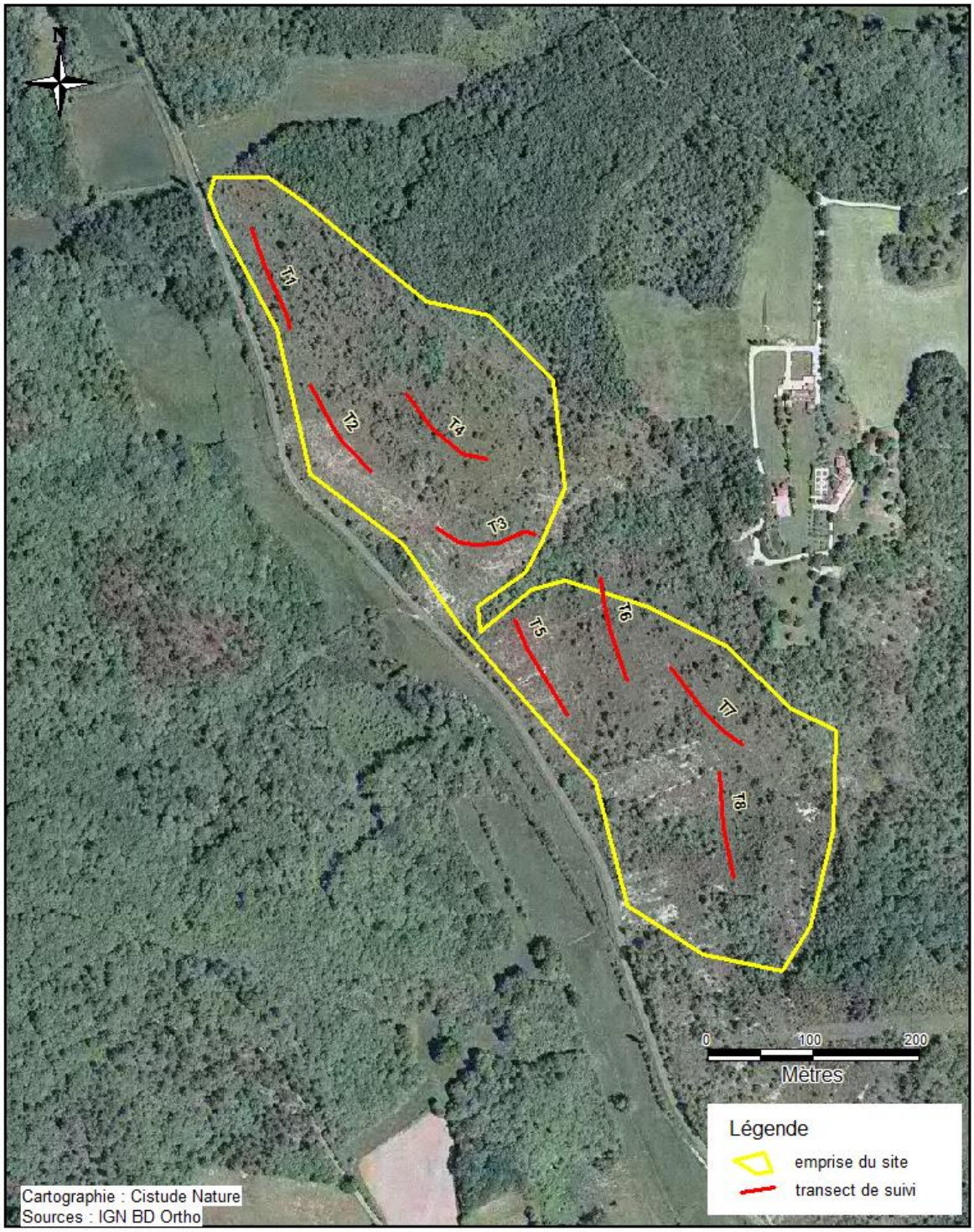


Fig. 21. Un exemple de situation des transects de l'habitat pelouse calcicole du site [redacted] dans la cadre du suivi des espèces lépidoptères sur photographie aérienne.

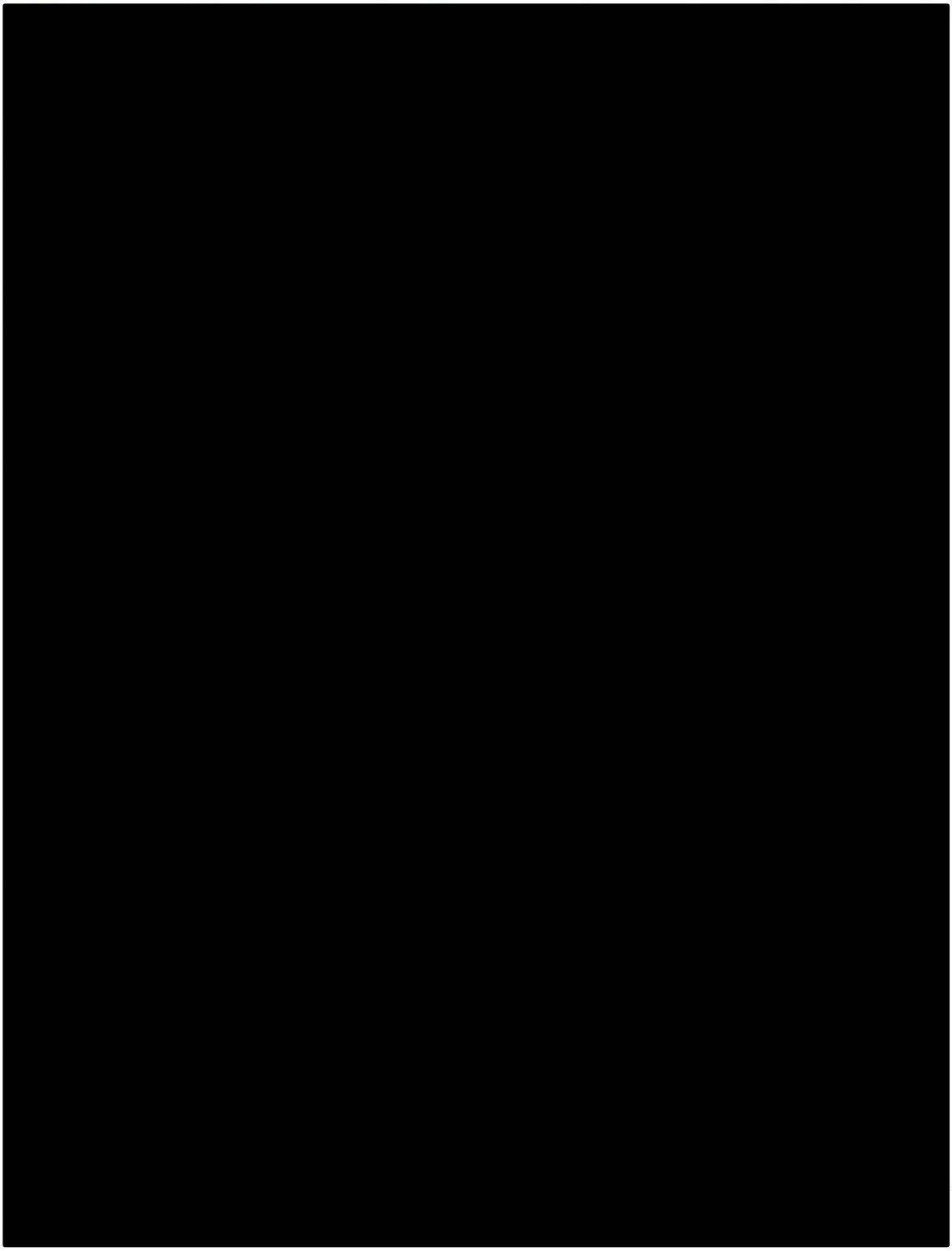


Fig. 22. Un exemple de situation des transects de l'habitat pelouse calcicole du site [redacted] dans la cadre du suivi des espèces de lépidoptères sur carte topographique.

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

Pour chacun des transects, tous les lépidoptères ainsi que les ascalaphes en pelouse calcicole identifiables à distance sont comptés par un observateur. La limite postérieure d'une boîte virtuelle de 5 m de côté avance avec l'observateur dans le but de standardiser la distance à laquelle les lépidoptères sont comptés. Les comptages dans la boîte sont standardisés et donc comparables au cours du temps (MANIL & HENRY, 2007). Le protocole d'observation est passif, c'est-à-dire que la végétation n'est pas remuée pour éviter l'effet observateur influençant l'envol d'individus non visibles. La vitesse de déplacement est fixe et de moins de 2 km/h.

Le comptage est effectué au vol avec capture au filet pour les espèces non identifiables. Une liste d'espèces à capturer permet de standardiser la capture des spécimens entre les différents observateurs. Les espèces à détermination délicate concernent 26 espèces d'après une sélection basée sur les critères de validation des données du MNHN et les espèces de lépidoptères présentes en Aquitaine (DUPONT, 2015) (Annexe 10). Cette liste est synthétisée dans le Tab. V. Suivant le niveau de difficulté de détermination des espèces, trois groupes sont définis.

Le temps du comptage est suspendu pour la détermination rapide des espèces entre 1 à 2 min maximum. La mise en flacon est effectuée seulement pour les individus non identifiables à l'espèce en moins de 2 min. L'identification des spécimens est réalisée à la fin du transect. Dans tous les cas, les individus sont ensuite relâchés sur place pour éviter l'impact de l'échantillonnage sur le site. Les espèces non déterminables par observation sont gardées dans le flacon et analysées ensuite en laboratoire avec les structures génitales, ou *genitalia*. Le prélèvement est d'un individu par espèce maximum. La technique de morpho-espèce est utilisée afin de limiter au maximum le prélèvement d'individus. Le terme morpho-espèce est un substitut de l'estimation de l'espèce (OLIVER & BEATTIE, 1996).

Dans le cas d'individus isolés d'espèces non identifiées, l'observateur note l'individu en « indéterminé ». Ce cas sera limité au maximum.

Tab. V. Liste des groupes d'espèces à détermination délicate.

Genre/Espèce	Prélèvement	Raisons	Capture	Raisons
Leptidea	Oui	Pour différencier Leptidea sinapis de L. reali	-	-
Pyrgus	Oui	Si complexe Pyrgus alveus / P. armoricanus ou P. malvae / P. malvoides	Oui	Pour le reste des Pyrgus si critères alaires suffisants, sinon genitalia obligatoires
Zygènes de couleur vert	Oui	Pour différencier les différentes espèces d'Adscita et Jordanita	-	-
Colias	-	-	Oui	Pour différencier C. crocea forme helice de C. alfacariensis
Zygènes à 6 tâches	-	-	Oui	Pour différencier Z. transalpina de Z. filipendulae
Plebejus	-	-	Oui	Pour différencier P. idas de P. argyrognomon (cas surtout en 24, 47 et 33)

Genre/Espèce	Prélèvement	Raisons	Capture	Raisons
Hipparchia	-	-	Oui	Pour différencier H. alcyone de H. fagi. Observation des organes de julien obligatoire à partir de 500 m.
Pieris type rapae	-	-	Oui	Pour différencier P. rapae de P. mannii.
Melitaea	Oui	Pour différencier M. deione de M. athalia	Oui	Pour différencier M. parthenoides de M. athalia et M. deione
Colias hyale	Considéré comme non présent sur coteaux. Tous les imagos de type Colias alfacariensis / C. hyale sont notées "Colias alfacariensis"			

- **Conditions météorologiques requises**

Un transect est parcouru de 10h à 17h dans les conditions météorologiques suivantes: présence d'une couverture nuageuse d'au maximum 75% et sans pluie; vent inférieur à 6 sur l'échelle de Beaufort; température d'au moins 13°C pour un temps ensoleillé ou d'au moins 17°C pour un temps nuageux. Les suivis sont réalisés jusqu'à une température de 35°C maximum.

- **Nombre de campagne de relevés**

4 passages par site seront effectués par an et répartis entre mai et août soit 1 passage par mois. Cette fréquence correspond à l'échantillonnage minimum recommandé par le STERF (MANIL & HENRY, 2007). Les visites sont espacées d'au moins 15 jours et les relevés d'une année sur l'autre sont réalisés les mêmes semaines jusqu'en 2021.

- **Fiche de relevés**

Le couple site-observateur sera indissociable, c'est-à-dire que le même niveau professionnel d'observation est maintenu jusqu'en 2021. Les relevés sont réalisés par des professionnels expérimentés.

Chaque observateur notera pour chaque transect les heures de comptage de début et fin du transect avec la mention du temps de pause, le nombre d'individus par espèce et les conditions météorologiques de début du transect (Fig. 23). La température sera mesurée à l'aide d'un thermomètre, l'humidité de l'air par les données Météo France, le vent à l'aide de l'échelle de Beaufort et la couverture nuageuse en pourcentage (catégorie par pas de 20%).

Fiche de relevé lépidoptères

Nom Observateur
Structure
Date
Type d'habitat
Dénomination du site

Transect N°	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Coordonnées X								
Coordonnées Y								
Coordonnées X'								
Coordonnées Y'								
Altitude moyenne (m)								
Heure début								
Heure de fin								
Temps de pause								
Température (°C)								
Humidité %								
Vent								
Direction du vent								
Couverture nuageuse								

Remarque :

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Espèces de lépidoptères								

Fig. 23. Extrait de la fiche de relevé des comptages de lépidoptères.

En complément, une fiche de description floristique sera complétée chaque année par les observateurs faunistiques (durée du relevé : 10–15 min par fiche). La description floristique est basée sur l'analyse de la phénologie par une liste de plantes hôtes et nourricières des espèces typiques des pelouses calcicoles établie par le CEN et Cistude Nature. Cette fiche est liée à un protocole simplifié de suivi floristique qui sera créée en 2017 par le CBNSA. Ce relevé simplifié permettra de prendre en compte des variations éventuelles de disponibilité de la ressource influant sur le cortège observé le long du transect.

4.2.2 Analyses et statistiques

Les données d'incidence ou de présence–absence des espèces sont plus faciles à obtenir que les données d'abondances d'individus, de proportions relatives des espèces liées au nombre d'individus observés. Ces dernières renferment une richesse d'analyse importante. La combinaison de ces deux types complémentaires de recueil d'informations permet d'enrichir les modèles pour l'analyse des effets des changements globaux sur la biodiversité (HOWARD *et al.*, 2014). Il s'agit de lister et appliquer un ensemble de traitements des résultats d'abondances en s'attachant à avoir une démarche globale cohérente (GOTELLI & CHAO, 2013).

- Etapes de l'analyse de la biodiversité.

Les dénombrements liés au comptage des lépidoptères sont la base des données (Fig. 24). Les individus Ni repérés sont mis en classes, répartis en espèces i. Pour un faible nombre d'individus (<20), un faible nombre d'espèces (<5), ces données peuvent rester à ce niveau. Pour un « grand » nombre d'individus (>20 individus), ces valeurs sont aggrégeables, résumables par des proportions d'abondance relative $p_i=N_i/N$, N nombre total d'individus observés.

SAR (Species Area Relationships) (1) est la première analyse des données. Le tracé du nombre d'espèces repérées, cumulées SAC (Species Accumulation curve) en fonction de la longueur parcourue des transects, du nombre d'individus… est une première indication sur l'effort d'échantillonnage. L'extension dans le temps, voire des efforts d'observations STAER (Species Time Area Effort Relationships) généralise cette première démarche. En retour, le nombre d'individus en fonction de la longueur parcourue permet d'estimer la correction des observations pour avoir un taux de couverture qui est principalement une fonction des singletons et doubletons f_1, f_2…

Les nombres de Hill (2) sont dérivés des dénombrements Ni ou des proportions d'abondance relative pi. Il s'agit de résumer les S espèces i=1 à S, et leurs proportions par un nombre équivalent d'espèces. Au niveau des individus qui les constituent, les espèces sont classées d'abondantes, de communes, de rares, de très rares. Les nombres de Hill, ou moyenne généralisée, donnent accès à un index lisible de quantité, parlant, possédant des propriétés indispensables intrinsèques pour agréger les données dans le temps et dans l'espace. L'ordre q est un paramètre continu remplaçant les classes discrètes. Le cumul du nombre d'espèces abondantes s'obtient avec q>2, la part de la plus abondante q=infini. Le cumul du nombre d'espèces communes et abondantes est donné avec q=2. Le cumul du nombre d'espèces rares, communes, abondantes revient à utiliser q=1. Le cumul des espèces très rares, rares, communes, abondantes est estimé avec q=0.05. Enfin, le nombre total d'espèces est donné par q=0. L'utilisation des nombres de Hill s'impose peu à peu dans la littérature depuis quelques années. Le profil de biodiversité en fonction de l'ordre q, paramètre continu, positif en pratique et inférieur à 4, caractérise l'hétérogénéité des abondances des espèces. Il est extensible pour prendre en compte la phylogénie des espèces, et leurs traits principaux (taille, couleur…).

L'étape suivante (3) va consister à construire et résumer le profil de diversité par 6 paramètres avec plusieurs méthodes de lissage analytiques, qui peuvent être validées par des méthodes numériques linéaires et numériques non linéaires. Le lissage analytique est suffisant en pratique. Une méthode de ré–échantillonnage peut s'appliquer pour estimer l'incertitude des paramètres de lissage (méthode de bootstraps par exemple).

L'étape (4) reprend les diversités des sites, les agrège au niveau de la région et les similarités ou échanges d'espèces entre sites en est déduit. Les transects sont agrégés au niveau du site et donnent une diversité intrasite, interne au site, appelée « α » » avec 10 à 20 espèces. Les sites pondérés ou rapportés à un même effort d'échantillonnage sont à leur tour assemblés et conduisent à la diversité moyenne relative des sites « α », au sein de la région. Celle-ci est résumée par une diversité « γ » avec 20 à 50 espèces par milieu. La diversité différentielle, l'échange intersites sont appelés « β » qui indique le nombre de sites distincts. Cette donnée est a priori la plus sensible au suivi de l'évolution en fonction des changements climatiques. Avec ce dernier paramètre, d'autres indices (4) donnent accès à la similarité, le recouvrement, l'homogénéité des sites.

En fonction des résultats des dénombrements sur le terrain, la notion de couverture de l'échantillonnage mesure sa qualité et permet de boucler avec le cumul des dénombrements. A partir d'un nombre d'individus N repérés, il s'agit par exemple de déterminer l'effort nécessaire « x » qui est tel que le repérage de « x N » individus assure d'abord une qualité de données par une bonne couverture de repérage. Il est alors possible de comparer, agréger les résultats, à couverture constante pour les différents niveaux locaux des sites. Le nombre d'individus observés n'est pas une valeur absolue de qualité des données. Un site avec peu d'individus peut être échantillonné à 100% s'il a une mauvaise qualité biologique. L'ensemble de ces traitements a été appliqué aux premières données obtenues en 2016.

Tous ces paramètres vont dépendre du temps et sont à relier aux données de climat aux mêmes échelles d'espaces et de temps. Le diagramme suivant résume les étapes de l'analyse dans un graphe. Au cœur de l'analyse se retrouvent les dénombrements, les nombres de Hill et la méthode de Bootstraps donne accès en complément aux incertitudes.

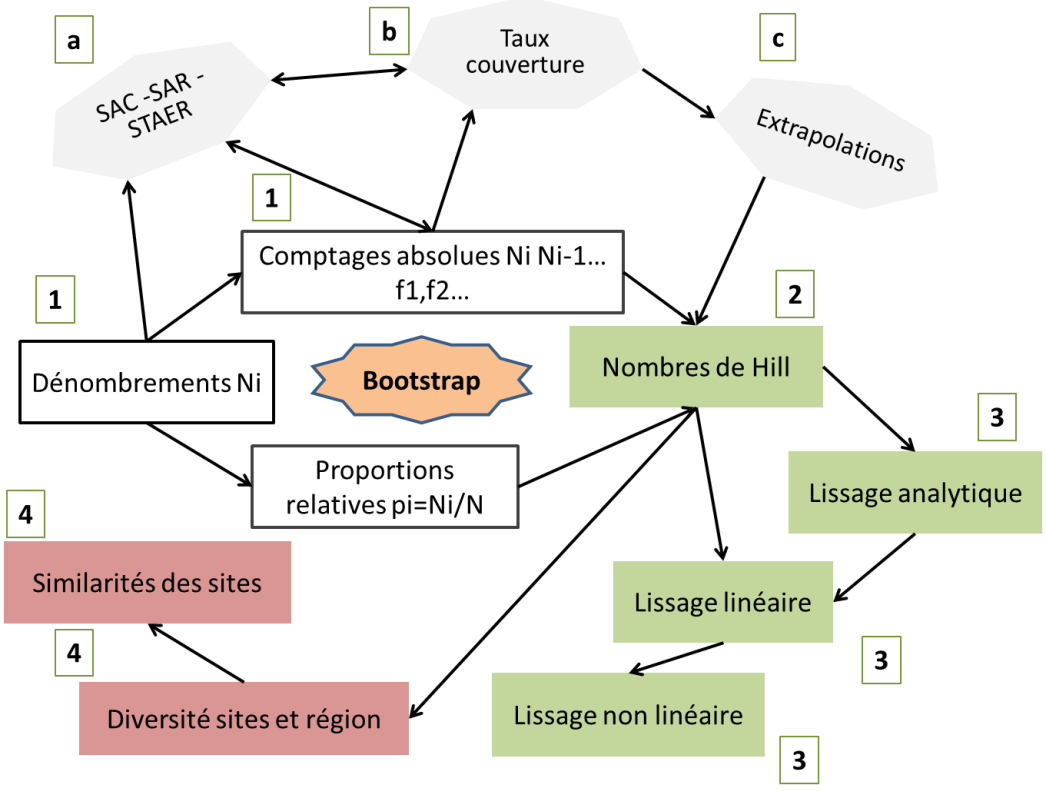


Fig. 24. Plan d'analyse des comptages de lépidoptères.

- Outils

Les données et leurs traitements utilisent des moyens bureautiques de base de type tableurs et des logiciels en libre accès sur le web. Le tableur de type Excel permet de créer la base de données. Les analyses sont réalisables dans la majorité avec les fonctions de base du logiciel. Un complément de programmation en VBA simplifie l'écriture des fonctions utilisées. Des outils plus généraux en libre accès sont disponibles à différents niveaux de programmation et d'interactivités. Ils sont développés principalement sous le logiciel« R ».

2016 correspond à la mise en place du projet. Cette année donne des premiers résultats de tests des protocoles de suivis des lépidoptères des pelouses calcicoles et des landes humides, 86 transects ont été observés d'une longueur de 100 à 300 m, 13 km au total, 27 sites, dans toute la région aquitaine, une ou 2 périodes d'observation en 2016 pour chaque transect, 65 espèces de lépidoptères et 693 individus observés. En fonction des résultats, d'accords d'accès aux lieux, 2017 augmentera le nombre de sites sur la Nouvelle-Aquitaine et l'effort d'observation sur l'année.

4.2.3 Résultats exploratoires

- Abondance - Richesse

Le tableau suivant résume les principales données obtenues dans les sites (Annexe 11). Une partie seulement des sites renferme des données dans le temps, soit au maximum 2 campagnes observations de terrain en 2016. Les campagnes 2017 et suivantes seront effectuées de mai à août. Le nom du site est rappelé en colonne 1 avec en suffixe le mois de dépouillement (_xx), puis les colonnes suivantes donnent la longueur totale L des transects, le nombre d'individus N_{ind}, le nombre d'espèces observées S_{obs}. L'indice de Menhinick (LOCEY & WHITE, 2013) « Menh » est ensuite le simple rapport entre le nombre d'espèces et la racine carré du nombre d'individus, c'est un premier indicateur des efforts de dénombrements des sites. Les singletons f_1, doubletons f_2, f_3, f_4... sont le nombre d'espèces ayant été dénombrées par 1, 2, 3, 4 individus. D'après Turing et Good (1953), l'abondance relative des espèces non détectées est de l'ordre de f_1/N, avec N = nombre total d'individus détectés. Ces valeurs de f_i permettent d'estimer le nombre d'espèces manquantes $f_0$dans le cas d'un effort « infini » d'échantillonnage. La probabilité de rencontrer toutes les espèces manquantes est $f_1/(Nf_0)$. Grâce à ces deux derniers auteurs, et avec la généralisation de leurs raisonnements, les valeurs de f_i sont utilisées pour déterminer les taux de couverture de l'échantillonnage puis pour extrapoler ou interpoler les données brutes. Le but n'est pas d'obtenir le nombre d'espèces théorique pour un effort « infini » mais d'estimer le nombre d'espèces pour un effort d'échantillonnage, un taux de couverture de 90% par exemple (Tab. VI).

Tab. VI. Site_mois, Longueur transect L m, Abondance Nind, Richesse Sobs, ... des sites de pelouses calcicoles

Site_mois	L m	Nind.	S_{obs}	Menh	f_1	f_2	f_3	f_4
1-P-Borrezes_07	340	6	5	2.0	4	1	0	0
2-P-Boudyssou_08	600	43	14	2.1	4	3	3	1
3-P-Cadillon_08	**382**	45	**18**	2.7	8	4	2	1
4-P-Coteau_Moulin_06	**104**	22	**12**	2.6	11	0	0	0
5-P-Daglan_08	1200	50	8	1.1	2	0	3	0
6-P-Dordogne_Tremolat_08	450	17	8	1.9	6	1	0	0
7-P-Eybenes_06	263	41	9	1.4	4	2	0	0
8-P-Mounicou_08	273	11	6	1.8	4	0	1	1
9-P-Panoramis_08	150	11	6	1.8	3	2	0	1
10-P-Payros-Cazautet_06	355	16	9	2.3	6	1	1	0
11-P-Pech_Pastur_08	450	31	11	2.0	5	3	0	0
12-P-Plateau_Argentine_08	900	30	10	1.8	2	4	0	1
13-P-Pujols_08	450	58	11	1.4	5	0	2	1
14-P-Ruisseau_Gascons_08	750	37	10	1.6	4	1	1	0
15-P-Vallee_Vezere_08	300	11	8	2.4	5	3	0	0
16-P-Vallee_Isle_08	300	9	5	1.7	4	0	0	0
P_Tx_Pelouses_Calcicoles_16	7267	438	49	2.3	12	8	7	1

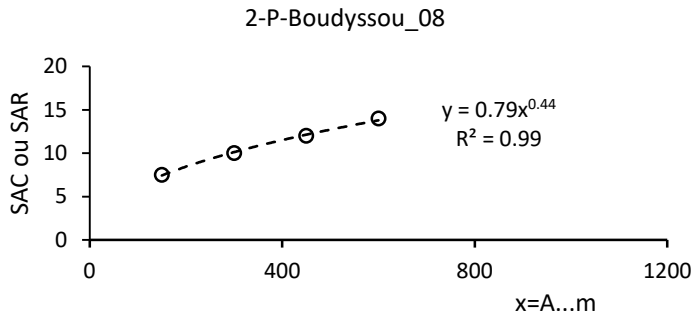
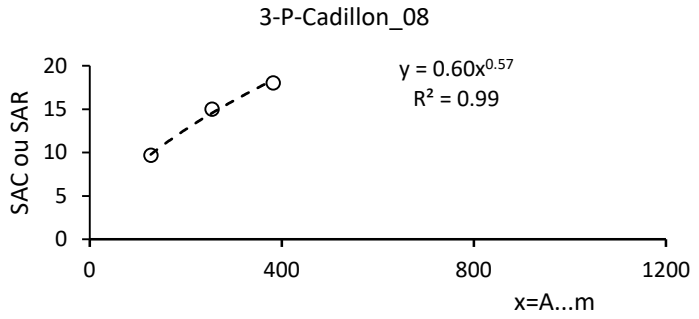
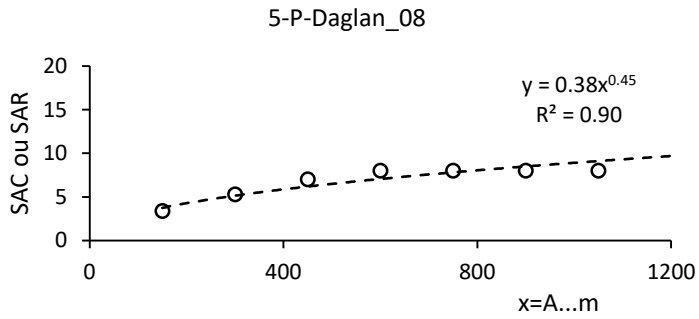
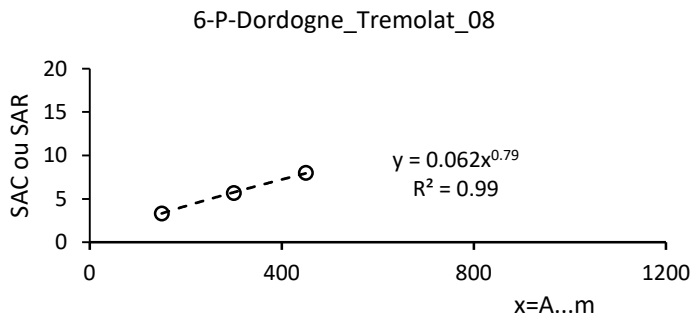
Le classement brut des sites pelouses calcicoles du plus riche en espèces S au plus pauvre est le suivant : 3-Cadillon_08, **S=18**; 2-Boudyssou_08, S=14; 4-Coteau_Moulin_06, **S=12**; 11-Pech_Pastur_08, S=11; 13-Pujols_08, S=11; 12-Plateau_Argentine_08, S=10; 14-Ruisseau_Gascons_08, S=10; 7-Eybenes_06, S=9; 10-Payros-Cazautet_06, S=9; 5-Daglan_08, S=8; 6-Dordogne_Tremolat_08, S=8; 15-Vallee_Vezere_08, S=8; 8-Mounicou_08, S=6; 9-Panoramis_08, S=6; 1-Borrezes_07, S=5; 16-Vallee_Isle_08, S=5.

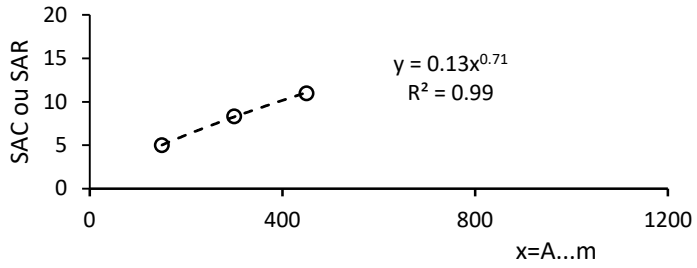
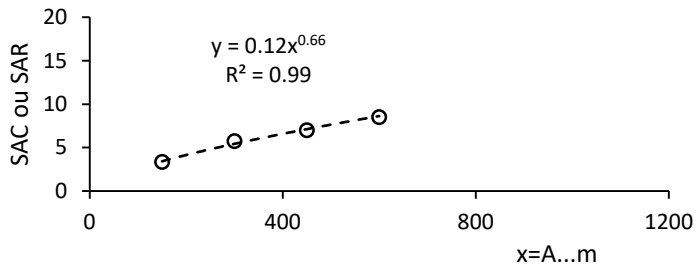
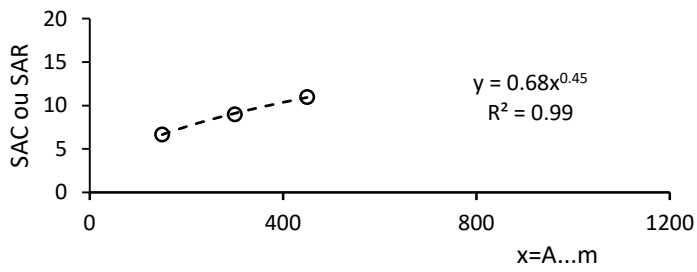
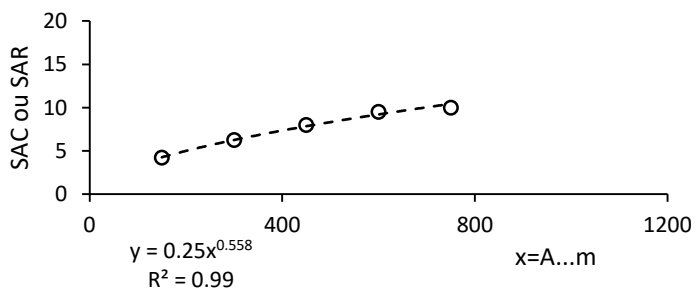
Les longueurs de parcours ne sont pas identiques (voir Cadillon et Coteau du Moulin), la comparaison des sites demande donc un complément de traitement à couverture d'observation identique.

- SAR (STAER) niveau des sites et de la région

Les campagnes de mesure 2017 comporteront plus de transects, de sites et de données dans le temps (4 mois). Les lissages des cumuls seront plus significatifs. Chaque point est le cumul de plusieurs données, par exemple, le point 1 est la moyenne du nombre d'espèces découvertes dans les transects. Le point 2 est le nombre d'espèces découvertes en cumulant les transects 2 par 2. Le point 3 cumule les transects 3 par 3... Dans le cas de 8 transects, le nombre de combinaison des transects 2 par 2 est très grand. Ces données ne sont alors pas indépendantes, donc seules les valeurs de lissage sont à retenir, le coefficient de corrélation R^2 a moins de sens. Les figures sont tracées sous Excel avec la courbe de tendance et son équation associée (Tab. VII).

Tab. VII. SAR des sites de suivis des lépidoptères de pelouses calcicoles.

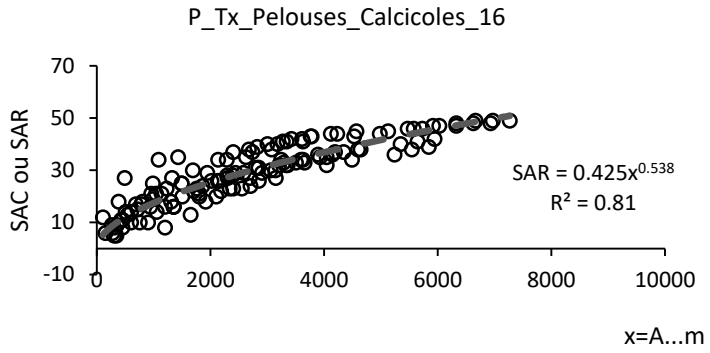
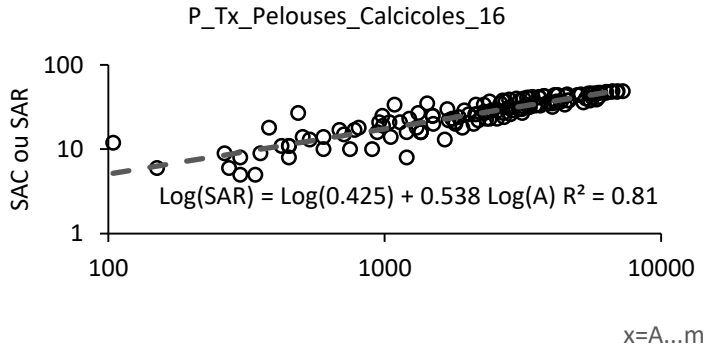
Sites Pelouses Calcicoles	Nombre d'individus et d'espèces
	– y cumul du nombre d'espèces, – x Longueur du transect ou de cumul de transects 43 individus 14 espèces
	45 individus 18 espèces $y=cx^z$ z varie avec la longueur d'échantillonnage, il est de l'ordre de 0.25 pour de grandes dimensions. Cette fonction permet surtout d'interpoler.
	50 individus 8 espèces Dans un site comme Daglan, le nombre de singletons est faible. La courbe lissée par une loi puissance n'est pas adaptée car ne présente pas de limite. Les données montrent une saturation.
	17 individus 8 espèces

Sites Pelouses Calcicoles	Nombre d'individus et d'espèces
	31 individus 11 espèces
	30 individus 10 espèces
	58 individus 11 espèces
	37 individus 10 espèces

Après avoir agrégé les espèces au niveau d'un site à partir des transects, disposant de plusieurs sites dans la région soit 16 en « pelouses calcicoles », une image de cumul dans l'espace en est déduite ci-dessous. Toutes ces données sont liées aussi à une durée

d'observation et à un nombre d'individus (Tab. VIII). Ces axes espace et temps ne sont pas indépendants. L'extension de la méthode SAR est nommée STAER (Annexe 12).

Tab. VIII. SAR de la région assemblant les sites d'études de suivis des lépidoptères de pelouses calcicoles.

Région assemblant les sites	
	Les sites remplacent les transects et la région remplace le site. 438 individus, 49 espèces, L=5744m. Ici la moyenne des sites n'est pas effectuée, il s'agit de points de chaque site ou des sites regroupés 2 par 2, 3 par 3... avec leur longueur totale des transects.
	Le tracé ci-dessus en Log_{10}(SAR) fonction de Log (cA^z) valide le choix du modèle SAR en « puissance » pour ces données sachant qu'elles ne sont pas indépendantes.

Les valeurs de c et de z sont obtenues ci-dessus au niveau de la région avec un lissage sur L en mètres parcourus. En moyenne 0.42 espèce de lépidoptère est découvert le premier mètre, 5 au bout de 100m, 17 au bout d'1 km et 50 au bout de 7 km. Une valeur SAR de la littérature sur les lépidoptères des espèces méditerranéennes (ULRICH & BUSZKO, 2003) donne un lissage SAR avec un paramètre de z=0.49 soit $A^{0.49}$ avec R^2=0.82. Les lépidoptères relatifs à l'Europe de l'est et du Nord conduit à une valeur de z=0.21. Le lissage global des lépidoptères d'Europe (Albanie, Andorre, Açores, Bosnie-Herzégovine, Canaries, Chypre, Macédoine, Grèce, Croatie, Italie, Malte, Madère, Portugal, Turquie, Yougoslavie, Espagne) (WERNER & BUSZKO, 2005) conduit à une valeur de z=0.23±0.04 (Fig. 25).

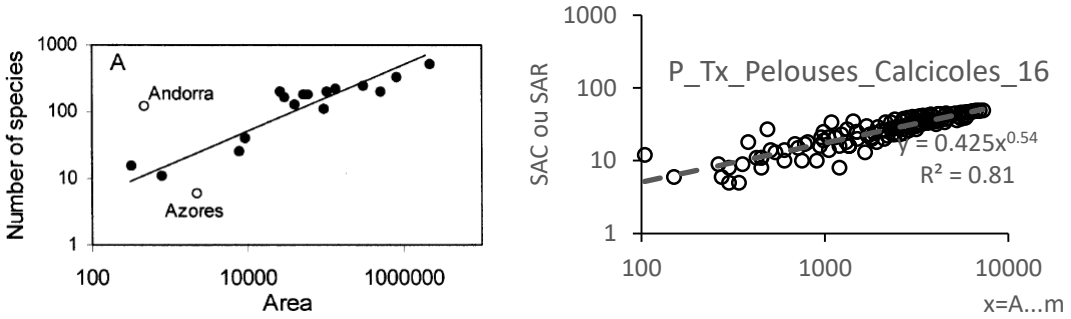


Fig. 25. Méditerranée SAR proportionnel à Area$^{0.49}$ (Werner & Buszko, 2005) et Aquitaine SAR proportionnel à A$^{0.5}$

La loi SAR ne montre pas de limite en fonction de A pour la région.

- Espèces – Nombre d'individus – Durée – Longueurs

Pour un milieu donné, exemple appliqué ici aux pelouses calcicoles, en raisonnant au niveau de la région, le cumul au hasard ou assemblage des données des sites 1 par 1 dit « A1 », 2 par 2 dit « A2 » … A16, est un dénombrement au niveau de la région du nombre d'espèces, des individus en fonction des longueurs parcourues.

Dans une analyse plus fine, il s'agit de prendre en compte les données en nombre d'individus, durée… Les premiers cumuls donnent le nombre d'espèces S, « SNR » en fonction du nombre d'individus N repérés et « SAR[1] » en fonction de la longueur L ou A parcourue (Fig. 26).

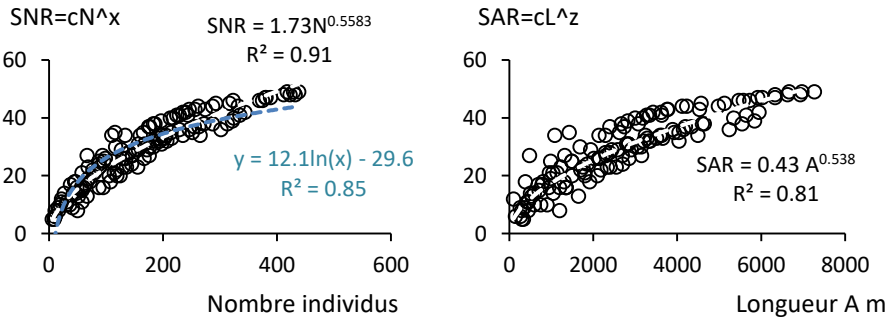


Fig. 26. SNR et SAR en fonction de la longueur parcourue.

Le lien entre le nombre d'espèce S et le nombre d'individus N par le modèle puissance $S=cN^x$ conduit à un exposant x de 0.56, proche de 0.5 de l'indice de Menhinick (1964). Le tracé de l'indice de Odum (S/Log(N), proche de l'indice de Margalef (S–1)/Log(N), est mis en pointillés bleus (Fig. 28).

Par milieu, les corrélations entre le cumul des diversités spécifiques D(N) respectivement d'ordre q=0, q_a=0.05, q_1=1, q_b=2, q_c=8, q_∞ en fonction du nombre d'individus N donne accès à une image de l'hétérogénéité des sites par la dispersion des points, au taux de couverture par

[1] SAR (Species Area Relationship) est un cumul dans l'espace. SAC (Species Area Curve) est aussi une sommation en particulier dans l'espace mais sans le mot Relationship. Rajouter un modèle avec des paramètres demande des données indépendantes pour les déterminer en moyenne et en variance. Puisque les combinaisons de résultats ne sont pas tout à fait indépendantes par répétitions dans ce rapport, les titres comportent les vocables SAC et SAR associés.

l'évolution de la courbure de la courbe de cumul, ce, en fonction du caractère « rare », « commun », « abondant ». La loi en puissance $D=cA^z$ est simple mais ne présente pas de borne haute et elle est adaptée aux campagnes à couverture partielle. Une modification de J.B.Plotkin d'ordre 1 ajoute une variation de z avec A : $D=cA^ze^{-kA}$, k paramètre supplémentaire. Un modèle de Weibull reste plus adapté en général.

Par extrapolation des données à partir de SAR (borne haute) ou bien en utilisant des données f_1 et f_2 (borne basse), il est ainsi possible d'avoir une estimation des nombres de Hill et les 6 valeurs de q=0 à q=8, génèrent les paramètres pour le profil de diversité ainsi corrigés (Fig. 27).

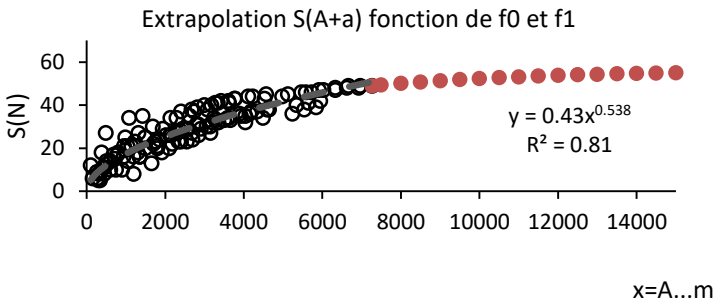


Fig. 27. SNR en fonction de la longueur parcourue.

$$S_{A+a} = S_A + f_0 \left[\left(1 - exp\left(-\frac{a}{A}\frac{f_1}{f_0}\right)\right)\right]$$

Exemple d'extrapolation des données SAR= D_0 (A=L), obtenu avec les f_1 et f_2

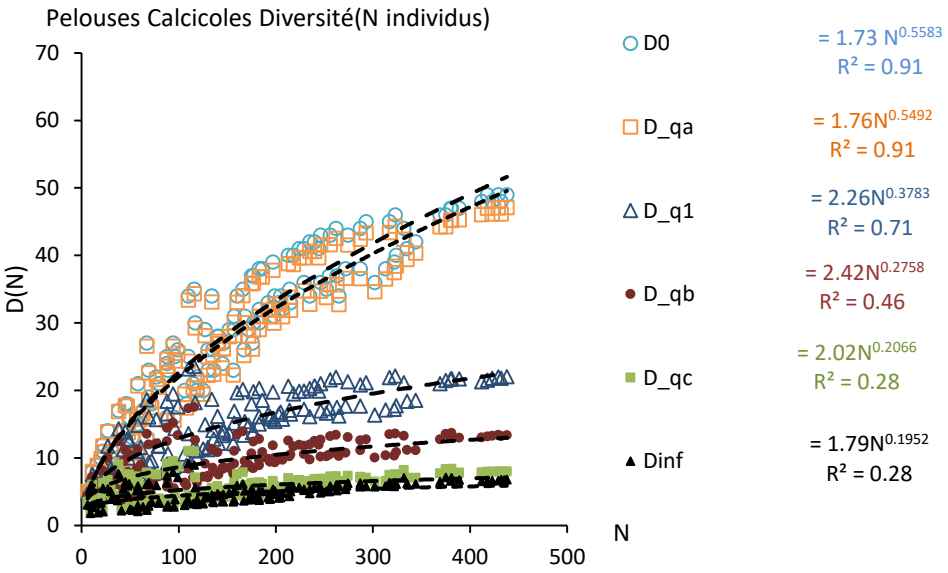


Fig. 28. Diversité des lépidoptères de pelouses calcicoles en fonction du nombre d'individus.

Le tableau (Tab. IX) reprend les valeurs de la Fig. 28 et donne les paramètres du lissage pour les 5 valeurs du nombre de Hill D_0... et l'erreur type (écart type / racine carrée de la population) définie dans Excel.

Tab. IX. Exemple des valeurs de c et D pour la courbe D0.

$D0=c\,N^z$		$D0.05=c\,N^z$		$D1=c\,N^z$		$D2=c\,N^z$		$D8=c\,N^z$		$D\infty=c\,N^z$	
z	Log(c)	z	Log(c)	z	Log(c)	z	Log(c)	z	Log(c)	z	Log(c)
0.558	0.548	0.549	0.563	0.378	0.814	0.276	0.886	0.207	0.703	0.195	0.584
±0.01	±0.07	±0.01	±0.07	±0.02	±0.10	±0.03	±0.13	±0.028	±0.14	±0.03	±0.13

Au lieu de tracer le nombre d'espèces en fonction de la surface observée SAR, le tracé en fonction du temps STR, à vitesse de parcours quasi identique, donne un lissage proche. Cette donnée en fonction du temps n'est pas dans ce cas une variable indépendante de celle dans l'espace A. Dans le cas de vitesses d'observations différentes, elle devient un facteur couplé à celui de la longueur du parcours. Le facteur temps sur plusieurs mois ou bien sur plusieurs années est de son côté une dynamique et un facteur toujours couplés au paramètre surface d'observation. Un tel modèle couplé Surface SAR et Temps STR est un modèle de lissage dit STAR qui, aux deux échelles, sur plusieurs mois, sur plusieurs années cumule, agrège et résume les données. Le produit A T sans couplage au lieu de A ou de T améliore peu le lissage qui passe de R^2 de 0.80 à 0.81 (Fig. 29).

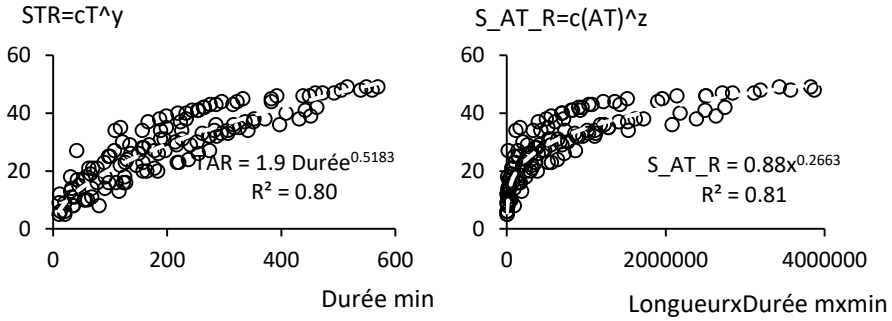


Fig. 29. STR et STAR en fonction du temps et de la longueur des suivis lépidoptères.

Le passage de lissage prenant en compte plusieurs paramètres améliore la corrélation. Les couplages sont nécessaires. L'interpolation des données est acceptable, l'extrapolation demande une manipulation avec précaution et doit être combinées aux singletons et doubletons.

La fonction de lissage avec 3 paramètres Surface A, Temps T, Couverture E=N est :

$$STAER = C\,A^z T^y E^x \; avec \left| \begin{array}{ll} z = z_1 + \frac{u}{2}Log(T) + \frac{v}{2}Log(E) + \frac{s}{3}Log(T)\,Log(E) & u,v,w,s: couplages \\ y = y_1 + \frac{u}{2}Log(A) + \frac{w}{2}Log(E) + \frac{s}{3}Log(A)\,Log(E) & \\ x = x_1 + \frac{v}{2}Log(A) + \frac{w}{2}Log(T) + \frac{s}{3}Log(A)\,Log(T) & \end{array} \right|$$

$$STAER = C\,A^z T^y E^x \text{ , z, y, x. } u,v,w,s: couplages$$

- Nombres de Hill

Pour S espèces, les dénombrements en nombre d'individus Ni par espèce i, pour un nombre total de N individus, permettent de calculer les abondances relatives ou proportions de chaque espèce i par une formulation adaptée aux grands nombres $p_i=N_i/N$ ou bien par des formulations prenant en compte des dénombrements limités.

Le calcul de ces nombres de Hill revient à pondérer les espèces par leur proportion d'abondance parmi les « Sobs » observées puis de calculer une moyenne généralisée à la puissance q−1, (CHAO *et al.*, 2010) (Fig. 30).

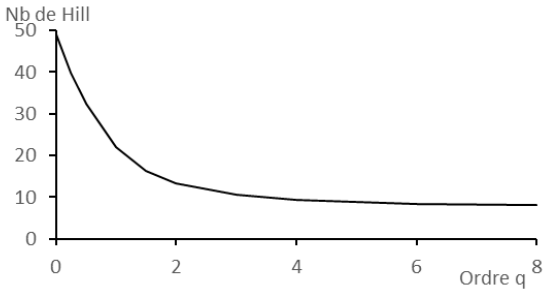


Fig. 30. Nombre de Hill en fonction de l'ordre q.

Le cas d'un nombre de « DHill » espèces avec des proportions identiques est la diversité maximale, la référence absolue pour un milieu. En relation mathématique, la somme des proportions relatives observées à la puissance q est posée comme égale à un nombre équivalent d'espèces, appelé ici D, ayant des proportions identiques 1/D. Le nombre d'espèces DHill équivalent est alors donné par (Tab. X):

$$\left(\sum_{i=1}^{S} p_i^q\right) = \sum_{i=1}^{D} \left(\frac{1}{D}\right)_i^q = \frac{D}{D^q} = \frac{1}{D^{q-1}} \; et \; \ldots \; D = \left(\sum_{i=1}^{S} p_i^q\right)^{\frac{1}{1-q}}$$

- Pour q=0, D_0, l'ensemble des espèces repérées est pris en compte à égalité sans pondération entre elles, quelles que soient leurs abondances relatives, aucune ne peut en être distinguée. La diversité n'est que le nombre d'espèces. C'est la donnée primaire de quantification de la biodiversité,
- Pour q= ∞, $D_\infty = 1/pi_{max}$ et correspond au nombre équivalent d'espèces dominantes, c'est-à-dire la part de l'abondance de l'espèce dominante dans le total des individus traduit en nombre d'espèces, il est appelé le nombre de Berger-Parker,
- Pour q=qb=2, D_2 correspond au nombre d'espèces communes y compris les dominantes. Le Nombre de Simpson correspond à cette valeur, l'espèce est pondérée par son abondance relative,
- Pour q=4: D_4 correspond en pratique à la plage limite d'analyse du profil de diversité, ce cas est en pratique proche de la valeur limite de Berger-Parker pour q>4,
- Pour q=qc=8: D_8 est en pratique la plage limite de lissage dans le calcul analytique, plage qui est donc de 0<=q<8 du profil de diversité, sachant que la valeur limite à l'infini est prise en compte,
- Pour q=qa=0.05: $D_{0.05}$ correspond en pratique à une valeur proche de $DHill_0$, valeur prenant en compte le nombre d'espèces très rares, sachant que le nombre d'espèces total observé est pris en compte,

- Pour q=1, D_1, indice de Shannon-Wiener, correspond à un calcul mathématique particulier du nombre de Hill, car le quotient 1/(1-q) n'est alors pas défini. C'est le nombre d'espèces rares y compris les communes et dominantes, et la formulation générale des nombres de Hill devient dans ce cas:

$$D_1 = exp\left(\sum_{i=1}^{S} -p_i\, Log(p_i)\right) \text{ ... autre écriture } D_1 = \prod_{i=1}^{S} {p_i}^{-p_i}$$

Tab. X. Nombres de Hill des suivis de lépidoptères en pelouses calcicoles.

Nom du Site	D0	D_q0.05	D_q1	D_q2	D_q8	Dinf
1-Borrezes_07	5.0	5.0	4.8	4.5	3.5	3.0
2-Boudyssou_08	14.0	13.8	11.2	9.5	6.7	5.4
3-Cadillon_08	18.0	17.8	13.9	11.2	7.6	6.4
4-Coteau_Moulin_06	12.0	11.8	6.6	3.7	2.2	2.0
5-Daglan_08	8.0	7.8	5.1	3.9	2.7	2.4
6-Dordogne_Tremolat_08	8.0	7.8	4.9	3.2	2.1	1.9
7-Eybenes_06	9.0	8.7	5.0	3.5	2.4	2.2
8-Mounicou_08	6.0	5.9	4.9	4.2	3.1	2.8
9-Panoramis_08	6.0	6.0	5.2	4.5	3.2	2.8
10-Payros-Cazautet_06	9.0	8.9	7.2	5.8	3.8	3.2
11-Pech_Pastur_08	11.0	10.8	7.9	6.3	4.6	3.9
12-Plateau_Argentine_08	10.0	9.9	8.5	7.5	5.9	5.0
13-Pujols_08	11.0	10.6	5.6	3.6	2.3	2.1
14-Ruisseau_Gascons_08	10.0	9.8	7.3	6.0	4.4	3.7
15-Vallee_Vezere_08	8.0	8.0	7.5	7.1	6.0	5.5
16-Vallee_Isle_08	5.0	4.9	3.7	2.8	2.0	1.8
P_Tx_Pelouses_Calcicoles_16	49.0	47.1	22.0	13.3	8.0	6.7

Les tracés de l'ensemble des profils de diversité des sites, 1 à 16, et de l'ensemble des sites des Pelouses Calcicoles donnent la figure suivante (Fig. 31).

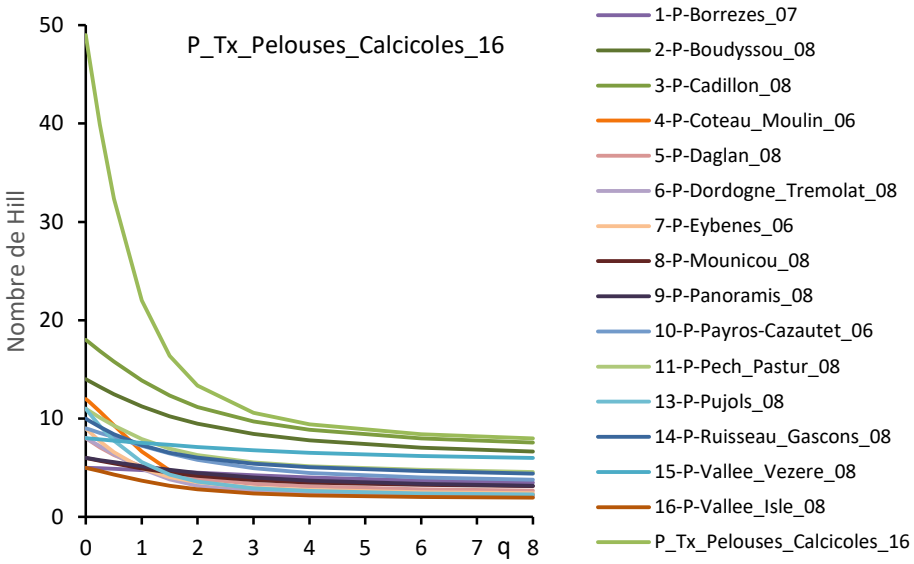


Fig. 31. Profils de diversité sites de pelouses calcicoles.

En comparaison entre les sites pelouses calcicoles et les landes humides, les tracés des profils de biodiversité sont les suivants (Fig. 32).

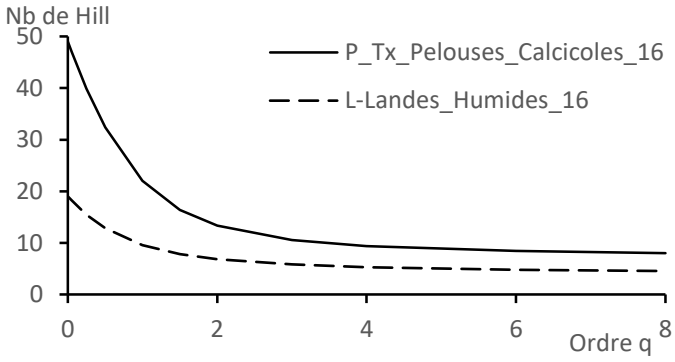


Fig. 32. Profils diversité des suivis de lépidoptères de pelouses calcicoles et de Landes humides.

L'Annexe 13 iNEXT reprend ces données en y ajoutant les incertitudes par la technique de bootstrap. Si l'effort de dénombrement était infini, ce que montre la courbe ci-contre, le nombre de Hill « vrai » des espèces du milieu est plus important. Le nombre d'espèces par exemple pour les pelouses Calcicoles est la valeur observée + une estimation f_0 du nombre d'espèces manquantes estimées à 7 sur 49 observées, voir le paragraphe lié au calcul de f_0. La figure ci-contre montre une estimation des vrais profils estimés à effort infini. Les corrections et incertitudes sur les mesures de terrain font l'objet de multiples méthodes de correction dont il est plus prudent d'en utiliser la diversité pour encadrer les résultats et pour adapter les campagnes de dénombrements qui ne peuvent être que partielles, limitées dans le temps et à un effort donné suffisant (Fig. 33).

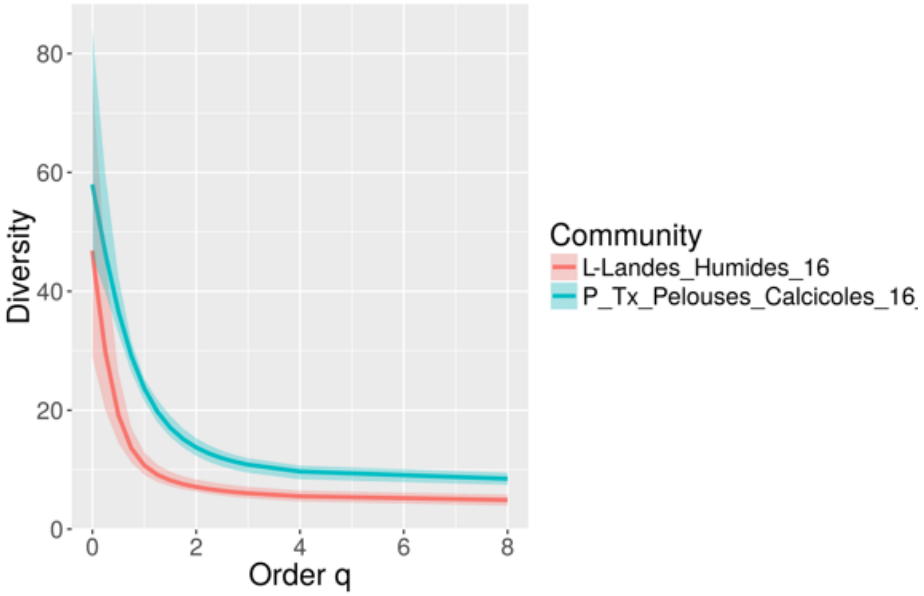


Fig. 33. Profil de diversité des lépidoptères de pelouses calcicoles et de Landes humides du logiciel iNEXT.

- Diversité et Latitude-Longitude

La diversité D_0, q=0, D_1 et D_2. est tracée en fonction de la latitude pour les sites de pelouses calcicoles suivants (Fig. 34) (numéros des sites **en gras les plus au sud**, *en italique les plus au nord)* : 01- Borrèzes, 02-Boudyssou, 03- Cadillon, **04- Coteau_Moulin**, 05- Daglan, 06-Dordogne_Tremolat, *07- Eybènes*, **08- Mounicou**, 09-Panoramis, **10- Payros-Cazautet**, 11-Pech_Pastur, 12- Plateau_Argentine, 13- Pujols, 14- Ruisseau_Gascons, *15- Vallee_Vezere*, 16- Vallee_Isle (Fig. 20). Pour ces sites 1 à 16, la diversité d'ordre 0, 1, 2 a une tendance à diminuer avec la latitude, respectivement de 2.5, 1.5, 1 espèces par degré environ.

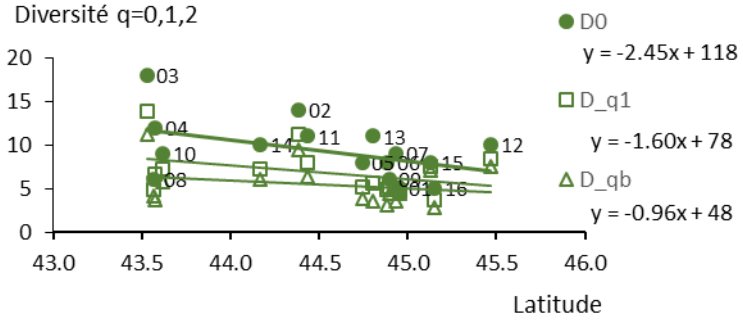


Fig. 34. Diversité des lépidoptères en fonction de la latitude des sites de pelouses calcicoles.

Le zoom du tracé des diversités sur les points des sites de plus hautes latitudes est illustré en Fig. 35.

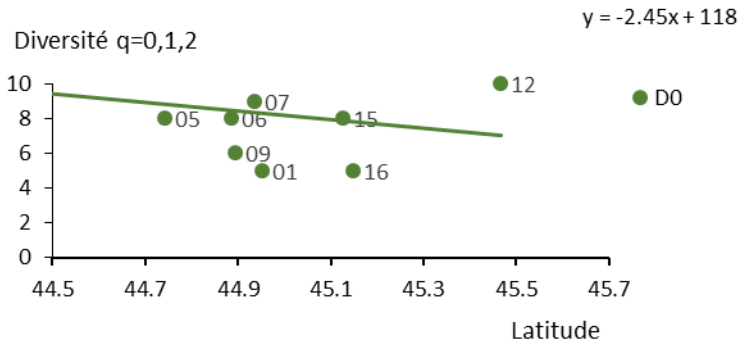


Fig. 35. Diversité des lépidoptères en fonction de la latitude des sites de pelouses calcicoles de hautes latitudes.

La diversité D_0, nombre d'espèces, a une tendance à diminuer avec la longitude de 1 espèce par degré environ au lieu de 2.5 pour la latitude (Fig. 36).

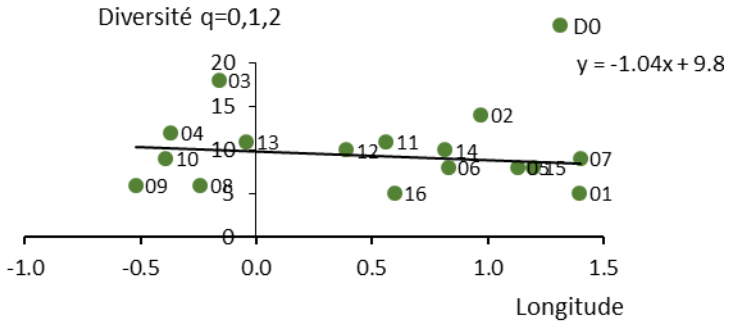


Fig. 36. Diversité des lépidoptères en fonction de la longitude des sites de pelouses calcicoles.

Le lissage de la diversité avec une deux variables latitude ou longitude non couplée n'a pour but que de montrer ici une tendance sur les points récoltés.

- SAR, nombres de Hill, valeur de z

Pour un taxocène étudié, la littérature ne présente pas de traitements reliant les courbes d'accumulation SAC et les nombres de Hill. La découverte des espèces, très rares et autres, (q=0), dans le cas des pelouses calcicoles, est fonction de la longueur parcourue et atteint peu à peu une valeur stable, coefficient z=0.48 ci-dessous en lissant les assemblages nommés précédemment A2, A3 … (la prise en compte des assemblages A1 donne z=0.54). Dans le cas de la recherche des espèces abondantes seules, soit q=2, leur découverte est alors réalisée plus facilement et atteint aussi intuitivement rapidement une valeur limite en nombre. Le coefficient z est de l'ordre de 0.21. Ces images relatives de l'effort de comptage (SAC et SAR confondus) peuvent être visualisées avec l'utilisation des nombres de Hill. La restriction « toutes choses étant égales » est ici : mêmes données de comptages avec leurs incertitudes, regroupements des données donc mêmes couplages entre elles. Les graphes suivants utilisent les nombres de Hill, SAR, en fonction de l'ordre q pour q=0, q=1, q=2 (assemblages de type A2, A3…) (Fig. 37–Fig. 39).

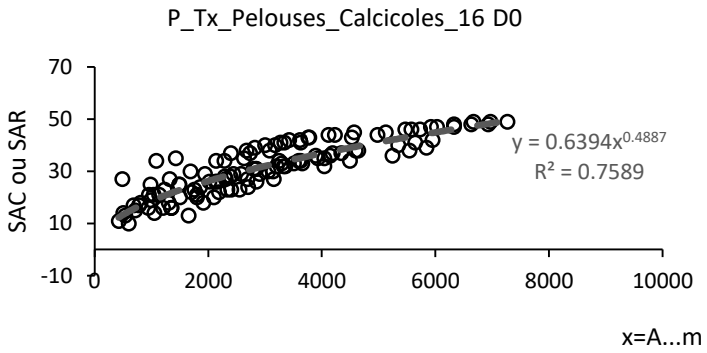


Fig. 37. SAR en fonction de en fonction de l'ordre q pour q=0, z=0.49.

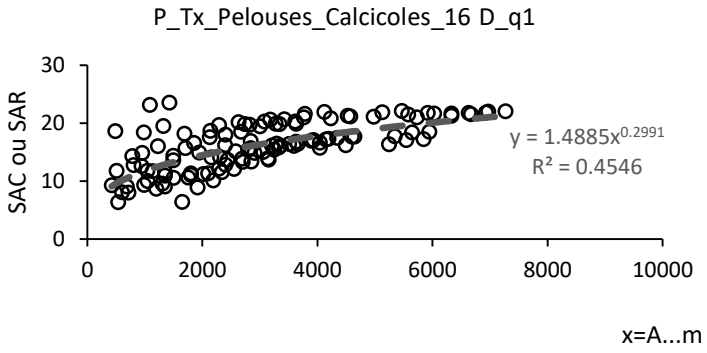


Fig. 38. SAR en fonction de en fonction de l'ordre q pour q=1, z=0.45.

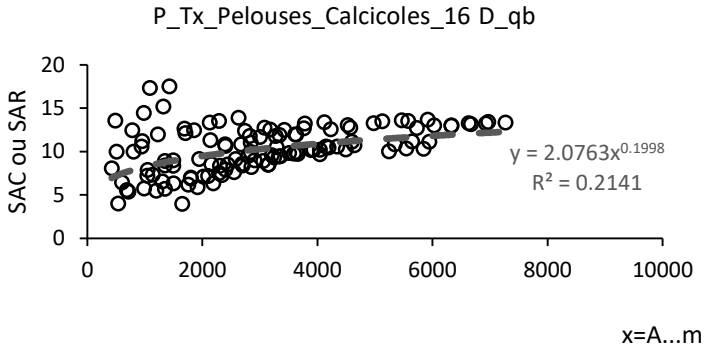


Fig. 39. SAR en fonction de en fonction de l'ordre q pour q=2, z=0.21.

- Profils de biodiversité et lissages analytiques

Les nombres de Hill, le profil de biodiversité varient entre D_0, le nombre d'espèces observées et la part de l'espèce ayant l'abondance relative la plus grande p_{max}, soit $D_\infty = 1/p_{max}$. A partir de la formule des nombres de Hill « D » la fonction de lissage F varie entre 0 et 1 et est définie par:

$$D_q = D = \left(\sum_{i=1}^{S} p_i^q\right)^{\frac{1}{1-q}} \dots F = \frac{D - D_\infty}{D_0 - D_\infty}$$

Le lissage de FDHill proposé est défini par la fonction suivante où m dépend de q:

$$F = e^{-\beta q^m}$$

1–Le protocole de lissage est résumé par une première étape de lissage analytique qui donne accès aux paramètres β, m_1, m_2, m_3 tels que :

$$F = e^{-\beta q^{m_1+m_2\ F_1 - m_3 F_2}}$$

Les fonctions F_1 et F_2 ne sont que des fonctions intermédiaires pour effectuer les calculs analytiquement jusqu'à une forme plus générale.

2–Dans une deuxième étape, l'agrégation de la formule précédente dans un modèle plus général va simplifier la formulation finale, mais les paramètres ne sont alors indentifiables directement que par une analyse non linéaire :

$$F = e^{-\beta q^{(m_0-m_\infty)e^{-bq^{\mu}}+m_\infty}}$$

Les valeurs précédentes de m_1, m_2 et m_3 de l'étape 1 permettent en fait d'en déduire m_0 et m_∞ et les valeurs de b et m restantes deviennent identifiables ainsi par approximation. L'ensemble devient alors une analyse globale linéaire réalisée par des étapes successives en « gigogne ». La formulation finale du lissage du profil de diversité est :

Pour q = 0, l'exposant de q tend vers m_0:

$$F_0 = e^{-\beta q^{m_0}}$$

An q=infini : l'exposant de q devient:

$$F_\infty = e^{-\beta q^{m_\infty}}$$

Note : le terme μ de cette fonction générale est un paramètre de forme, c'est une correction minime. Il peut être posé égal à 1. Sa fonction est d'avoir un terme supplémentaire qui justifie les lissages. Les valeurs par défaut choisies pour les deux fonctions intermédiaires sont telles que ces fonctions se recouvrent dans la zone des q situées en 1 et 2. Et dans ce cas, disposant de $m_1+m_2=m_0$ et $m_1-m_3=m_\infty$, l'approximation du terme b est:

$$b \approx -Log\left(\frac{m_2F_1 - m_3F_2 + m_3}{m_2 + m_3}\right)$$

Les valeurs m_2 et m_3 sont imposées positives dans l'identification.

La fonction générale est ainsi entièrement obtenue sans utiliser de solveur non linéaire, ni de méthodes des moindres carrés.

Note : L'idée de base sous–tendue du lissage est de poser que la biodiversité D, le profil de biodiversité est dans un état donné. Elle est une fonction de variables x (proportions des espèces…), soit D(x) et évolue autour de cette position dD/dx en fonction du niveau D(x) de façon linéaire ou non linéaire. La forme de Weibull est une fonction simple qui satisfait à cette hypothèse. Les sites sont caractérisés par un profil de diversité résumé par 6 paramètres. Le paramètre β est le premier terme de fragilité du milieu, plus il est grand, plus la part d'espèces rares est importante. S'il est nul, le site est homogène et moins fragile. Ce paramètre varie en fonction de q, il est complété par les termes m_0, m_∞ , b relatifs aux espèces rares et espèces abondantes.

Le résultat des paramètres pour les pelouses calcicoles se trouvent dans le tableau suivant (Tab. XI).

Tab. XI. Paramètres de lissages des profils de diversité des lépidoptères de pelouses calcicoles.

Site	β	m_1	m_2	m_3	m_0	m_∞	b	c
1-Borrezes_07	0.13	1.05	0.00	0.05	1.05	1.00	0.03	39%
2-Boudyssou_08	0.39	0.97	0.04	0.20	1.01	0.77	0.17	91%
3-Cadillon_08	0.44	1.03	0.00	0.25	1.03	0.78	0.03	83%
4-Coteau_Moulin_06	0.77	1.14	0.00	0.53	1.14	0.61	0.03	50%
5-Daglan_08	0.71	0.90	0.11	0.23	1.01	0.67	0.35	96%
6-Dordogne_Tremol_08	0.71	1.10	0.00	0.44	1.10	0.66	0.03	65%
7-Eybenes_06	0.89	0.91	0.13	0.28	1.04	0.63	0.36	90%
8-Mounicou_08	0.40	1.04	0.00	0.28	1.04	0.75	0.03	66%
9-Panoramis_08	0.30	1.04	0.00	0.19	1.04	0.84	0.03	76%
10-Payros-Cazautet_06	0.37	1.06	0.00	0.28	1.06	0.78	0.03	63%
11-Pech_Pastur_08	0.57	0.99	0.04	0.31	1.03	0.68	0.14	84%
12-Plateau_Argenti_08	0.36	0.96	0.04	0.23	1.00	0.73	0.18	94%
13-Pujols_08	0.94	0.97	0.07	0.32	1.05	0.65	0.21	91%
14-Ruisseau_Gascon_08	0.56	0.85	0.16	0.20	1.01	0.65	0.51	89%
15-Vallee_Vezere_08	0.20	1.03	0.00	0.11	1.03	0.92	0.03	59%
16-Vallee_Isle_08	0.53	1.08	0.00	0.37	1.08	0.71	0.03	59%
P_Pelouses_Calcicoles	1.02	0.92	0.12	0.32	1.04	0.60	0.30	97%

Disposant des 6 valeurs de D_0 à D_8, le profil de diversité peut être généré. Le terme β=beta_q1 du profil de diversité dépend de la diversité pour q=1. Il peut être assimilé à une mesure de la fragilité du milieu (Fig. 40). Aucune corrélation n'est définie entre ce paramètre de chaque site et sa latitude, il est propre au site.

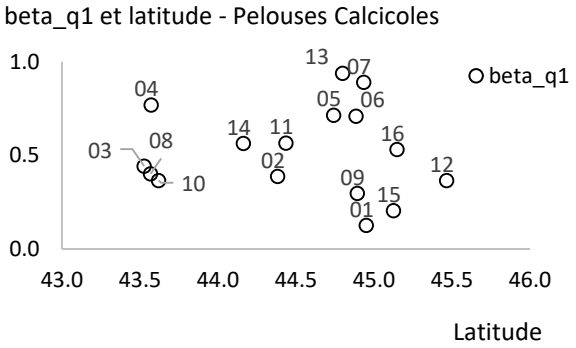


Fig. 40. Profil de biodiversité β des suivis lépidoptères de pelouses calcicoles.

- Taux de couverture

Il est très difficile de dénombrer les espèces très rares, c'est-à-dire les espèces ayant une proportion relative très faible d'individus par rapport aux autres espèces. La richesse spécifique D_0 réelle d'un milieu ou assemblage d'espèces, est donc difficile à obtenir voire sans définition… Au lieu de rechercher les espèces de façon exhaustive, l'objectif est d'effectuer

des campagnes de mesure sur les sites de façon à pouvoir les comparer entre eux. Pour cela le concept de taux de couverture des échantillonnages sur le terrain a été proposé par Alan Turing et I.J.Good (1953) et contrairement à l'intuition, il est possible de le calculer de façon fiable. Si les espèces des sites sont observées à taux de couverture constant, ils sont comparables entre eux sans corrections. Si les sites sont observés à différents taux de couverture, les formules d'interpolation ou d'extrapolation sont à combiner pour déterminer le nombre d'espèces et leurs proportions à taux de couverture constant. L'extrapolation pure est à privilégier car elle conserve les données des sites les mieux dénombrés mais ajoute une incertitude aux résultats liés à un taux de couverture maximal. L'interpolation est plus fiable, entraîne peu d'incertitudes, mais les valeurs sont rapportées à un taux de couverture moyen plus faible. La solution est de combiner les deux pour conserver au mieux les données.

Si le nombre total d'individus dans le milieu est N_m et si le milieu avait été entièrement dénombré avec N_m, il aurait permis de déterminer le nombre total d'espèces S_m. Disposant d'un échantillon avec N individus <N_m, conduisant à compter S espèces, le taux de couverture C_N calculable indique que ces N individus couvrent C_N% des espèces N_m. 1–C_N% est la proportion du nombre total d'individus N_m qui appartient aux espèces non observées dans l'échantillon. Le nombre d'espèces total manquant ne peut pas être déduit directement de C_N car le nombre d'individus total du milieu n'est pas connu. Si C_N est de 90% par exemple, le nombre d'espèces non repéré peut être très grand mais C_N=90% des N_m individus du milieu appartiennent aux S espèces données par l'échantillon.

Les formules d'interpolation et extrapolation par le taux de couverture sont basées sur les travaux de Chao A., Ma K. H. Hsieh T. C. Institute of Statistics, Tsing Hua University, Hsin–Chu, Taiwan. Avec un nombre d'individus noté N ou n observé suffisamment important (>20 par exemple), un nombre d'espèces présentant pour une partie des singletons, des doubletons, cela permet des interpolations ou des extrapolations. La notion de taux de couverture est une donnée qui s'impose de plus en plus pour associer, limiter ou amplifier si nécessaire les efforts de mesure. Pour comparer des sites, les profils peuvent être corrigés pour les rapporter à un taux de couverture identique, pas uniquement à celui dont la couverture est la plus faible. Le taux de couverture est une notion plus générale que le nombre d'individus pour la mesure de l'effort de dénombrement. Un site dénombré avec très peu d'individus est une donnée qui peut être suffisante. Le taux de couverture C_n d'un échantillon avec n individus et des singletons f_1 et des doublons f_2 est donné par:

$$C_n = 1 - \frac{f_1}{n}\left(\frac{(n-1)f_1}{(n-1)f_1 + 2f_2}\right)$$

L'extrapolation C_{n+m} du taux de couverture pour un nombre d'individus de n+m au lieu de n est estimé par :

$$C_{n+m} = 1 - \frac{f_1}{n}\left(\frac{(n-1)f_1}{(n-1)f_1 + 2f_2}\right)^{1+m}$$

L'interpolation $C_{m<n}$ du taux de couverture pour un nombre d'individus de m<n au lieu de n est estimé par (calculs d'arrangements ()):

$$C_{m<n} = 1 - \sum_{X_i \geq 1}^{X_n} \frac{X_i}{n} \frac{\binom{n - X_i}{m}}{\binom{n-1}{m}}$$

… il est possible de définir par quel facteur x il faut multiplier le dénombrement initial n pour obtenir un taux de couverture $C_x > C_n$.

$$x = \frac{\dfrac{\mathrm{Log}\left(\dfrac{\mathrm{n}\,(1 - C_x)}{f_1}\right)}{\mathrm{Log}\left(\dfrac{(\mathrm{n} - 1) f_1}{(\mathrm{n} - 1) f_1 + 2 f_2}\right)} - 1}{\mathrm{n}} + 1$$

Le tableau suivant (Tab. XII) donne le taux de couverture C_N atteint par site, puis le taux qui serait atteint en multipliant par 2 le nombre d'individus N observés soit C_{2N}, et enfin la valeur x de C_{xN} pour rapporter à 0.8 les sites dont le taux est inférieur à 0.8=80%. L'extrapolation des données est accepté dans la littérature jusqu'à un nombre simulé d'individus de 3N. Dans le cas des comptages 4 fois dans l'année (Mai à août), au lieu de 1 ou 2 fois en 2016, le nombre d'individus observé sera multiplié par environ 3. Par exemple, les cas déjà réalisés en 2016 se retrouvent à Borrèzes en juillet (5 espèces) et en juin (12 espèces), Coteau du Moulin en juin (12 espèces) et en mai (6 espèces), Payros-Cazautet juin (12 espèces) et en mai (9 espèces), Eybènes en juillet (4 espèces) en juin (9 espèces). Dans le cas 2017, le taux de couverture sera donc lié à environ 3 fois plus d'individus qu'en 2016. L'estimation du taux de couverture sera de l'ordre de C_{3N}, il est mentionné en dernière colonne du tableau suivant. Le cas Coteau du Moulin passerait ainsi de 60 à 67% en taux de couverture. Mais avec ce nouveau taux une extrapolation des données sera envisageable avec 2 fois plus d'individus, l'extrapolation avec C_{6N} donnerait une valeur de taux de couverture de 83% pour ce site et de plus de 90% pour tous les autres.

Tab. XII. Taux de couverture des suivis de lépidoptères de pelouses calcicoles.

Nom du Site	C_N(Couverture)	C_{2N}(Nx2)	C_{xN} = 0.8, x=	…C_{3N}(Nx3)
1-Borrezes_07	39%	66%	2.9	81%
2-Boudyssou_08	91%	98%	0.91>0.8	100%
3-Cadillon_08	83%	94%	0.82>0.8	98%
4-Coteau_Moulin_06	50%	**60%**	5.3	**67%**
5-Daglan_08	96%	99%	0.96>0.8	100%
6-Dordogne_Tremolat_08	65%	76%	2.6	83%
7-Eybenes_06	90%	97%	0.90>0.8	99%
8-Mounicou_08	66%	83%	1.8	92%
9-Panoramis_08	76%	94%	1.1	98%
10-Payros-Cazautet_06	63%	74%	2.7	82%
11-Pech_Pastur_08	84%	95%	0.84>0.8	99%
12-Plateau_Argentine_08	94%	100%	0.94>0.8	100%
13-Pujols_08	91%	95%	0.91>0.8	97%
14-Ruisseau_Gascons_08	89%	94%	0.893>0.8	96%
15-Vallee_Vezere_08	59%	88%	1.6	97%
16-Vallee_Isle_08	59%	80%	2.0	90%
P_Tx_Pelouses_Calcicoles_16	97%[2]	99%	0.973>0.8	100%

[2] Valeur identique de calcul par iNEXT

- Diversité sites et région

Dans la littérature, les formulations, discussions, définitions des diversités α, β, γ sont nombreuses. La version la plus aboutie au niveau cohérence pour ces diversités est ici issue des publications nombreuses, récentes, documentées des chercheurs Chiu, Jost, Chao (CHIU *et al.*, 2014a). La région γ renferme N sites, par exemple 16 en milieu de pelouses calcicoles. L'ensemble de ces sites contient S=49 espèces et une diversité régionale fonction de q D_γ. La diversité est un nombre d'espèces. La diversité de chaque site est D_α. La somme des diversités des espèces des sites ne peut pas dépasser celle de la région, des espèces sont communes entre les sites.

Parmi les différentes définitions, en retenant que la diversité D_β est le rapport entre la diversité globale D_γ et D_α, cette diversité D_β n'est plus un nombre d'espèces. Si les N sites sont identiques, les espèces S de chacun d'eux se retrouvent de site en site, et dans la région. La somme des espèces D_γ de la région est égale à la somme de celle d'un des sites et D_β =1. Autrement dit l'équivalent d'1 seul site est commun à l'ensemble. Si les N sites ont la même composition en nombre d'espèces mais si chacun d'eux renferme des espèces différentes qu'il ne partage donc pas, la diversité de la région sera N fois celle d'un site et D_β sera égale à N… Dans tous les cas intermédiaires de nombre d'espèces différentes de site en site, d'espèces partagées en partie ou non, avec des sites j de 1 à N ayant des importances relatives entre eux données par une pondération w_j, il s'agit d'obtenir un nombre de site D_β équivalent distincts. Dans la littérature très abondante sur le sujet (MARCON, 2015), la définition de la diversité γ de la région due à Routledge fait l'objet d'un consensus. « p_{ij} » est l'abondance relative de l'espèce i du site j. La somme des proportions des espèces i=1à S de chaque site j =1.:

$$D_{\gamma\ Rout} = \left(\sum_{i=1}^{S}\left(\sum_{j=1}^{N} w_j p_{ij}\right)^{q}\right)^{\frac{1}{1-q}} \cdots q \neq 1\ ; D_\gamma = exp\left\{\sum_{i=1}^{S}\left[-\left(\sum_{j=1}^{N} w_j p_{ij}\right) Log\left(\sum_{j=1}^{N} w_j p_{ij}\right)\right]\right\} \cdots q = 1$$

Noter que dans cette définition : $\sum_{j=1}^{N} w_j = 1$

La définition de la diversité D_α est sujette à débat. A titre d'exercice de principe seulement pour 2016, la démarche étant identique avec d'autres formulations, retenons celle de Chiu et Chao donnée par, calculs à valider:

$$D_{\alpha\ Chiu} = \frac{1}{N}\left(\sum_{i=1}^{S}\left(\sum_{j=1}^{N}\left(w_j\ p_{ij}\right)^{q}\right)\right)^{\frac{1}{1-q}} \cdots q \neq 1\ ; D_\alpha = exp\left\{-\left(\sum_{i=1}^{S}\left(\sum_{j=1}^{N} w_j\ p_{ij}\ Log\left(w_j\ p_{ij}\right)\right)\right) - Log(N)\right\} \cdots q = 1$$

Noter que dans cette définition : $\sum_{j=1}^{N} w_j = 1$

$$D_\beta = \frac{D_\gamma}{D_\alpha} = \left(\frac{\left(\sum_{i=1}^{S}\left(\sum_{j=1}^{N} w_j p_{ij}\right)^{q}\right)}{\frac{1}{N}\left(\sum_{i=1}^{S}\left(\sum_{j=1}^{N}\left(w_j\ p_{ij}\right)^{q}\right)\right)}\right)^{\frac{1}{1-q}} \cdots q = 1$$

La pondération w_j des sites la plus simple par défaut peut être leur équivalence si les longueurs de transects, les temps d'observation, le taux de couverture sont proches. Par exemple, dans le cas des 16 sites en pelouses calcicoles et chaque site compte pour 1/16=0.06, cas wj_3 ci-dessous. La prise en compte du nombre d'individus observés par site est aussi pertinente. Ce nombre correspond à un effort d'échantillonnage. Il correspond au cas wj_2 ci-dessous, chaque site est pondéré par son nombre d'individus repérés et ensuite divisé par le

nb total d'individus recensés dans la région. Le taux de couverture du site est la notion la plus forte. Le taux de chaque site est rapporté à la somme des taux de couverture pour avoir une somme des pondérations égales à 1, cas wj_1 (Tab. XIII).

Tab. XIII. wj_1, wj_2, wj_3 par sites de suivis des lépidoptères de pelouses calcicoles.

Total des sites	Couvertures: 12	Nb individus : 438	Nb sites : 16
Sites	wj_1	wj_2	wj_3
01-P-Borrezes_07	0.03	0.01	0.06
02-P-Boudyssou_08	0.08	0.10	0.06
03-P-Cadillon_08	0.07	0.10	0.06
04-P-Coteau_Moulin_06	0.04	0.05	0.06
05-P-Daglan_08	0.08	0.11	0.06
06-P-Dordogne_Tremolat_08	0.05	0.04	0.06
07-P-Eybenes_06	0.08	0.09	0.06
08-P-Mounic ou_08	0.05	0.03	0.06
09-P-Panoramis_08	0.06	0.03	0.06
10-P-Payros-Cazautet_06	0.05	0.04	0.06
11-P-Pec h_Pastur_08	0.07	0.07	0.06
12-P-Plateau_Argentine_08	0.08	0.07	0.06
13-P-Pujols_08	0.08	0.13	0.06
14-P-Ruisseau_Gasc ons_08	0.07	0.08	0.06
15-P-Vallee_Vezere_08	0.05	0.03	0.06
16-P-Vallee_Isle_08	0.05	0.02	0.06
Somme des c olonnes	1.00	1.00	1.00

D_β est le nombre équivalent de sites distincts parmi les N sites, notion en cohérence avec celle du nombre d'espèces équivalentes. Quand tous les sites sont identiques en types d'espèces et en proportions d'abondances relatives, $D_\beta = 1$. Quand tous les sites sont distincts en types d'espèces et en proportions d'abondances relatives, $D_\beta =$ nombre de sites de la région soit $D_\beta = 16$ pour les pelouses calcicoles.

Notation : « N » est le nombre d'assemblages ou de sites j=1 à N et « S » est le nombre d'espèces i=1 à S. Ces formulations assurent que, quel que soit q, D_γ est toujours plus grand que D_α. D_β est toujours compris entre 1 (un équivalent site en commun) et N (les sites sont identiques). D_β est interprétée comme le nombre effectif d'assemblages distincts dans la diversité de l'assemblage des N sites fonction de q, l'importance des abondances relatives des espèces. Quand la pondération des sites est identique, w_i=1/N, ces formulations deviennent :

$$D_\alpha = \left(\frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N}\left(\sum_{i=1}^{S}(p_{ij})^q\right)\right)^{\frac{1}{1-q}} \cdots q \neq 1 \; ; D_\alpha = exp\left\{-\frac{1}{N}\left[\sum_{j=1}^{N}\left(\sum_{i=1}^{S}\left(p_{ij}\, Log(p_{ij})\right)\right)\right]\right\} \cdots q = 1$$

$$D_\alpha = \left(\frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N}(\lambda_j)\right)^{\frac{1}{1-q}} \cdots q \neq 1 \; ; D_\alpha = exp\left\{-\frac{1}{N}\left[\sum_{j=1}^{N}\lambda_j\right]\right\} \cdots q = 1$$

Dans le cas où les sites sont rapportés au même taux de couverture, la pondération des sites entre eux est identique.

Les figures suivantes (Fig. 41) donnent les diversités D_γ=Dg, D_α=Da, ordonnées de gauches, D_β=Db, ordonnées de droite, dans les 3 cas de pondérations à savoir par la couverture wi_1, le nombre d'individus wi_2 et dans le cas d'une pondération identique wi_3. Les tracés 1 et 3 ne différent au maximum que de 1% en diversité γ de la région.

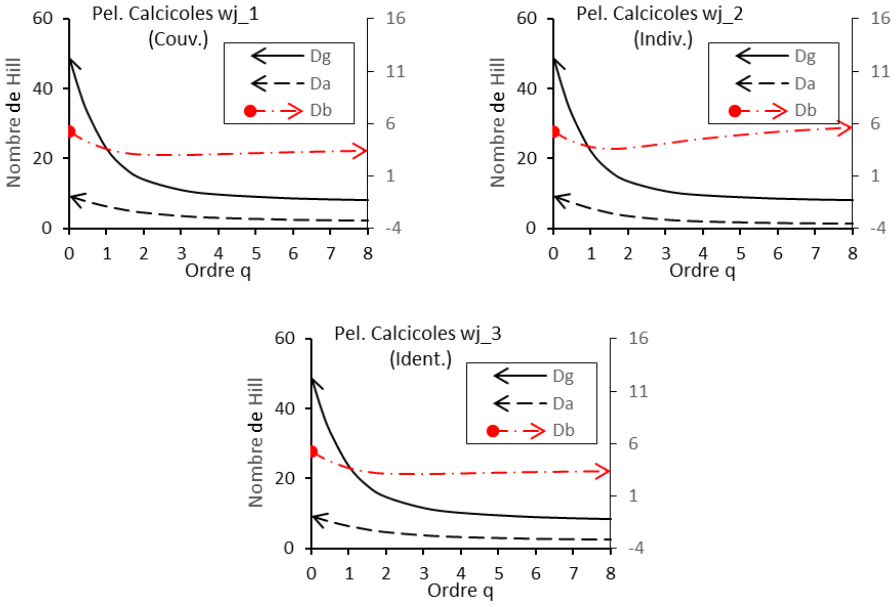


Fig. 41. Tab. XIII. wj_1, wj_2, wj_3 des suivis des lépidoptères de pelouses calcicoles.

Compte tenu des campagnes d'observations effectuées sur des longueurs du même ordre de grandeur, avec un nombre de transects proche, un nombre de sites important, les pondérations de pondérations identiques entre sites ne semblent pas un biais important.

La loi multiplicative de Whittaker est préférée ici et définit la diversité β comme le rapport de la diversité γ sur la diversité α. D_β est une mesure d'échanges d'espèces entre les sites. Si les sites sont distincts D_β=N. S'ils sont identiques D_β =1. Il existe aussi une définition additive, homogène à un nombre d'espèces qui fait de son côté l'objet de plus de controverse dans la littérature.

- Similarités

La diversité β donne l'information d'échange d'espèces entre les sites d'une région par la notion du nombre de sites équivalents distincts. Pour donner un indice de différentiations, d'échanges, de similarités des compositions des communautés entre des régions différentes, la définition de la diversité des sites D_β est rapportée à un nombre compris entre 0 et 1. Cela conduit aux termes d'emboîtement, de recouvrement, de similarité. Pour être homogène avec les nombres de Hill, il s'agit d'avoir des indices qui mesurent ces paramètres pour les espèces rares, communes, abondantes, soit des indices fonction de l'ordre q, 4 paramètres dans la littérature regroupent toutes ces notions (MAGURRAN, 2004 ; CHAO *et al.*, 2012 ; CHAO & CHIU, 2016):

- C_{qN} : Recouvrement local, vu du site. Similarité C_{qN} : si on se place dans un site, à son niveau local, c'est la proportion des espèces rares, communes, abondantes, soit une fonction de q… des espèces du site qui se retrouvent en moyenne dans les autres sites. $1-C_{qN}$ est la proportion des espèces non partagées. La similarité de Sørensen (q=0), celles de Horn (q=1) et Morisita-Horn (q=2) sont retrouvées. Exemple 1, q=0.05, $C_{qN}=C_{0.05N}=0.72$, 72 % des espèces très rares à abondantes d'un site se retrouvent en moyenne dans l'ensemble des sites. Exemple 2, q=2, $C_{qN}=C_{2N}=0.15$, 15 % des espèces communes et abondantes d'un site se retrouvent en moyenne dans l'ensemble des sites, etc. Si $C_{0N}=100\%$, les sites sont identiques, si $C_{0N}=0$, les sites sont distincts. 1-CqN, le complément, est la différentiation. $1-C_{2N}$ est la différentiation génétique.
- U_{qN} : Global, région. La région est composée de N sites, UqN est la proportion des espèces de la région qui se retrouve en moyenne dans chaque site, indice de Jaccard. Exemple 1: q=0.05, $U_{0.05N}=0.15$, 15 % des espèces très rares à abondantes de la région se retrouvent en moyenne dans chaque site. Exemple 2 : q=2, 73% des espèces communes et abondantes de la région se retrouvent en moyenne dans les sites.
- Les indices S_{qN}, homogénéité et V_{qN}, taux de stabilité sont des cas particuliers.
- Les formulations (Chiu *et al.*, 2014a) correspondantes en fonction de D_β et de q sont :
- Similarité C_{qN} part des espèces d'un site se retrouvant dans les autres sites :

$$C_{qN} = \frac{\left(\frac{1}{D_\beta}\right)^{q-1} - \left(\frac{1}{N}\right)^{q-1}}{1 - \left(\frac{1}{N}\right)^{q-1}} \ldots si\ q <> 1\ et\ U_{1N} = C_{1N}$$

$$= \frac{Log(D_\alpha) - Log\left(D_\gamma\right) - \sum_{j=1}^{N} w_j\, Log\left(w_j\right)}{Log(N)}$$

D_β=N sites distincts, $C_{qN}=0$. $D_\beta=1$ sites identiques, $C_{qN}=1$. Si les pondérations w_j sont identiques, l'équation C_{1N} devient :

$C_{1N} = 1 - \frac{Log\left(D_\gamma\right) - Log(D_\alpha)}{Log(N)}$, Dissimilarité : $1-C_{qN}$

- Similarité UqN part des espèces de la région se retrouvant dans les sites :

$$U_{qN} = \frac{\left(\frac{1}{D_\beta}\right)^{1-q} - \left(\frac{1}{N}\right)^{1-q}}{1 - \left(\frac{1}{N}\right)^{1-q}} \ldots si\ q <> 1\ et\ U_{1N} = C_{1N}$$

$$= \frac{Log(D_\alpha) - Log\left(D_\gamma\right) - \sum_{j=1}^{N} w_j\, Log\left(w_j\right)}{Log(N)}$$

Dissimilarité : $1-U_{qN}$

- similarité SqN, espèces communes partagées :

$$S_{qN} = \frac{\frac{1}{D_\beta} - \frac{1}{N}}{1 - \frac{1}{N}}$$

… voir C_{qN} avec q=2, Morisita-Horn (Morisita 1959) similarité,

- V_{qN} dissimilarité, espèces très rares non partagées :

$$V_{qN} = 1 - \frac{D_\beta - 1}{N - 1}$$

V_{qN} voir q=0 et1–C_{qN}

D_β indique que 3 à 5 sites équivalents sont indépendants parmi les 16 sites des pelouses calcicoles (Tab. XIV).

Tab. XIV. Similarités des suivis de lépidoptères de pelouses calcicoles (pondérations identiques entre sites).

q	Dγ	Dα	Dβ	C_{qN}	U_{qN}
0.00	49.0	9.4	5.2	72%	14%
0.05	47.1	9.2	5.1	71%	15%
0.25	40.3	8.5	4.7	68%	21%
0.50	33.3	7.7	4.3	64%	31%
1.00	23.5	6.4	3.7	53%	53%
1.50	17.9	5.4	3.3	40%	73%
2.00	14.7	4.7	3.1	27%	86%
3.00	11.6	3.8	3.1	10%	97%
4.00	10.2	3.2	3.2	3%	99%
6.00	9.0	2.7	3.3	0%	100%
8.00	8.4	2.5	3.4	0%	100%

La Fig. 42 illustre les calculs pour ce cas des pelouses calcicoles avec des sites pondérés de façon identique. Le tracé de Db=Dβ a son ordonnée à gauche et C_{qN}, U_{qN}, S_{qN}, V_{qN} variant de 0 à 1 se réfèrent à l'ordonnée de droite.

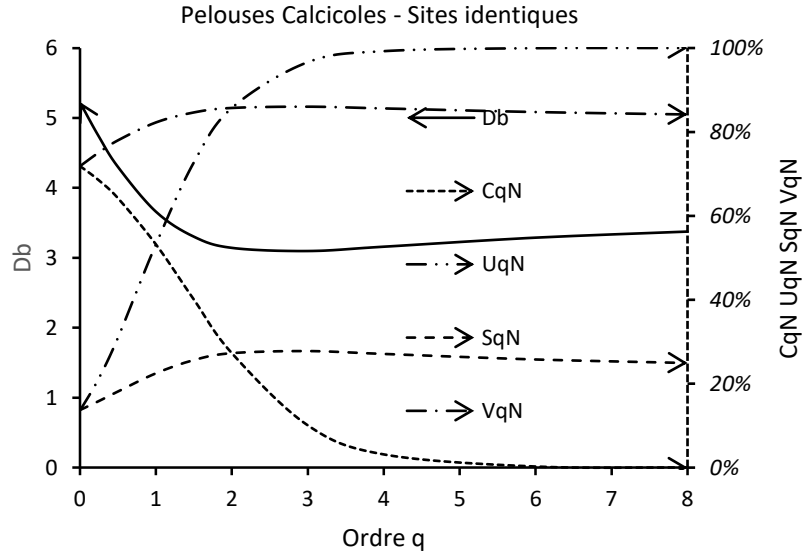


Fig. 42. Diversités Dβ Db et Similarités CqN, UqN, SqN, VqN

- Liste des espèces

Le tableau suivant donne par site le numéro de l'espèce la plus nombreuse, le nombre d'individus, le nom de l'espèce, puis l'espèce la plus abondante suivante, etc. Le fond des cellules est en partie coloré par le nombre d'espèces (Tab. XV).

Tab. XV. Espèces de lépidoptères les plus nombreuses par site de pelouses calcicoles.

1-P-Borrezes_07	N°23_2;Flambé	N°17_1;Citron de provence	N°17_1;Citron de provence	N°17_1;Citron de provence
2-P-Boudyssou_08	N°51_8;Azuré commun	N°12_6;Fluoré	N°12_6;Fluoré	N°3_4;Petite violette
3-P-Cadillon_08	N°13_7;Azuré du trèfle	N°13_7;Azuré du trèfle	N°37_5;Myrtil	N°51_4;Azuré commun
4-P-Coteau_Moulin_06	N°38_11;Demi-deuil	N°8_1;Céphale	N°8_1;Céphale	N°8_1;Céphale
5-P-Daglan_08	N°12_21;Fluoré	N°4_11;Silène	N°37_7;Myrtil	N°1_3;Collier de corail
6-P-Dordogne_Tremolat_08	N°12_9;Fluoré	N°45_2;Machaon	N°2_1;Azuré sp.	N°2_1;Azuré sp.
7-P-Eybenes_06	N°37_19;Myrtil	N°38_9;Demi-deuil	N°56_5;Grande coronide	N°10_2;Fadet commun
8-P-Mounicou_08	N°37_4;Myrtil	N°10_3;Fadet commun	N°28_1;Leptidea sp.	N°28_1;Leptidea sp.
9-P-Panoramis_08	N°33_4;Bel Argus	N°2_2;Azuré sp.	N°2_2;Azuré sp.	N°11_1;Souci
10-P-Payros-Cazautet_06	N°13_5;Azuré du trèfle	N°38_3;Demi-deuil	N°48_2;Piéride de la rave	N°11_1;Souci
11-P-Pech_Pastur_08	N°12_8;Fluoré	N°33_6;Bel Argus	N°33_6;Bel Argus	N°1_2;Collier de corail
12-P-Plateau_Argentine_08	N°43_6;Grand neigre des b	N°12_5;Fluoré	N°12_5;Fluoré	N°33_4;Bel Argus
13-P-Pujols_08	N°33_28;Bel Argus	N°51_9;Azuré commun	N°47_6;Piéride du chou	N°16_4;Azuré de la faucille
14-P-Ruisseau_Gascons_0	N°37_10;Myrtil	N°33_7;Bel Argus	N°39_6;Mélitée orangée	N°12_5;Fluoré
15-P-Vallee_Vezere_08	N°10_2;Fadet commun	N°10_2;Fadet commun	N°10_2;Fadet commun	N°2_1;Azuré sp.
16-P-Vallee_Isle_08	N°12_5;Fluoré	N°10_1;Fadet commun	N°10_1;Fadet commun	N°10_1;Fadet commun
P_Tx_Pelouses_Calcicoles	N°37_65;Myrtil	N°12_62;Fluoré	N°33_57;Bel Argus	N°38_26;Demi-deuil

- Estimation espèces manquantes

A partir des espèces observées, disposant de l'information des dénombrements, en particulier les singletons, doubletons… l'estimation de la richesse du milieu peut être encadrée. Parmi les formulations, l'application des relations suivantes donne des ordres de grandeur plaçant les observations limitées dans la richesse absolue du milieu.

Le nombre total d'individus sans prélèvement observé est N, « S_{obs} » espèces les classent. « f_1 » espèces comptent 1 individus ou singleton, « f_2 » espèces comptent 2 individus ou doubleton, etc. L'estimation du nombre d'espèces manquante f_0 est estimée par :

$$f_0 = = \frac{f_1\,(f_1 - 1)}{2(f_2 + 1)}\,\frac{(\mathrm{N} - 1)}{N}$$

Le nombre total d'espèces estimé du site est $S_{obs}+f_0$.

Note : dans le cas d'un prélèvement de n individus sans remise, la formulation corrigée est :

$$f_0 = \frac{{f_1}^2}{\frac{\mathrm{N}}{(\mathrm{N} - 1)}2\,f_2 + \frac{\frac{\mathrm{n}}{\mathrm{N}}}{1 - \frac{\mathrm{n}}{\mathrm{N}}}\,f_1}\,\frac{(\mathrm{N} - 1)}{N}$$

La variance associée à cette estimation est :

$$Var\,f_0 = f_2\left[\frac{1}{2}K\left(\frac{f_1}{f_2}\right)^2 + K^2\left(\frac{f_1}{f_2}\right)^3 + \frac{1}{4}K^2\left(\frac{f_1}{f_2}\right)^4\right] \ldots si\ f_2 > 0\ avec\ K = \frac{N-1}{N}$$

Dans le cas f_2=0, une correction est rajoutée en posant ici K=1 :

$$Var\,f_0 = \left(\frac{f_1(f_1 - 1)}{2}\right) + \left(\frac{f_1(2f_1 - 1)^2}{4}\right) + \left(\frac{{f_1}^4}{4\left(S_{obs} + \frac{f_1(f_1 - 1)}{2}\right)}\right) \ldots f_2 = 0$$

L'intervalle de confiance (95%), encadrement de la valeur estimée est accessible à partir de la variance et après avoir estimé le nombre d'espèce S_{corr} :

$$S_{corr} = S_{obs} + f_0$$

$$S_{obs} + \frac{(S_{corr} - S_{obs})}{R} < S_{corr} < S_{obs} + (S_{corr} - S_{obs})\, R$$

$$R = exp\left(1.96\left[1 + \frac{Var\, f_0}{(S_{corr} - S_{obs})^2}\right]^{0.5}\right)$$

La borne basse est toujours plus grande ou égale à la valeur observée, la borne haute peut être très élevée par ce calcul. Dans le cas où f_1=0, le nombre d'espèces observée n'est plus corrigée, f_0=0. Une estimation plus complète peut prendre en compte plus de données (f_3, f_4…), par exemple (Chiu *et al.*, 2014b) :

$$f_0 = = \frac{f_1\,(f_1 - 1)}{2}\,\frac{(\mathrm{N} - 1)}{N} + \frac{f_3}{f_4 + 1}\,\frac{(\mathrm{N} - 3)}{4\,N}\,max(f_1, 0) \ldots si\ f_2 = 0$$

$$f_0 = \frac{{f_1}^2}{2\,f_2}\,\frac{(\mathrm{N} - 1)}{N} + \frac{f_3}{f_4 + 1}\,\frac{(\mathrm{N} - 3)}{4\,N}\,max\left(f_1 - \frac{f_2 f_3}{f_4 + 1}\,\frac{(\mathrm{N} - 3)}{2(\mathrm{N} - 1)}, 0\right) \ldots si\ f_2 > 0$$

Pour les pelouses calcicoles, le Tab. XVI donne le site, le nombre d'espèces D_0 observées, le taux de couverture C, le nombre d'espèces manquantes f_{0-12} calculées à partir de f_1 et f_2, la racine de la variance avec 2 formulations dites Chao1 et Chao2, puis le nombre d'espèces non repérés calculé avec f_1, f_2, f_3, f_4 soit f_{0-1234}:

Tab. XVI. Nombre d'espèces de lépidoptères D0 observées, taux de couverture C, nombre d'espèces manquantes f0_12 par sites de pelouses calcicoles.

Sites Pelouses Calcicoles	D_0	C	f_0_12	$Var^{0.5}$_1	$Var^{0.5}$_2	f_0_1234
1-Borrezes_07	5.0	39%	2.5	9.8	9.4	2.0
2-Boudyssou_08	14.0	91%	1.5	3.4	3.2	1.0
3-Cadillon_08	18.0	83%	5.5	7.3	7.1	6.0
4-Coteau_Moulin_06	12.0	50%	52.5	33.2	36.4	52.0
5-Daglan_08	8.0	96%	1.0	2.2	2.4	2.0
6-Dordogne_Tremolat_08	8.0	65%	7.1	22.3	21.8	7.0
7-Eybenes_06	9.0	90%	2.0	5.2	4.9	2.0
8-Mounicou_08	6.0	66%	5.5	6.4	7.8	6.0
9-Panoramis_08	6.0	76%	0.9	3.1	2.9	1.0
10-Payros-Cazautet_06	9.0	63%	7.0	22.2	21.7	8.0
11-Pech_Pastur_08	11.0	84%	2.4	4.7	4.5	2.0
12-Plateau_Argentine_08	10.0	94%	0.2	1.0	0.8	0.0
13-Pujols_08	11.0	91%	9.8	10.0	10.9	11.0
14-Ruisseau_Gascons_08	10.0	89%	2.9	11.4	11.0	4.0
15-Vallee_Vezere_08	8.0	59%	2.3	4.5	4.3	2.0
16-Vallee_Isle_08	5.0	59%	5.3	6.2	7.8	5.0
P_Tx_Pelouses_Calcicoles_16	49.0	97%	7.3	6.8	6.6	1.0

Dans tous les sites des pelouses calcicoles, 49 espèces ont été dénombrées, le taux de couverture est de 97%, 7.3 espèces manquent avec les données f_1 et f_2 et une espèce avec la formulation avec f_1, f_2, f_3, f_4. La racine de la variance est de 7. Les formules de corrections issues des travaux de Turing et Good s'appliquent dans le cas d'un nombre d'espèces et d'individus suffisant. Le nombre d'espèces et le taux de couverture est mis en regard dans le tableau ci-dessus pour relativiser les conclusions par exemple pour Coteau du Moulin qui inclut beaucoup

de singletons. Les campagnes de terrain 2017 multiplieront environ par 3 le nombre d'individus repérés.

- Analyse sur une base de données augmentée

Les campagnes 2016 ont été effectuées sur une date pour la majorité des sites, et quelques sites ont été visités à deux dates différentes. En 2017, les sites seront observés 4 fois de mai à août. Les dépouillements précédents ont pris en compte une seule date pour les comparer entre eux. Le nombre d'individus ou d'espèces peut y être faible. La prise en compte des sites avec deux dates augmente l'échantillonnage et donne des indications de correction des valeurs obtenues sur une seule date. Le Tab. XVII montre les évolutions des paramètres calculés sans extrapolation mais sur la base de données 2016 avec 2 campagnes. Dans le tableau suivant, le nom du site a un suffixe (1) ou (2) indiquant les valeurs respectives lors de la prise en compte d'une seule date (1) ou de deux dates (2) d'observations.

Tab. XVII. Corrections des données de suivis des lépidoptères de pelouses calcicoles avec (1) ou (2) campagnes d'observations.

Pelouses Calcicoles	N	Sobs	f1	f2	f3	f4	f0	Var_f0	f0_1234	Couv_N
Borrèzes(1)	6	5	4	1	0	0	9.8	9.6	2.3	39%
Borrèzes(2)	52	15	8	3	0	0	6.9	10.1	6.9	93%
Coteau Moulin(1)	22	12	11	0	0	0	33.2	35	52	50%
Coteau Moulin(2)	32	16	11	3	0	1	13.3	16.9	13.3	81%
Eybènes(1)	41	9	4	2	0	0	2	5	2	90%
Eybènes(2)	46	11	5	2	1	0	3.3	7.4	7.3	95%
Payros-Cazautet(1)	16	9	6	1	1	0	7	22	8	63%
Payros-Cazautet(2)	28	15	10	1	2	1	21.7	57.5	25.5	71%

L'ensemble de l'analyse basée sur les valeurs observées et sur le nombre d'espèces observées peut être aussi appliqué sur le nombre équivalent d'espèces (fonction de q). La valeur pour q=0 est la plus difficile à obtenir. Avec une correction, le nombre d'espèces observées n'est plus S_{obs} mais $S_{obs}+f_0$ pour q=0, etc. Il est possible d'obtenir alors un nouveau lissage des profils de diversité conduisant encore aux 6 paramètres du lissage par la fonction de Weibull. Les proportions relatives des espèces rajoutées par f_0 sont de l'ordre de f_1/N. La base de données corrigée est reconstruite. Un ré-échantillonnage par bootstrappings génère alors une nouvelle base de données plus complète par réplicas. Cette base est plus complète dans le sens où la dispersion est aussi accessible et cela permet de corriger les estimations de variances. Pour le cas du site Pujols, ce calcul donne une estimation d'espèces absentes de 9.8 plus ou moins 10, l'annexe donne par bootstrappings une valeur de 7 plus ou moins 3. Ce traitement complémentaire est accessible sur iNEXT, il est donné en Annexe 14.

4.2.4 Discussion et perspectives de suivi

L'année 2016 a permis la mise en place du protocole de relevé des lépidoptères de pelouses calcicoles. Ce protocole s'appuie sur le protocole national STERF. Il a été adapté afin de correspondre à la problématique du changement climatique. Des critères spécifiques ont été établis pour sélectionner 20 sites de pelouses calcicoles répartis de manière spatialement équilibrée. Ces sites répondent aux critères posés de bon état de conservation permettant de faciliter la dissociation des effets du changement climatique des autres facteurs anthropiques. La méthode de comptage sera ajustée et optimisée au cours du temps par l'analyse de l'effort d'échantillonnage.

Un plan d'analyse basé sur les profils de biodiversité est proposé. Le Tab. XVIII résume les valeurs des paramètres des fonctions de cumul de la campagne 2016 des dénombrements de la biodiversité, des profils de biodiversité et du taux de couverture.

Echantillonnages des sites et régions – Le cumul des espèces en fonction du nombre d'individus trace l'effort d'observation des milieux. Le nombre d'espèces rares, communes donné par les nombres de Hill généralise de façon continue la notion de nombre d'espèces observées selon l'ordre q en les différentiant par les proportions relatives d'individus. Le taux de couverture, ou effort d'échantillonnage est l'indice de mesure de la qualité de l'échantillonnage et permet d'interpoler ou d'extrapoler pour agréger les résultats.

Profil de diversité des sites et de la région – Les sites sont caractérisés par un profil de diversité résumé par 6 paramètres. Le paramètre β est le premier terme de fragilité du milieu, plus il est grand, plus la part d'espèces rares est importante. S'il est nul, le site est homogène et moins fragile. Ce paramètre varie en fonction de q, il est complété par les termes m_0, m_∞ , b relatifs aux espèces rares et espèces abondantes.

Diversités des sites – Les sites avec une grande diversité D_0, avec un profil plat, soit un paramètre fragilité faible β, et avec une grande différentiation avec les autres doivent être conservés en priorité. Le Tab. XIX trié liste les sites des pelouses calcicoles en fonction de leur diversité absolue D0 en espèces, la part de l'espèce la plus abondante, la fragilité du milieu beta_q1 et le taux de couverture de la campagne 2016 de dénombrements.

Les sites sont répartis dans l'ensemble de la région. La « Similarité » résume les échanges d'espèces par un calcul de similarités d'un site vers les autres sites (CqN) ou de la région vers ses sites (UqN) sans tenir compte de leurs dispositions géographiques.

Tab. XVIII. Synthèse des valeurs des paramètres des fonctions de cumul de la campagne 2016 des dénombrements de la biodiversité, des profils de biodiversité et du taux de couverture.

		Variable	Pelouses calcicoles
Echantillonnage			
Cumul du nombre d'espèces Sobs et nombre d'individus, lissage jusqu'à N_{max}	$SNR=c\,N^z$ (intérêt : interpolation)	c	1.73
		z	0.56
		N_{max}	438
Cumul du nombre d'espèces Sobs et longueur des transects L=A sur l'ensemble des sites de la région, lissage jusqu'à Lmax m	$SAR=c\,A^z$ (intérêt : interpolation)	c	0.43
		z	0.54
		L_{max} m	7267
Couverture (intérêt, rapporter les données au même taux de couverture)	Singletons (intérêt : extrapolation)	f_1	12
	Doubletons	f_2	8
	Couverture (intérêt : normalisation)	C_{qN}	76%
Diversité des espèces			
Indices principaux de diversité L'ajout de q0.05 et q=8 donne accès à un lissage plus fin pour les espèces rares et abondantes)	Nb d'individus	N_{ind}	438
	Nb espèces q=0	$S_{obs}= D_0$	49
	Nb espèces rares q=1	D_1	22.0
	Nb espèces communes q=2	D_2	13.3
	Nb espèces abondantes q=∞	D_∞	6.7
Lissage du profil de biodiversité (fonction directe des données ci-dessus coorigées ou non)	paramètres de la fonction F : $F = e^{-\beta q^{(m_0-m_\infty)e^{-bq^\mu}+m_\infty}}$ $D_q = (D_0 - D_\infty)\mathrm{F} + D_\infty$	β	1.02
		m_0	1.04
		m_∞	0.60
		b	0.30
Diversités des sites			
Similarités C_{qN} inter-sites (N nombre de sites=16)	espèces rares	C_{0N}	72%
	espèces communes	C_{2N}	27%
Similarités U_{qN} région (N nombre de sites=16)	espèces rares	U_{0N}	14%
	espèces communes	U_{2N}	86%
Nombre;Espèce la plus rencontrée		Rang 1	65;Myrtil
		Rang 2	62;Fluoré
		Rang 3	57;Bel Argus
		Rang 4	26;Demi-deuil
Diversité des sites dans la région	$D_{\alpha q}$	$D\alpha 0$	9.4
		$D\alpha 1$	6.4

		Variable	Pelouses calcicoles
		Dα2	4.7
	$D_{\gamma q}$	Dγ0	49.0
		Dγ1	23.5
		Dγ2	14.7
	$D_{\beta q}$	Dβ0	5.2
		Dβ1	3.7
		Dβ2	3.4

Tab. XIX. Sites des pelouses calcicoles en fonction de leur diversité absolue D0 en espèces de lépidoptères, la part de l'espèce la plus abondante, la fragilité du milieu et le taux de couverture.

Pelouses Calcicoles – 2016	D_0	D_∞	β	C_{ON}
3-Cadillon_08	18.0	6.4	0.44	83%
2-Boudyssou_08	14.0	5.4	0.39	91%
4-Coteau_Moulin_06	12.0	2.0	0.77	50%
11-Pech_Pastur_08	11.0	3.9	0.57	84%
13-Pujols_08	11.0	2.1	0.94	91%
12-Plateau_Argentine_08	10.0	5.0	0.36	94%
14-Ruisseau_Gascons_08	10.0	3.7	0.56	89%
10-Payros-Cazautet_06	9.0	3.2	0.37	63%
7-Eybenes_06	9.0	2.2	0.89	90%
15-Vallee_Vezere_08	8.0	5.5	0.20	59%
5-Daglan_08	8.0	2.4	0.71	96%
6-Dordogne_Tremolat_08	8.0	1.9	0.71	65%
8-Mounicou_08	6.0	2.8	0.40	66%
9-Panoramis_08	6.0	2.8	0.30	76%
1-Borrezes_07	5.0	3.0	0.13	39%
16-Vallee_Isle_08	5.0	1.8	0.53	59%

La biodiversité est une propriété d'un biosystème. Elle peut être caractérisée selon 3 caractéristiques nécessaires (STIRLING, 2007) : la variété, la balance, la dispersion. La variété est le nombre de catégories, un nombre entier, ici des espèces, la balance est le dénombrement des individus dans chacune de ces espèces, un nombre réel, la disparité distingue les espèces entre elles, une matrice de distance. Ces valeurs doivent être agrégées pour caractériser la biodiversité. Ces 3 propriétés se retrouvent dans les extensions des formulations proposées par Hill. Les analyses de biodiversité présentées au départ de projet correspondent dans ce rapport à la variété et la balance. La dispersion sera abordée en 2017 par l'introduction de la

phylogénétique (Annexe 11). L'analyse pourra être complétée par l'intégration d'autres traits biologiques (taille, couleur,...).

Disposant des variables globales pour la biodiversité, les données climatiques température, humidité, vent,... et leurs traitements sont à mettre en cohérence avec celles des campagnes d'observation:

- Aux différentes échelles (transects, site, région),
- Par l'accès aux niveaux caractérisables par la température moyenne du mois le plus chaud « mean temperature of the warmest month(MTWM), La température moyenne du mois le plus froid « mean temperature of the coldest month (MTCM), des moyennes adaptées aux temps de réponse divers des espèces,
- Les dynamiques associées : les durées, début et fin de période,...
- ...

L'agrégation des données climatiques (température, humidité, vent...) au niveau des espèces peut conduire à un indice de ressenti comme ceux qui existent pour l'homme.

Ces données seront ensuite à mettre en relation avec le domaine de vie des espèces.

4.3 Pachyure étrusque et Souris à queue courte

Rédaction : Thomas Ruys

Le Pachyure étrusque (*Suncus etruscus*) et la Souris à queue courte (*Mus spretus*) sont deux « micromammifères », le premier un Soricomorphe, le second un Rongeur. Ces deux espèces fréquentent plutôt des habitats d'affinité méditerranéenne, donc plutôt habitués à des climats plus chauds et secs que d'autres espèces de la même taille. Un changement climatique allant vers un réchauffement devrait donc contribuer à favoriser le développement de ces deux espèces que ce soit en aire de répartition mais également en densité.

4.3.1 Plan d'échantillonnage

- Sélection des sites

Le Pachyure étrusque et la Souris à queue courte sont présents en Aquitaine le long de la vallée de la Garonne. Cette vallée subit directement l'influence du climat du bassin méditerranéen. L'idée de suivi de ces deux espèces réside donc en l'étude de :

– l'évolution de leur aire de répartition,

– l'abondance du nombre d'individus capturés ou retrouvés dans les pelotes de réjection de l'Effraie des clochers (*Tyto alba*).

L'approche pour ces deux espèces est donc assez expérimentale, basée sur :

– la capture pour le Pachyure étrusque

– l'abondance de crânes retrouvés dans les pelotes de réjection pour les deux espèces

L'année 2016 est donc une année exploratoire afin d'orienter au mieux les protocoles retenus.

Pour le choix des sites, nous nous sommes basés sur la répartition connue des deux espèces suite à la publication de l'atlas des Mammifères sauvages d'Aquitaine (Ruys & Couzi, 2015) et aux quelques données disponibles sur la base de données participatives *Faune Aquitaine* (Fig. 43).

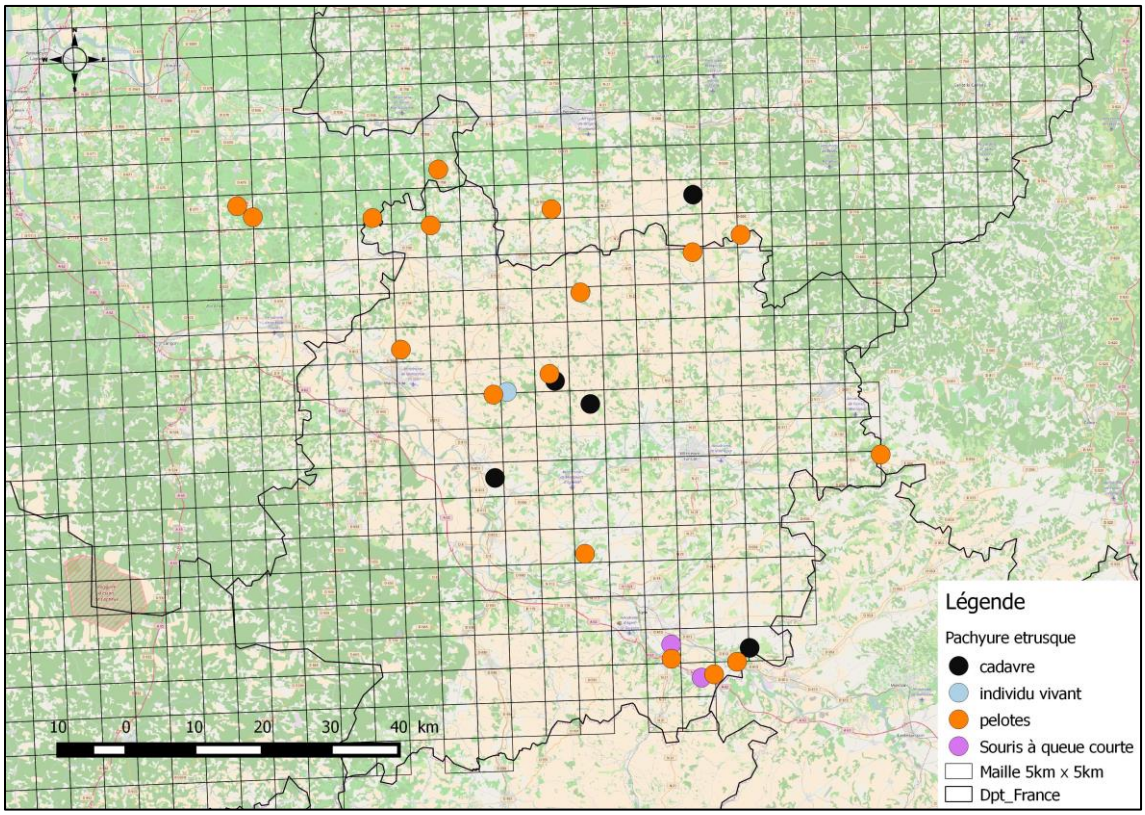


Fig. 43. Localisation des données connues de Pachyure étrusque et de Souris à queue courte en 2016 (carte centrée sur le Lot-et-Garonne)

Recherche des pelotes de réjection

Dans chacune des mailles de 10 x 10 km avec présence du Pachyure étrusque ou de la Souris à queue courte, l'objectif est d'identifier trois points où loge l'Effraie des clochers, c'est-à-dire trois sites à pelotes de réjection. Pour répondre à cet objectif, trois mailles de 5 x 5 km, sur les quatre que compte une maille de 10 x 10 km, sont sélectionnées. Un transect y est défini afin de standardiser la méthode de recherche de sites à Effraie entre toutes les mailles (Fig. 44).

En cas de présence de pelotes d'Effraie des clochers, celles-ci sont récoltées et une fiche commémorative est renseignée en y précisant la date de récolte, la commune, le lieu-dit, les coordonnées GPS ainsi que les observations particulières si nécessaire.

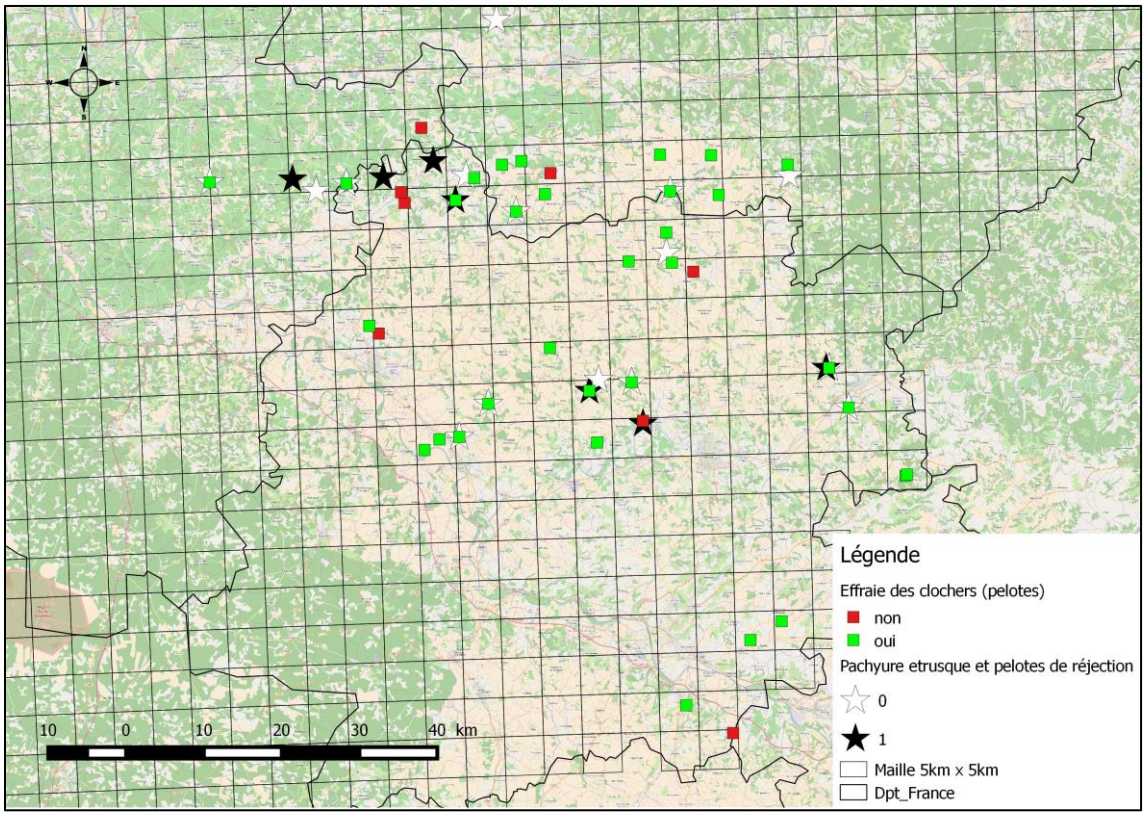


Fig. 44. Localisation des zones à pelotes de réjection et des crânes de Pachyure trouvés (carte centrée sur le Lot-et-Garonne)

Recherche de sites de captures

En se basant sur les données « individus » les plus récents de la synthèse, deux sites dans le Lot-et-Garonne ont été sélectionnés pour effectuer des tests de captures sur le Pachyure étrusque : Montastruc (dernière donnée le 17/11/2013) et Saint-Urcisse (dernière donnée le 15/12/2015) (Tableau III). Ces éléments permettent d'avoir une localisation précise d'individus qui n'est pas possible avec des pelotes de réjection du fait d'un lieu différent entre capture de la proie et rejet des pelotes.

- Description des sites choisis

Les sites ont été retenus en fonction (Tab. XX) :

- Des informations de présence récentes d'individus,
- Du type d'habitat,
- De l'accord des propriétaires pour rester trois nuits consécutives pour les captures.

Tab. XX. Caractéristiques des sites de captures à Pachyure étrusque

Département	Commune	Dénomination	Type d'habitat	Caractéristiques	Propriétaire Gestionnaire	Accord	Structure de suivi et nom de l'observateur
47	Montastruc	Fernot	Habitation	Murets en pierres sèches	Christophe Chambolle	oui	Cistude Nature - Ruys
47	Saint-Urcisse	Grousset	Habitation	Murets en pierres sèches	Hélène Sculte	oui	Cistude Nature - Ruys

- **Méthode de suivis**

Suivi de l'aire de répartition par étude des pelotes de réjection

Deux types de suivis sont envisagés :

- sites témoins au cœur des aires de répartition des espèces
- sites situés en marge des aires de répartition des espèces

Dans le premier cas il s'agit de s'assurer de la présence constante des espèces sur des sites connus et éventuellement constater une variation de l'abondance des crânes dans les pelotes. Un nombre X de sites témoins doivent donc être choisi dans le cœur des aires de répartition. Les contraintes géographiques et administratives font du Lot-et-Garonne un secteur pour des sites témoins au cœur de l'aire de répartition du Pachyure étrusque. Par contre il n'y a pas de secteur au cœur de l'aire de répartition de la Souris à queue courte.

Dans le second cas, il s'agit de surveiller voire de quantifier, l'extension des aires de répartition des espèces. Un nombre Y de mailles doit être prospecté sur les marges des aires de répartition. Pour le Pachyure étrusque, les sites en marges seraient situés en Gironde, en Charente-Maritime et en Charente voire dans le Limousin même si des prospections récentes effectuées par le Groupe Mammalogique et Herpétologique du Limousin n'ont rien donné (Vittier, comm. pers.). Pour la Souris à queue courte, le sud du Lot-et-Garonne constitue le meilleur secteur (Fig. 43).

Suivi de l'abondance par capture chez le Pachyure étrusque

La méthode CMR permet d'avoir une méthode standardisée, plus précise que de simples crânes dans des pelotes de réjection qui dépendent, de plus, du succès de capture de l'Effraie des clochers. Deux sites témoins sont pour le moment retenus mais doivent être complétés par d'autres sites.

Méthode : sur chaque site de capture sont disposés des pièges de type « trip-trap » (Fig. 45) : L : 183 mm ; l : 53 mm ; poids : 65 g. le nombre de piège est variable suivant le site. Chaque piège a subi une adaptation pour restreindre l'accès uniquement aux pachyures par une réduction de la taille de l'entrée à l'aide d'un adaptateur en bois selon les recommandations de P. Vogel (Vogel, 2012). Les pièges sont espacés d'au moins 3 m et situés le long des murets de pierres sèches, des murs d'habitations, dans les granges, au niveau de la végétation typée méditerranéenne (Fig. 45). Chaque piège est appâté avec des vers de farine (genre *Tenebrio*).

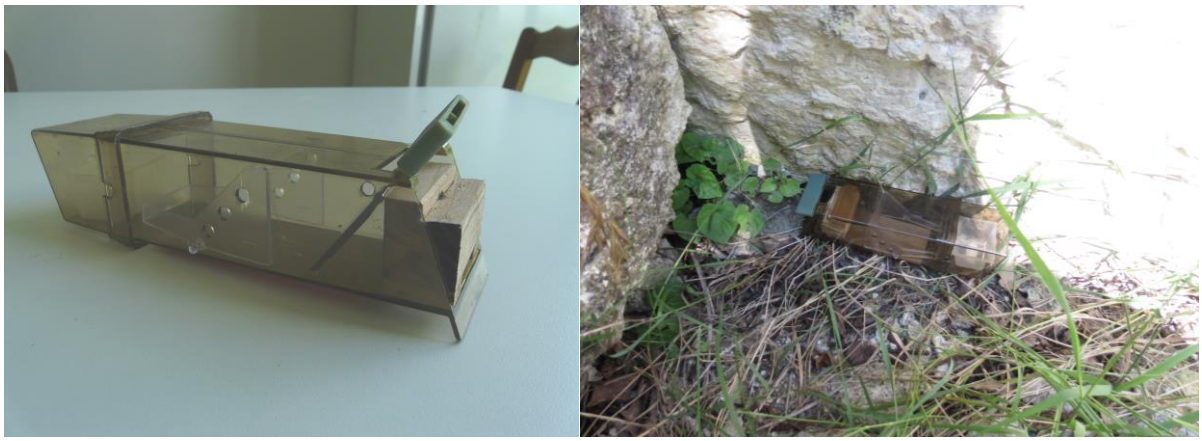


Fig. 45. Piège Trip-Trap avec le réducteur en bois à son entrée (à gauche) et pose du piège le long d'un muret (à droite)

La mise en place des pièges s'effectue en début de soirée. Chaque piège est ensuite relevé toutes les 3 h jusqu'au lever du jour pendant 3 nuits consécutives.

- Conditions météorologiques requises

Pour les suivis « pelotes de réjection », aucune condition météorologique particulière n'est requise.

Pour les CMR, l'essentiel est de minimiser le risque de perte des individus du fait d'une température trop basse ou d'un manque de nourriture au cours des opérations de captures. Ainsi, les captures doivent s'effectuer entre les mois d'avril et octobre, l'idéal étant entre avril et juin avant l'apparition des premiers orthoptères très appétant pour les pachyures. La température est systématiquement relevée pour chaque CMR.

- Nombre de campagne de relevés

- Pelotes : toute l'année
- Piégeage : avril-septembre

- Fiche de relevés

La fiche de renseignements pour les pelotes de réjection se présente ainsi :

Date de collecte :		Dates d'analyse :	
Commune :		Département :	
Lieu-dit :		Long (WGS84) :	
Nom analyste :		Lat (WGS84) :	
Nom collecteur :		Espèce :	

Espèces	Effectifs	N° de pelote	Nb proies	N° de pelote	Nb proies
		1		41	
		2		42	
		3		43	
		4		44	
		5		45	
		6		46	
		7		47	
		8		48	
		9		49	
		10		50	
		11		51	
		12		52	
		13		53	
		14		54	
		15		55	
		16		56	
		17		57	
		18		58	
		19		59	
		20		60	
		21		61	
		22		62	
		23		63	
		24		64	
		25		65	
		26		66	
		27		67	
		28		68	
		29		69	
...		30		70	
		31		71	
Reporter ici, à la fin de l'analyse du lot :		32		72	
TOTAL pelotes :		33		73	
Total proies :		34		74	
Sous-total proie pelotes :		35		75	
Sous-total proies vrac :		36		76	
		37		77	
		38		78	
		39		79	
		40		80	

« Espèce » : espèce de prédateur auxquelles appartiennent les pelotes (en général l'Effraie des clochers)

La fiche de renseignements pour les captures se présente ainsi :

Fiche de capture Pachyure etrusque										
Site :							T° air :			
Observateur :										
Milieu :										
Date	**Heure contrôle**	**Num ligne**	**Num piege**	**Age A/J**	**Poids (g)**	**Long T+C (mm)**	**Long Q (mm)**	**Marquage (A,B,C,D)**	**Capt/Rec C/R**	**Remarque**

« Heure contrôle » : horaire de relevé des pièges

« Num ligne » : numéro de la ligne de pièges

« Num piège » : numéro du piège

« Age A/J » : Age des individus capturés Adulte/Jeune

« Long T+C » : longueur tête+corps (en mm)

« Long Q » : longueur de la queue

« Marquage A, B, C, D » : type de tonsure pour le marquage des individus A épaule avant gauche, B épaule avant droite, C cuisse arrière gauche, D cuisse arrière droite

« Capt/Rec C/R » : Capture ou Recapture

4.3.2 Résultats exploratoires

Pelotes de réjection

Au total, 72 mailles de 5x5 km ont été retenues pour être visitées soit 54 mailles à visiter (3 mailles de 5x5 km dans une maille de 10x10 km). Sur ces 54 mailles, 46 comportaient un site à Effraie des clochers soit 84 % (Tab. XXI).

Tab. XXI. Résultats de l'étude « pelotes de réjection »

Nombre de sites avec pelotes	46
Nombre de sites avec pelotes analysées	22
Nombre moyen de pelotes par site	42
Nombre moyen de proies par site	125
Nombre total de Pachyure étrusque	11
Nombre total de Souris à queue courte	3 (à confirmer)

Sur les 46 sites, 22 lots de pelotes ont pu être analysés avec au total, 11 crânes de Pachyure (sur 7 sites différents) et 3 possibles crânes de Souris à queue courte (sur 3 sites différents). L'identification certaine de cette espèce doit faire intervenir plusieurs avis d'experts.

Pour le Pachyure étrusque, un site en particulier (commune de Montastruc) a permis la découverte de cinq crânes de Pachyure.

A noter que sur les 18 sites connus à pelotes dans la base de données (avant cette étude de 2016), seuls 3 sites comportaient encore des pelotes. Concernant les 15 sites restant, aucune pelote n'a été retrouvée, en effet soit les coordonnées GPS ne correspondaient pas, soit l'Effraie des clochers ne loge plus dans les bâtiments.

Capture-marquage-recapture

Deux sessions de captures ont été organisées dans le Lot-et-Garonne (Tab. XXII).

Tab. XXII. Résultats de l'étude CMR Pachyure

Commune	Date	Nombre de pièges	Nombre nuits	Nombre nuits-pièges	Nombre de Pachyure capturés	Autre espèce capturée
Saint-Urcisse	06/07/2016	40	3	120	0	0
Montastruc	26/07/2016	35	2	70	0	Crocidura sp

Sur les deux sessions, aucun pachyure n'a été capturé. Etant donné l'échec de capture à la première session, les adaptateurs en bois pour les pièges ont été retirés pour la session n°2 (Montastruc) afin de maximiser les chances de capturer un pachyure. Trois individus de *Crocidura sp* ont ainsi été capturés.

A noter que sur Montastruc, les pièges ont été répartis sur 3 sites différents :

- 15 pièges à Fernot (habitation principale)
- 10 pièges à Fernot à 400 m de l'habitation principale sur une habitation secondaire
- 10 pièges à Tombeboeuf (5 km de Fernot)

4.3.3 Discussion et perspectives de suivi

La récolte et l'analyse des pelotes de réjection apportent des informations et une vision globale de la situation des espèces. En fonction du maillage choisi pour la recherche des sites à pelotes, il est possible de définir plus ou moins précisément l'aire de répartition des espèces.

Cependant cette méthode trouve des limites dans la disponibilité en pelotes, du fait du caractère « dépendant » à l'Effraie des clochers et du temps nécessaire à la recherche et à l'analyse des pelotes.

- Disponibilité en pelotes : l'étude a montré que des sites connus à pelotes ne sont pas forcément constant dans le temps du fait de la disparition des chouettes, de la rénovation de bâtiments, etc. ceci pose un problème de fond pour un suivi à long terme ;
- Dépendance à l'Effraie : cette espèce a certaines exigences en matière d'habitat qui est susceptible d'évoluer sous des contraintes humaines (rénovation, destruction). De plus les populations d'Effraie semble être en régression en France (LPO, 2004) ce qui pose là aussi un problème de fond pour un suivi ;
- Méthode chronophage : la recherche des sites à pelotes, en fonction du maillage choisi, nécessite du temps de déplacement et du temps de recherche des pelotes. Parfois les sites favorables (granges, pigeonniers, etc.) ne sont pas accessibles (propriété privé, absence du propriétaire, etc.). L'analyse des pelotes est aussi chronophage même en ne ciblant que les espèces d'intérêt (80 pelotes/jours).

Pour le suivi dans le cadre du programme Sentinelles, le protocole « pelote » sera entièrement revu. Plusieurs pistes sont à réfléchir pour le moment, et comme discuter avec le comité scientifique, nous allons réaliser un suivi des communautés d'espèces de petits mammifères. Certaines de ces espèces ont une affinité de milieux « chauds », d'autres de milieux « froids ». L'idée est donc de raisonner sur des transects nord-sud sur la Nouvelle-Aquitaine en échantillonnant régulièrement à des latitudes différentes des sites à Effraie des clochers. L'objectif est d'étudier le déplacement éventuel d'aire de répartition de plusieurs espèces en simultané, ainsi que l'abondance des crânes dans les pelotes sur le long terme. Le protocole est en cours de finalisation avec le comité scientifique.

En ce qui concerne les captures, suite à la publication de Vogel, 2012, l'utilisation des pièges Trip-Trap semblait porter ses fruits avec notamment l'adaptation d'un réducteur de taille à l'entrée spécifique pour le Pachyure étrusque. Cependant, nos deux sites « test » n'ont pas abouti aux résultats escomptés. En particulier sur la commune de Saint-Urcisse un individu avait été trouvé vivant dans l'habitation en décembre 2015, soit quelques mois avant la capture du juillet 2016, ce qui laissait présager une population présente (d'autres individus avaient été aussi retrouvés morts les années précédents sur ce même site). Or, aucune capture n'a été réalisée avec, de plus, un doute sur la fonctionnalité du système de réduction de la taille d'entrée. En effet, quelques pièges ont été retrouvés sans appâts sans que le dispositif

de capture ne fonctionne. Parfois, le système de réduction semblait avoir été poussé vers l'intérieur ce qui bloque le dispositif de fermeture des pièges.

Afin de palier à ce problème, les systèmes de réduction ont été retirés lors de la seconde session de capture sur un autre site, sans succès de capture.

Autre constat, à partir du mois de juillet, les populations d'Orthoptères (proies favorites du Pachyure) sont très nombreuses, d'où une disponibilité alimentaire accrue au moment des captures n'incitant pas les individus à explorer les pièges. De plus les fourmis peuvent parfois être problématiques en se nourrissant des vers de farine.

Enfin, les captures sont assez chronophages puisqu'elles s'effectuent de nuit avec des relevés toutes les 3 h.

Pour le suivi dans le cadre du programme Sentinelles, il n'est pas envisagé de poursuivre le protocole capture. Cependant, à titre expérimental, plusieurs pistes sont à réfléchir :

- Refaire des captures, sur le site n°1 mais sans les adaptateurs Pachyure ;
- Effectuer les captures entre avril et juin afin de limiter l'impact des fourmis et la disponibilité extérieure en ressources alimentaires pour le Pachyure.

5. Indicateurs biologiques des écosystèmes humides

5.1 Végétation des landes humides et tourbières

Rédaction : Kévin Romeyer, Anthony Le Fouler, Grégory Caze

Les habitats de landes humides et tourbières sont intéressants à suivre par rapport au changement climatique car particulièrement sensibles à des épisodes de sécheresses et de canicules plus intenses. Les tourbières forment des reliques glaciaires en Nouvelle-Aquitaine. En effet, les végétations qui les composent trouvent leur optimum dans les régions froides (boréo-montagnardes) où la décomposition de matière organique en condition anaérobie est fortement réduite. Comme les landes humides et les bas-marais acidiphiles, elles sont adaptées à un engorgement plus ou moins régulier par des eaux pauvres en nutriments et acides. Ces contraintes permettent le développement d'une flore particulière avec de nombreuses espèces patrimoniales au niveau régional (*Menyanthes trifoliata, Narthecium ossifragum, Gentiana pneumonanthe, Sphagnum fallax*) et nationale (*Rhyncospora fusca, Drosera rotundifolia, Lycopodiella inundata*). Toutefois, très sensibles aux changements de régime hydrique (drainage, pluviosité) ou de pratiques agricoles et à l'eutrophisation, les landes humides et tourbières sont en forte régression ces dernières années dont certaines de manières irréversibles. De plus, dans le contexte du changement climatique, ces végétations pourraient disparaître ou se raréfier au profit de végétations de landes plus sèches et de communautés moins oligotrophiles.

5.1.1 Plan d'échantillonnage

- Sélection des sites

Les habitats landicoles et tourbeux sont assez fréquents au niveau de la région Aquitaine mais centrés sur le plateau landais et quelques secteurs de Dordogne et de Pyrénées-Atlantiques (Fig. 46). Néanmoins ils occupent rarement des surfaces importantes, hormis dans les camps militaires de Souge et de Captieux. Les landes humides forment essentiellement des linéaires en lisière forestière et de pistes ; les systèmes tourbeux se cantonnent souvent à des queues d'étangs ou des fossés.

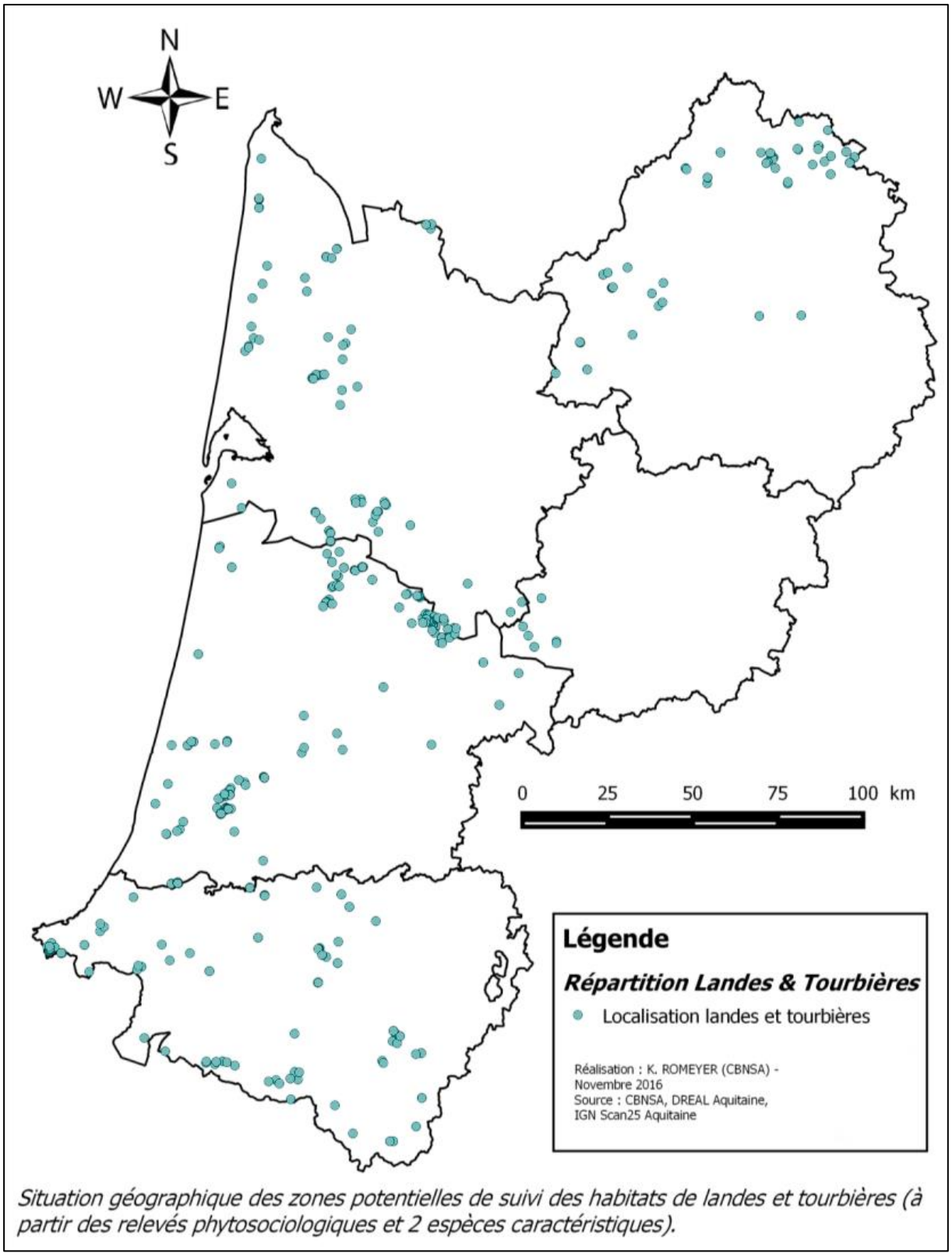


Fig. 46. Situation géographique des zones potentielles de suivi des habitats de landes et tourbières.

Les landes humides et tourbières rentrent également dans le cadre du schéma pluriannuel de suivi des habitats d'intérêts communautaires (HIC) de la région Aquitaine mis en place par le CBN Sud-Atlantique (LE FOULER & CAZE, 2012 ; LAFON & LE FOULER, 2014).

Au sein de son réseau Natura 2000, l'Aquitaine compte de nombreux sites abritant des systèmes landicoles ou tourbeux. La mise en place de suivis ne pouvant se faire que sur une petite partie de ces sites étant donné les moyens humains et logistiques nécessaires, la sélection de ceux-ci s'est faite selon 5 critères :

- surface en habitats landicoles,
- variabilité des habitats,
- chorologie des sites Natura 2000 (éviter les sites trop proches),
- niveau d'enjeu de conservation,
- accessibilité du site (maîtrise foncière, droit d'accès et d'instrumentalisation).

Au total, 10 sites Natura 2000 abritant des landes humides et tourbières sont matérialisés avec 47 dispositifs de suivi (quadrats et/ou transects).

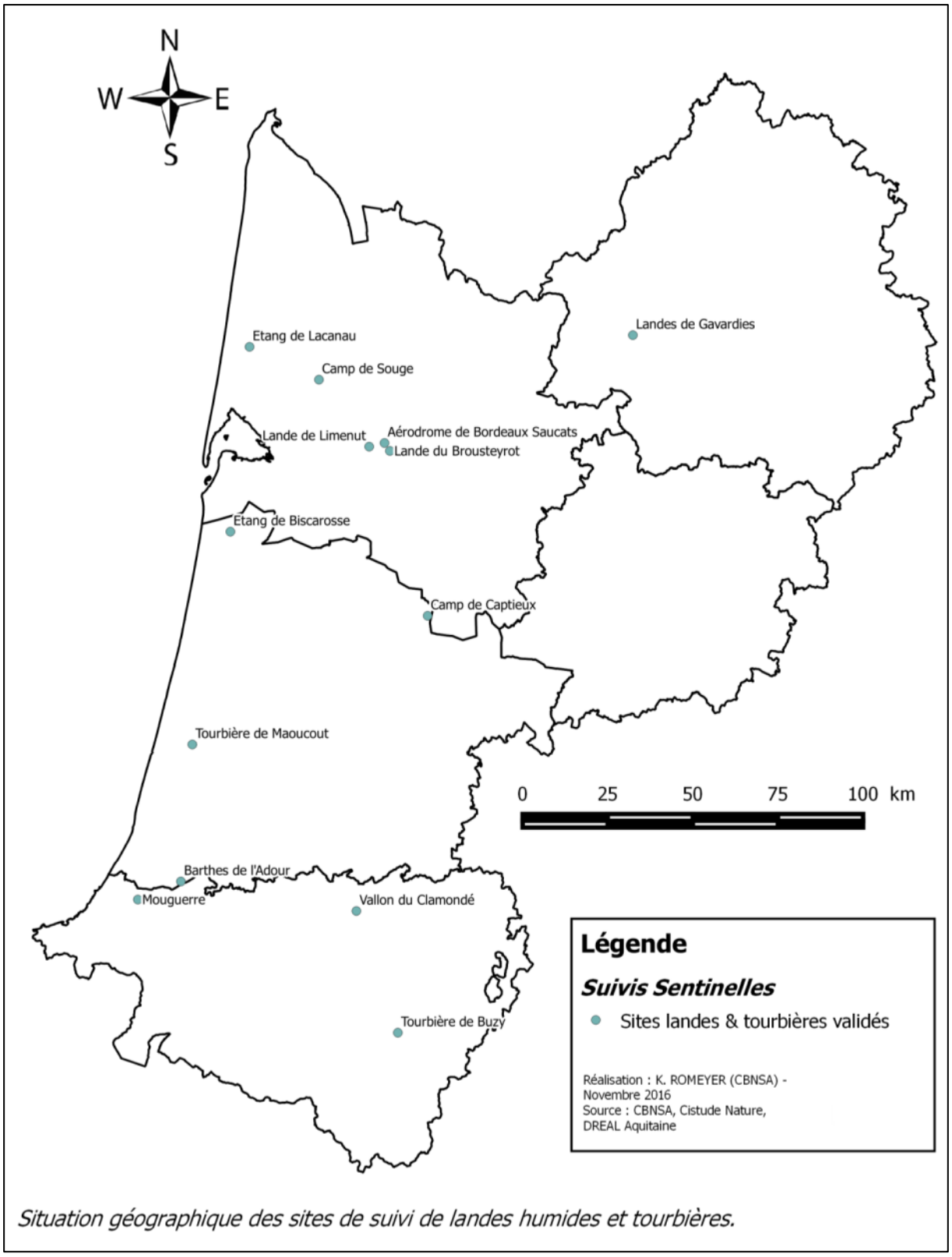
Dans le cadre du programme Sentinelles du climat, le réseau de suivis de landes et tourbières se repose en partie sur ce réseau Natura 2000 afin de mutualiser les dispositifs mis en place. La sélection de nouveaux sites avec une répartition représentative des systèmes landicoles et tourbeux à l'échelle de la région est primordiale pour l'étude de ces habitats dans le contexte du changement climatique. En effet, le mésoclimat peut être très différent selon les secteurs régionaux (Données AURELHY par Météo France, 2007). Cela devrait permettre de détecter des variations de cortèges (ex : perte d'espèces psychrophiles) dans les différentes zones suivies et ainsi définir les plus sensibles.

En termes de végétation, l'identification des nouveaux sites s'est appuyée sur la présence de la flore caractéristique des landes humides (*Ulici minoris-Ericenion ciliaris* via la base de données OFSA d'une part (Fig. 46), notamment pour la Dordogne, et les connaissances et/ou prospections de partenaires d'autre part. L'étude de la bibliographie phytosociologique (GEHU & GEHU-FRACK, 1973 ; LAFON & LE FOULER, 2014) a également permis de dégager des zones d'expression intéressante pour ces milieux.

Ensuite, l'utilisation d'indices d'état ont permis de sélectionner les habitats les plus favorables pour la mise en place d'un suivi à long terme. Ces indices sont les suivants (Fig. 47):

- Surface d'habitat, basée sur l'aire d'expression optimale des communautés (2 à 4 ha pour les landes et 0,5 à 1 ha pour les tourbières) en excluant les linéaires de faible largeur (inférieure à 70m) ;
- Occupation par les espèces typiques (*Erica ciliaris, Ulex minor, Calluna vulgaris, Sphagnum sp., Erica tetralix, Molinia caerulea*) ;
- Fermeture du milieu, basé sur la fréquence relative et le recouvrement d'espèces de stades dynamiques ultérieurs des landes (ex : *Erica scoparia*, *Frangula alnus*, *Salix atrocinerea, Quercus robur*) ;
- Gestion homogène dans le temps et dans l'espace ;
- Limitation des perturbations : drains, eutrophisation, etc.

- Description des sites choisis



Situation géographique des sites de suivi de landes humides et tourbières.

Fig. 47. Situation géographique des sites d'études validés de landes humides et tourbières.

• Définition et positionnement des points d'échantillonnage

Le suivi des landes humides et tourbières en lien avec les évolutions climatiques dans le cadre des Sentinelles du climat reprend les mêmes principes d'échantillonnage que pour l'évaluation de l'état de conservation dans le cadre du suivi des HIC pour Natura 2000 (LAFON & LE FOULER, 2014).

Pour les landes humides, topographiquement homogènes, c'est le système d'échelles emboîtées qui est utilisé car permettant des analyses complémentaires et une vision représentative des sites du point de vue floristique :

- échelle du complexe landicole par un quadrat paysager de 25m de côté.
- échelle de la communauté végétale par un quadrat de fréquence de 7m de côté.

La surface de 625m² du quadrat paysager semble être le meilleur compromis pour apprécier la mosaïque des communautés végétales sans pour autant être trop grande et empêcher l'observateur d'avoir une vision complète de la zone.

Le positionnement des quadrats paysagers est défini après visite des sites et identification des zones où l'habitat de lande humide est bien représenté et estimé en bon état de conservation. Ils sont placés en sorte d'avoir un aperçu des végétations en dynamique et en contact avec les landes. Leur géoréférencement est également déterminé sur le terrain avec un GPS par les coordonnées de ses 4 sommets (Fig. 20 et 21).

Sur le terrain, l'observateur peut alors localiser ces coordonnées grâce à un GPS (GPS submétrique si possible) ; le niveau d'imprécision engendré par celui-ci est considéré comme acceptable compte-tenu de la grande taille du quadrat paysager. Le temps de la lecture, le quadrat est matérialisé par des piquets temporaires aux 4 sommets et reliés par une rubalise.

L'aire minimale pour l'étude des landes basses (inférieures à 1m) étant estimée entre de 30 et 100m² (BOUZILLE, 2007 ; ROYER, 2009), la surface de 49m² du quadrat de fréquence permanent apparaît adéquate étant donné l'utilisation complémentaire du quadrat paysager.

Le positionnement de ce quadrat se fait à l'intérieur du quadrat paysager dans une zone où la communauté de lande est bien exprimée. Pour simplifier et limiter les erreurs lors de prochaines lectures, le quadrat est orienté au nord. Son géoréférencement est déterminé sur le terrain par les coordonnées de ses 4 sommets (Fig. 48 et Fig. 49). Dans l'objectif d'un suivi à moyen/long terme (plusieurs décennies) et afin d'assurer la relocalisation précise et la pérennité du dispositif, le quadrat de fréquence est délimité à ses sommets par 4 tiges métalliques (acier ou inox) enterrées et affleurant à la surface du sol. Un détecteur de champs magnétiques est nécessaire pour retrouver la position des tiges. Lorsque cela est possible, des mesures de distances et de cap à la boussole sont notées par rapport à des repères fixes qui ne risquent pas de bouger avant la prochaine lecture. Le temps de la lecture, le quadrat est matérialisé par des piquets temporaires aux 4 sommets et reliés par une corde ou rubalise.

Pour les tourbières, associant des végétations liées à différents niveaux topographiques, c'est un système de transect, avec un ou plusieurs quadrats de fréquence de 1m de côté disposés le long de celui-ci, qui est utilisé.

La longueur et le positionnement des transects dépendent des conditions écologiques et de la surface occupée par les végétations à suivre sur chacun des sites. Un transect pourra ainsi être sécant par rapport au suintement ou au cours d'eau. Les deux extrémités du transect sont géolocalisées par GPS (Fig. 50), voire même matérialisées par l'installation de piquets en

bois (ex : robinier). Le temps de la lecture, le transect est matérialisé par une corde ou rubalise reliant des piquets permanents ou temporaires.

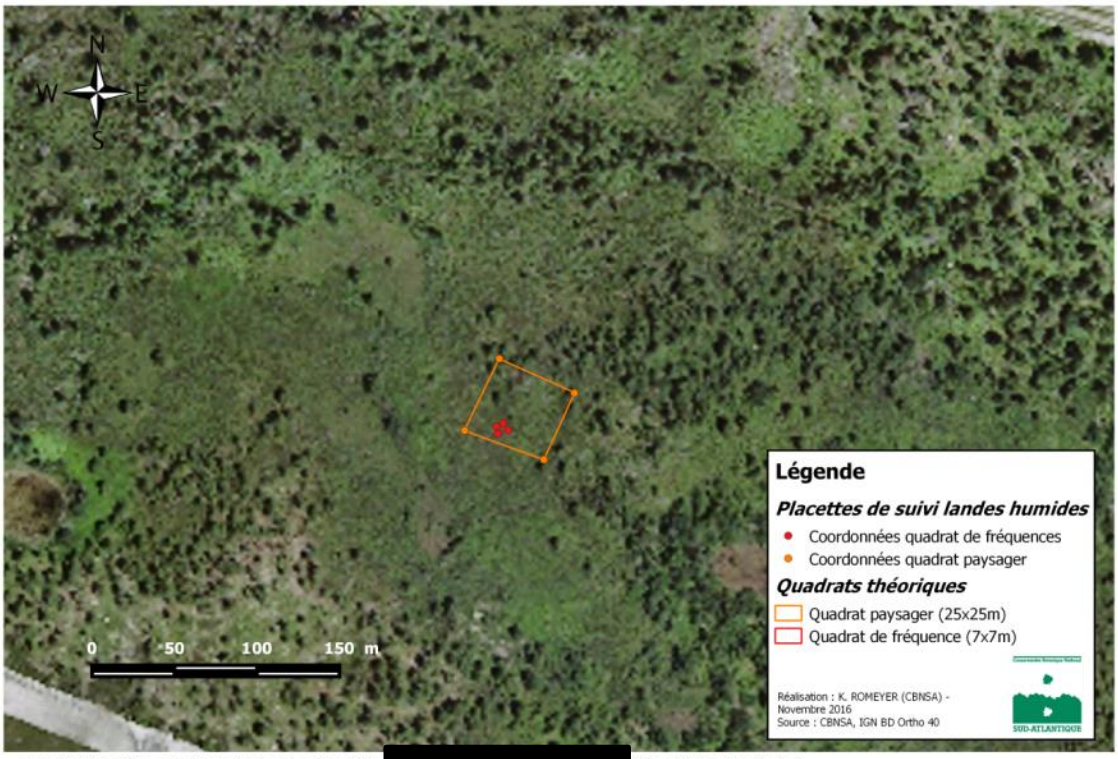
La mise en place des quadrats de fréquence suit les mêmes principes qu'énoncé plus haut ; leur positionnement doit se faire le long du transect à intervalles réguliers et fixes entre chaque lecture.

La durée de mise en place et de relocalisation des quadrats et transects sur un site est estimée autour de 1h. La durée de lecture des 2 types de quadrat n'est pas limitée et peut être estimée autour de 3h.

Les caractéristiques des quadrats et transects déjà matérialisés sont précisées ci-après (Tab. XXIII) ; de même que leurs cartes de localisation qui sont présentées en Annexe 15. Les caractéristiques des dispositifs non mis en place actuellement seront détaillées dans un futur rapport.

Tab. XXIII. Caractéristiques des quadrats et transects de landes humides et tourbières

Dénomination du site	Type de dispositifs	Surface ou longueur	Coordonnées GPS
Camp de Souge	Fréquence	49 m²	[redacted]
	Paysager	625 m²	
Camp de Captieux	Fréquence	49 m²	
	Paysager	625 m²	
Petit étang de Biscarrosse	Transect	11 m	
Tourbière du Pont Neuf	Fréquence	49 m²	
Tourbière du Pont Neuf	Fréquence	49 m²	
Tourbière du Pont Neuf	Fréquence	49 m²	
	Fréquence	49 m²	
Barthes de l'Adour	Fréquence	1 m²	
	Fréquence	1 m²	
	Fréquence	1 m²	
Tourbière de Buzy	Transect	75 m	

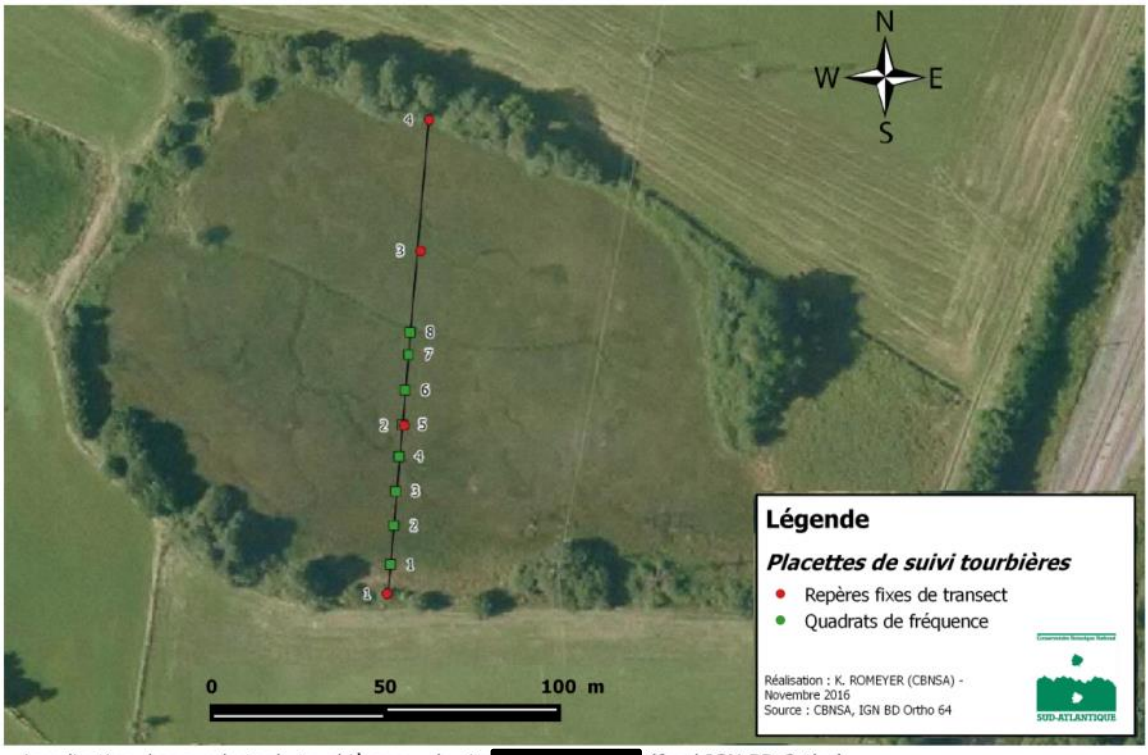


Localisation des quadrats de landes humides [redacted] (fond IGN BD Ortho).

Fig. 48. Exemple de situation des quadrats de landes humides (photographie aérienne).

[redacted]

Fig. 49. Exemple de situation des quadrats de landes humides (carte topographique).



Localisation des quadrats de tourbières sur le site [redacted] (fond IGN BD Ortho).

Fig. 50. Exemple de situation de transect et quadrats en tourbière (photographie aérienne)

- Méthodes de relevés et détermination des espèces

Le protocole de suivi des landes humides et tourbières dépend de l'échelle spatiale considérée et du type de dispositif en place.

A l'échelle du quadrat paysager, le but est de suivre l'évolution du complexe landicole et la dynamique de végétation. Pour mener ce travail, c'est la phytosociologie sigmatiste qui est retenue car basée sur une démarche rigoureuse et éprouvée, dotée d'un référentiel structuré et régulièrement mis à jour. Le résultat est une cartographie fine des végétations du quadrat.

Le relevé phytosociologique consiste en la réalisation de relevés floristiques exhaustifs effectués sur une surface de végétation physionomiquement, écologiquement (exposition, pente, substrat, luminosité, etc.) et floristiquement la plus homogène possible. La surface optimale ou aire minimale est un compromis entre une surface suffisamment homogène et une surface représentative du type de milieu. Des coefficients dits d'abondance-dominance de Braun-Blanquet sont attribués à chaque espèce pour indiquer son recouvrement au sein de chaque strate de la placette. Enfin, la date, l'observateur, la localisation (point GPS, lieu-dit), les caractères généraux de la station (pente, exposition, altitude, topographie, substrat, etc.) et de la formation végétale inventoriée (trophie, physionomie, etc.), accompagnés d'une description brève (ex : lande mésophile piquetée d'arbustes) sont renseignés (voir bordereau en Annexe 4).

Ainsi, un relevé phytosociologique est réalisé au sein de chaque communauté végétale (lande, ourlet, fourré) présente dans le quadrat paysager. Ces relevés sont rattachés, directement ou a posteriori, à un syntaxon existant ou à définir dans le référentiel phytosociologique.

D'autre part, la phytosociologie paysagère ou symphytosociologie est utilisée afin de proportionner les différentes communautés au sein du quadrat. Ici, seule l'homogénéité des conditions écologiques est recherchée (pente, orientation, substrat) pour réaliser un relevé. On dresse alors la liste exhaustive des groupements végétaux présents, auxquels sont associés un coefficient de recouvrement ainsi qu'un indice d'agrégation (isolé, plus ou moins fragmenté, étendu). Comme pour le relevé phytosociologique, des informations complémentaires mais indispensables sont renseignées dans un bordereau spécifique. Le relevé symphytosociologique, ou synrelevé, permet de rendre compte de l'organisation spatiale des groupements et peut être accompagné d'un croquis (Fig. 51). En plus, la prise de photos des communautés inventoriées est encouragée pour conserver une vision physionomique de celles-ci et aider dans l'interprétation des données. Ces relevés peuvent être rattachés, directement ou a posteriori, à une série dynamique de végétation existante ou à définir.

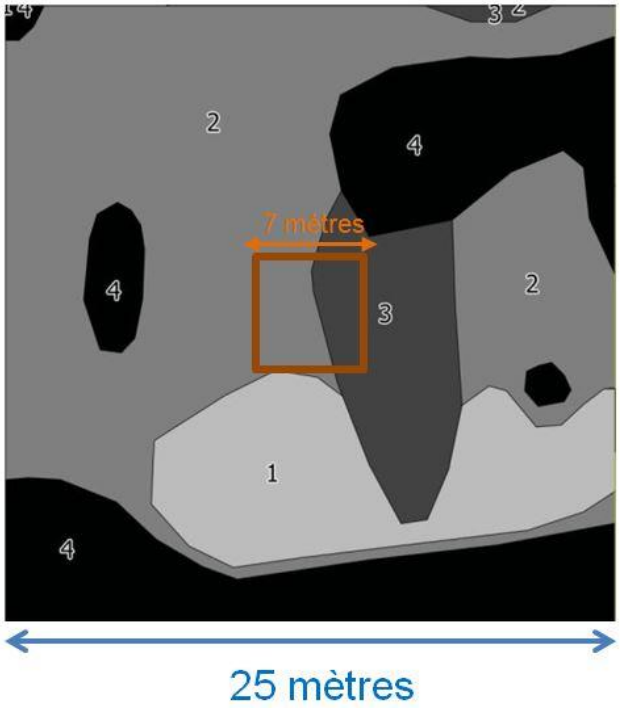


Fig. 51. Schéma de l'organisation spatiale des communautés végétales au sein d'un quadrat paysager de landes humides

A l'échelle du quadrat de fréquence de lande (7m de côté), le but est de suivre l'évolution de la structure et de la composition de la communauté à un niveau fin de précision. Pour cela, le quadrat de fréquence est subdivisé en 9 quadrats élémentaires de 1m de côté (Fig. 52). Le quadrat de fréquence de tourbière (1m de côté) est quant à lui subdivisé en 16 quadrats élémentaires de 25cm de côté dont 8 qui sont lus (Fig. 52). Un relevé exhaustif de la flore est réalisé en présence/absence au sein de chacun des quadrats élémentaires avec notation de la hauteur moyenne et du recouvrement des différentes strates présentes (Annexe 17 et Annexe 18). En plus, un relevé complémentaire est réalisé, également en présence/absence, à l'échelle du quadrat de fréquence pour noter les espèces non contactées dans les 8 ou 9 quadrats élémentaires. Cette méthode présente l'avantage de pouvoir s'abstenir d'une estimation des coefficients de recouvrement, une variable sujette au biais d'interprétation des données engendré par la diversité des observateurs et empêchant la détection de changements subtils dans la composition floristique du tapis végétal étudié.

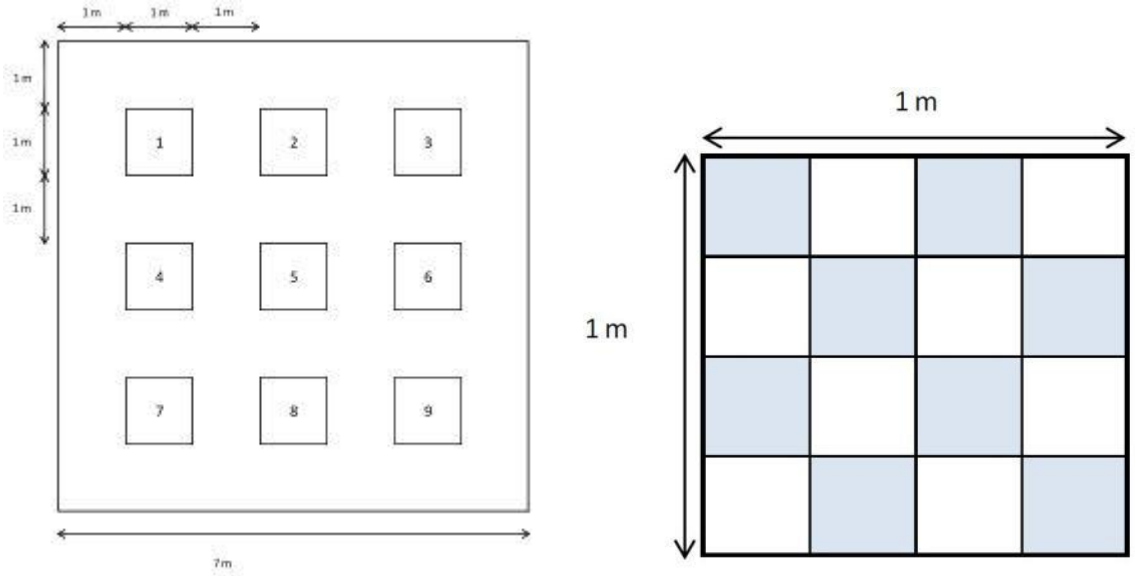


Fig. 52. Schéma d'organisation des quadrats élémentaires au sein des quadrats de fréquence de landes (à gauche) et de tourbières (à droite).

A l'échelle du transect, l'objectif est de mesurer l'évolution des végétations en réponse à des changements du niveau hydrique. Le long de ce transect, les différentes végétations sont notées avec éventuellement des relevés phytosociologiques pour chacune d'entre elles.

La détermination des espèces végétales non-identifiées peut s'effectuer directement sur le terrain à l'aide d'une flore et d'une loupe (x10 minimum). Dans le cas de critères délicats à appréhender *in situ* (ex : Sphaignes), l'identification se fera ultérieurement en laboratoire, avec un matériel adéquat (loupe binoculaire, microscope, etc.), sur des échantillons prélevés hors de la zone d'étude. Concernant les espèces rares ou protégées, la détermination devra se faire autant que possible sur photos ou *in situ* sans prélèvement.

Pour l'étude des landes et tourbières en Aquitaine, le champ d'investigation taxonomique concerne les spermatophytes et ptéridophytes mais aussi les sphaignes, les autres bryophytes et lichens sont exclus car trop complexes à appréhender. Le référentiel taxonomique suivi est la version la plus récente de TaxRef (actuellement version 9, (Gargominy *et al.*, 2015). Les flores utilisées sont diverses : Flora Gallica (Tison *et al.*, 2014a), Flore de Dordogne (Bede *et al.*, 2014), Flore du Pays Basque et des régions limitrophes (Aizpuru *et al.*, 1999), Flore descriptive et illustrée de la France, de la Corse et des contrées limitrophes (Tomes 1 à 3) (Coste, 1901 ; Coste & Flahault, 1903 ; Coste & Flahault, 1906), Les fougères et plantes alliées de France et d'Europe occidentale (Prelli & Boudrie, 2001), Handbook of European Sphagna (Daniels & Eddy, 1990) et Mosses and liverworts of Britain and Ireland (Atherton *et al.*, 2010).

Pour la mise en place et la lecture d'une placette de landes humides et de tourbières, le matériel requis est le suivant :

- 2 piquets en bois fendu imputrescible (ex : robinier) pour transects ;
- Tiges en métal (acier ou inox) pour quadrats de fréquence (4 par quadrats lande) ;
- Appareil GPS (GPS submétrique si possible) ;
- Piquets fins en bois (8 minimum) ;
- Corde tressée ou rubalise (120m minimum) ;
- Détecteur de champs magnétiques ;

- Marteau et masse ;
- Quadrats en bois (1m de côté) ;
- Décamètre (50m) ;
- Appareil de visée ;
- Boussole ;
- Appareil photo

- Période optimale de suivi

Les landes humides et tourbières d'Aquitaine connaissent leur optimum phénologique entre début juillet et mi-septembre ; c'est-à-dire la période durant laquelle la majorité du cortège floristique est en floraison. Afin de noter et pouvoir identifier le maximum d'espèces, les inventaires et suivis doivent s'effectuer durant cette période comme l'atteste diverses études (GEHU & GEHU-FRACK, 1973 ; LAFON & LE FOULER, 2014).

- Nombre de campagnes de relevés

Une seule campagne de relevés est réalisée pour chaque année de suivi. En effet, la quasi-totalité du cortège floristique étant observable dans le cas d'une lecture pendant la période phénologique optimale, la réalisation de plusieurs campagnes n'offre qu'un intérêt limité.

Ces végétations étant assez stables sans perturbations anthropiques mais pouvant être relativement dynamiques dans le cas d'un changement de conditions de gestion ou de régime hydrique, le délai entre chaque campagne de suivis est fixé à 3 ans. En fonction des premières analyses et retours d'expérience, ce délai pourra être rehaussé. En effet, les impacts du changement climatique sur cet habitat intervenant à une échelle de temps bien plus large, des suivis trop rapprochés ont peu d'intérêt.

- Fiches de relevés

Pour le suivi de ces habitats, 2 fiches sont adaptées pour les landes d'une part (Annexe 17) et pour les tourbières d'autre part (Annexe 18).

Ces fiches compilent les informations relatives aux :

- métadonnées et informations générales
- pressions et menaces
- variables descriptives (maturité, espèces sociales, tourbe)
- géolocalisation des dispositifs
- quadrats de fréquence (landes et tourbières)
- quadrats paysagers (landes uniquement)

5.1.2 Discussion et perspectives de suivi

Les protocoles de suivis explicités plus haut étant au départ calibrés pour évaluer l'état de conservation des habitats, des compléments ou modifications pourront être adaptés pour mieux répondre à la problématique du changement climatique. Toutefois, ces protocoles semblent assez précis car intégrant plusieurs échelles spatiales et temporelles et permettant la détection de variations floristiques fines.

La mise en place et la première lecture des dispositifs de suivi de la flore et des végétations de landes humides et tourbières sur les nouveaux sites dans le cadre du programme Sentinelles du climat sont prévues pour l'été 2017. Les dispositifs déjà en place pour le suivi des HIC et mutualisés avec le programme Sentinelles feront également l'objet d'une lecture en 2017 afin d'avoir des données synchrones sur ces habitats.

Les différents stades phénologiques, et notamment la floraison, des espèces végétales pouvant être fortement influencées par les conditions météorologiques d'une année sur l'autre (MENZEL & FABIAN, 1999 ; SHERRY *et al.*, 2007 ; BERTIN, 2008 ; VITASSE, 2009 ; VITASSE *et al.*, 2011), un suivi de la phénologie et de l'abondance de certaines espèces de landes et tourbières est envisagé.

La mise en place d'un tel suivi répond à plusieurs objectifs ; le premier serait d'apporter des éléments explicatifs des variations de cortèges de Lépidoptères, en plus des conditions météorologiques directes, et ainsi mieux contextualiser les données de suivi de ce groupe taxonomique. Le second intérêt porte sur la connaissance plus fine de l'autécologie des espèces végétales choisies, en lien avec le changement climatique.

L'année 2017 servira à l'élaboration d'une liste d'espèces végétales intéressantes à suivre ainsi qu'à la définition de protocoles simples permettant de récolter les données sur leur phénologie et leur abondance. Ces données pourront alors être reliées aux données de suivi des Lépidoptères ainsi qu'aux données météorologiques enregistrées localement.

D'autre part, l'existence d'un réseau de suivi de landes et tourbières en Aquitaine développé dans le cadre d'autres programmes et par d'autres structures (Natura 2000, PNR Landes de Gascogne, Conseil Départemental des Landes, ONF, CEN Aquitaine, etc.) forme un appui intéressant en termes historique. En effet, l'intégration des données floristiques acquises à travers ce réseau de suivis pour des analyses et modélisation apporterait une robustesse plus importante aux résultats. Cette démarche devra toutefois être approfondie par rapport à la compatibilité des protocoles, et discutée avec les gestionnaires des suivis.

Dans le cas des végétations landicoles et tourbeuses, les analyses et la modélisation des effets du changement climatique porteront sur plusieurs aspects. Tout d'abord, l'apparition d'espèces de landes plus sèches et/ou de taxons moins oligotrophiles. Ensuite, la régression des espèces d'affinités boréales, oligotrophiles et strictement hygrophiles. Enfin, l'avancée des stades phénologiques et notamment de la floraison de certaines espèces voire du cortège global.

5.2 Populations de lépidoptères de landes humides

Rédaction : Fanny Mallard, Dominique Galland, Pierre-Yves Gourvil

Les habitats de landes humides seraient particulièrement sensibles aux épisodes de sécheresses et de canicules intenses. Ces végétations pourraient disparaître ou se raréfier au profit de végétations de landes plus sèches et de communautés moins oligotrophiles. Comme indiqué précédemment pour le cortège des lépidoptères de pelouses calcicoles, les lépidoptères sont reconnus pour être des indicateurs du changement climatique. Les espèces du cortège de lépidoptères de landes humides sont liées à une végétation spécifique inféodée aux milieux frais et humides. Ces espèces sont susceptibles d'être sujettes à des extinctions locales par exemple le Fadet des laîches (*Coenonympha oedippus*).

5.2.1 Plan d'échantillonnage

- Sélection des sites

La sélection des sites repose sur la même hypothèse posée pour le cortège de lépidoptères de pelouses calcicoles. Il s'appuie sur l'état de conservation des sites permettant de limiter autant que possible l'influence d'autres facteurs anthropiques qui pourraient interférer avec la réponse de la biodiversité et ne permettraient pas de dissocier l'effet du changement climatique de ces autres pressions.

Le type de lande humide favorisée est une lande méso hygrophile à molinie et à bruyère *Erica tetralix*. Cet habitat est choisi pour accueillir potentiellement une espèce endémique le Fadet des laiches *Coenonympha oedippus*.

L'état de conservation d'un habitat naturel est considéré comme favorable suivant plusieurs critères : bon état de conservation floristique, surface suffisante pour positionner au minimum un transect de 200 m, gestion écologique constante, maîtrise foncière publique ou privée avec convention, connexion potentielle à d'autres milieux humides, sites distants au moins de 50 m des activités anthropiques, composition d'une végétation homogène (peu de présence de fougères), accessibilité du site, répartition spatialement équilibrée à travers la région Aquitaine.

Une pré-sélection de sites par le CBNSA a permis au préalable d'identifier 36 sites potentiels dits de bon état de conservation (Fig. 59). L'évaluation de l'état de conservation des landes humides du réseau Natura 2000 s'appuie sur les suivis floristiques réguliers du schéma pluriannuel de suivi des habitats d'intérêts communautaires (HIC) de la région Aquitaine mis en place par le CBN Sud-Atlantique (LE FOULER & CAZE, 2012 ; LAFON & LE FOULER, 2014).

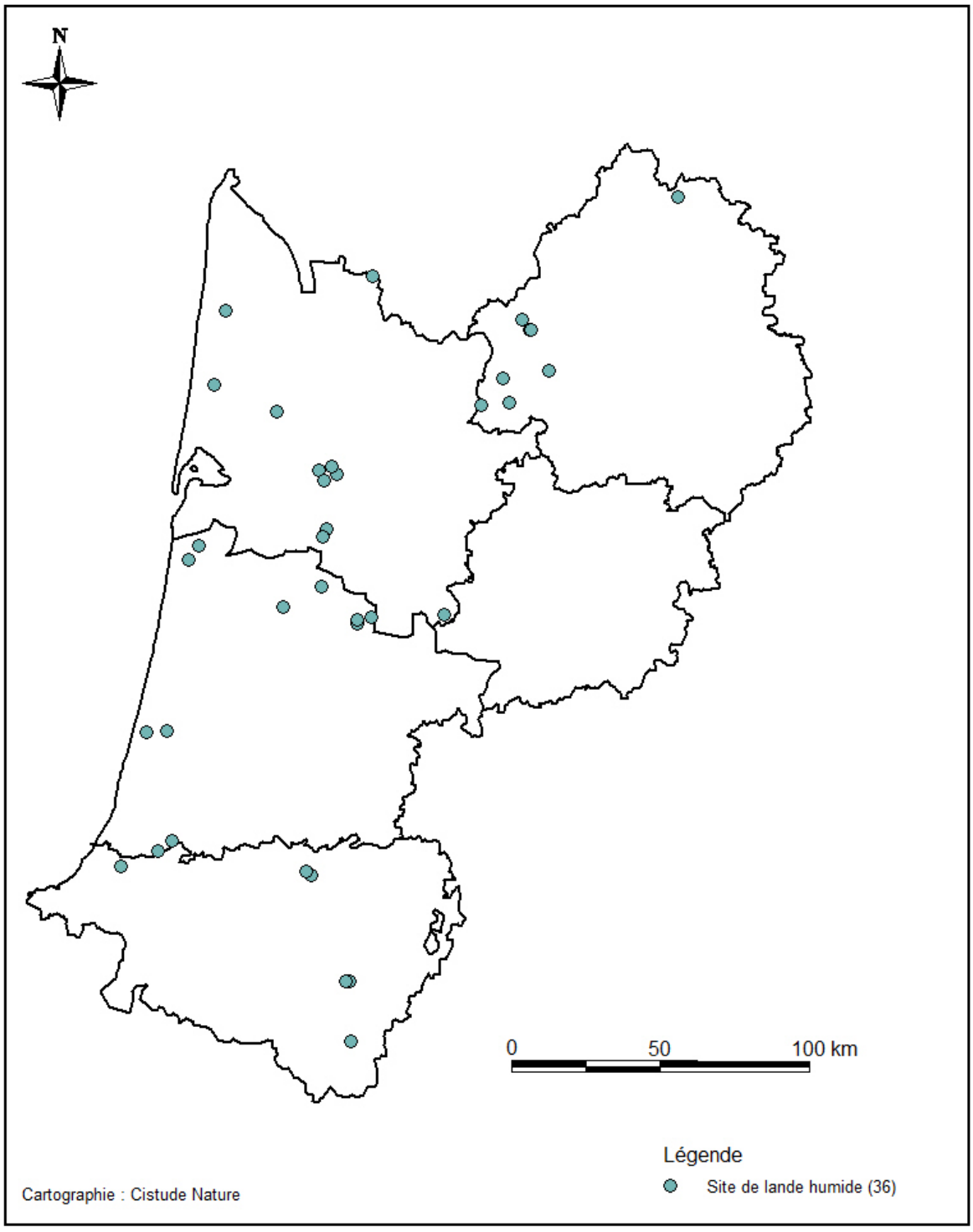
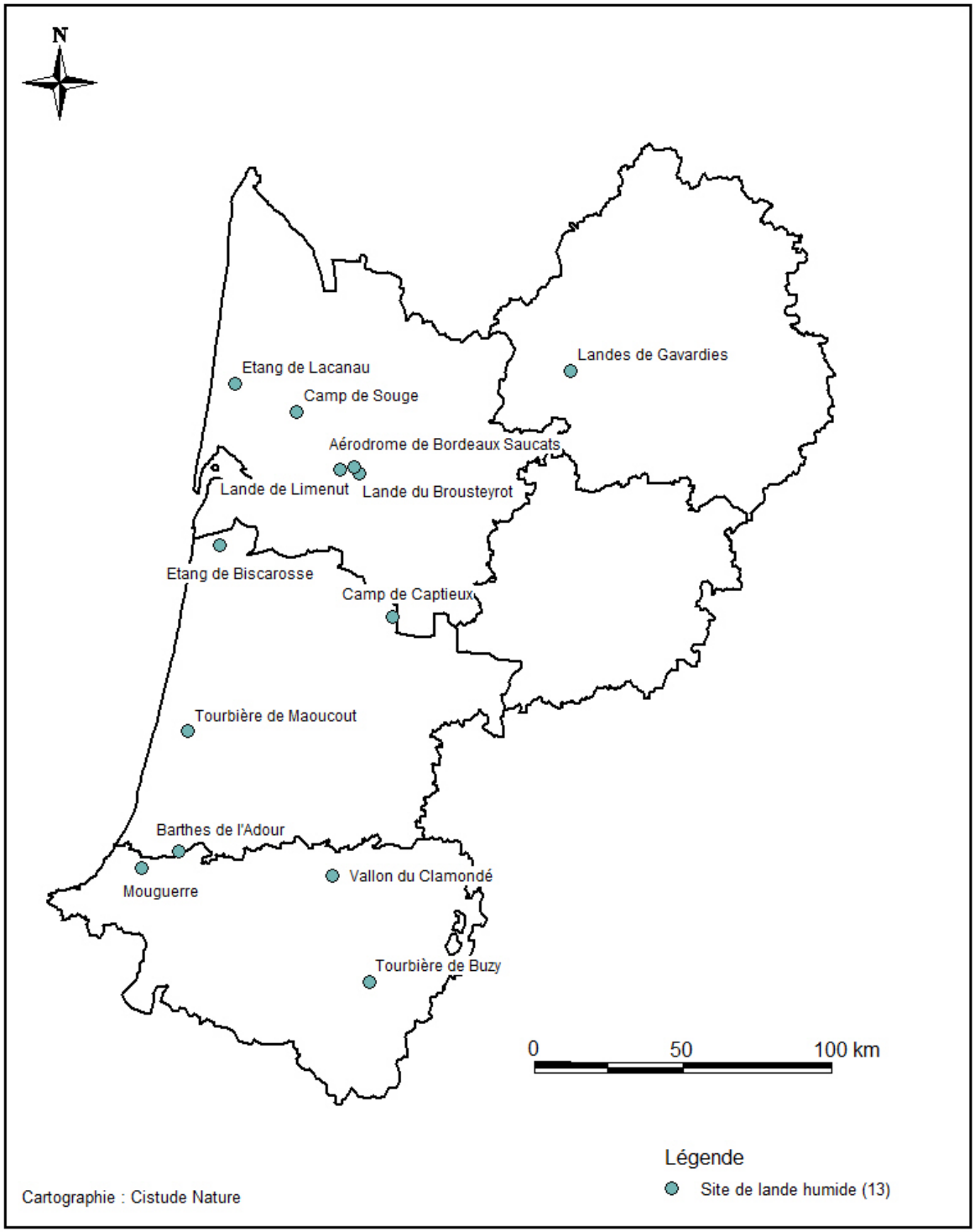


Fig. 53. Situation géographique des zones prospectées de l'habitat lande humide dans la cadre du suivi des espèces de lépidoptères.

• Description des sites choisis

Sur 36 sites de landes humides prospectées, 13 sites ont été retenus pour répondre aux critères énoncés précédemment (Fig. 60, Tab. XXXV).



Sites d'études de suivis des lépidoptères de lande humide

Fig. 54. Situation géographique des sites d'études validés de l'habitat lande humide dans la cadre du suivi des espèces de lépidoptères.

Tab. XXIV. Caractéristiques des sites étudiés de l'habitat de lande humide dans la cadre du suivi des espèces de lépidoptères.

Dép.	Commune	Dénomination	Superficie	Statut	Code statut	Gestionnaire	Accord	Transects	Station météo	Structure 2016	Observateur 2016
24	Mussidan	Landes de Gavardies	8.5 ha	ZNIEFF1	Z000000340	?	?	3	0	CEN Aquitaine / Cistude Nature	Duhaze Benoit/Galland Dominique
33	La Brède	Lande du Brousteyrot	8 ha	Natura 2000	FR7200797	RN de Saucats La Brède	oui	4	oui	Cistude Nature	Galland Dominique
33	Lacanau	Etang de Lacanau	15 ha	Natura 2000	FR7200681	Commune/Animateur docob	oui	5	oui	Cistude Nature	Galland Dominique
33	Léognan	Lande de Limenut	1.3 ha	-	-	CEN Aquitaine	oui	1	0	Cistude Nature	Galland Dominique
33	Léognan/Martillac	Aérodrome de Bordeaux Saucats	15 ha	ENS / 0	-	Aérodrome/CC de Montesquieu	oui	4	oui	Cistude Nature	Galland Dominique
33	Martignas	Champ de tir de Souge	15.3 ha	ZNIEFF	720002379	Armée de Terre. Gestion ONF + CEN Aquitaine	Oui		0	CEN Aquitaine	Bertolini Amélie
40	Biscarrosse	Etang de Biscarrosse	8.2 ha	Natura 2000	FR7200714	Commune/Animateur docob	oui	5	oui	Cistude Nature	Galland Dominique
40	Callen	Camp de Captieux	20 ha	Natura 2000	FR7200723	Camp militaire/ONF	oui	4	0	Cistude Nature	Galland Dominique
40	Saint Michel Escalus	Tourbière de Maoucout	5.7 ha	ENS / Natura 2000	FR7200716	CD Landes	oui	3	oui	Cistude Nature	Galland Dominique
40	Saint-Laurent de Gosse	Barthe de l'Adour	52.9 ha	Privé	-	Privé	?	2	0	CEN Aquitaine	?
64	Mouguerre	Landes humides de Mouguerre	0.8 ha	Site CEN	-	Privé géré par le CEN Aquitaine	Oui		oui	CEN Aquitaine	Dejean Nicolas
64	Buzy	Tourbière de Buzy	2.6 ha	Site CEN	-	Privé géré par le CEN Aquitaine	Oui	1	0	CEN Aquitaine	?
64	Arthez de Béarn	Valon de Clamondé	1.36 ha	Site CEN	-	Privé géré par le CEN Aquitaine	Oui	1	0	CEN Aquitaine	?

- Définition et positionnement des points d'échantillonnage

La méthodologie de comptage des lépidoptères est basée sur le programme national du suivi temporel des Rhopalocères de France (STERF) du programme d'observatoires de la biodiversité Vigie-Nature.

Les transects sont parcourus en un temps identique (10 ± 1 min.). La longueur du transect définie en landes humides est de 200 m. Cette longueur est déterminée suivant des données empiriques de 2016 de vitesse de déplacement du comptage des observateurs dans un habitat peu diversifié et la longueur minimale disponible d'un type d'habitat homogène.

Les transects sont de forme linéaire adoptant la forme de l'habitat (Fig. 65). Les transects situés en landes humides, sont positionnés dans les zones homogènes continues en évitant des conditions spécifiques telles qu'une zone de fougères (Fig. 66). La distance minimale entre les transects et les limites de l'habitat est de 50 m au minimum, pour rappel, distance de référence d'après le protocole de suivi des lépidoptères des Réserves Naturelles de France (LANGLOIS & GILG, 2007). Comparée aux pelouses calcicoles, l'orientation des transects sur plateau qui les caractérise n'a a priori pas d'influence sur le comptage.

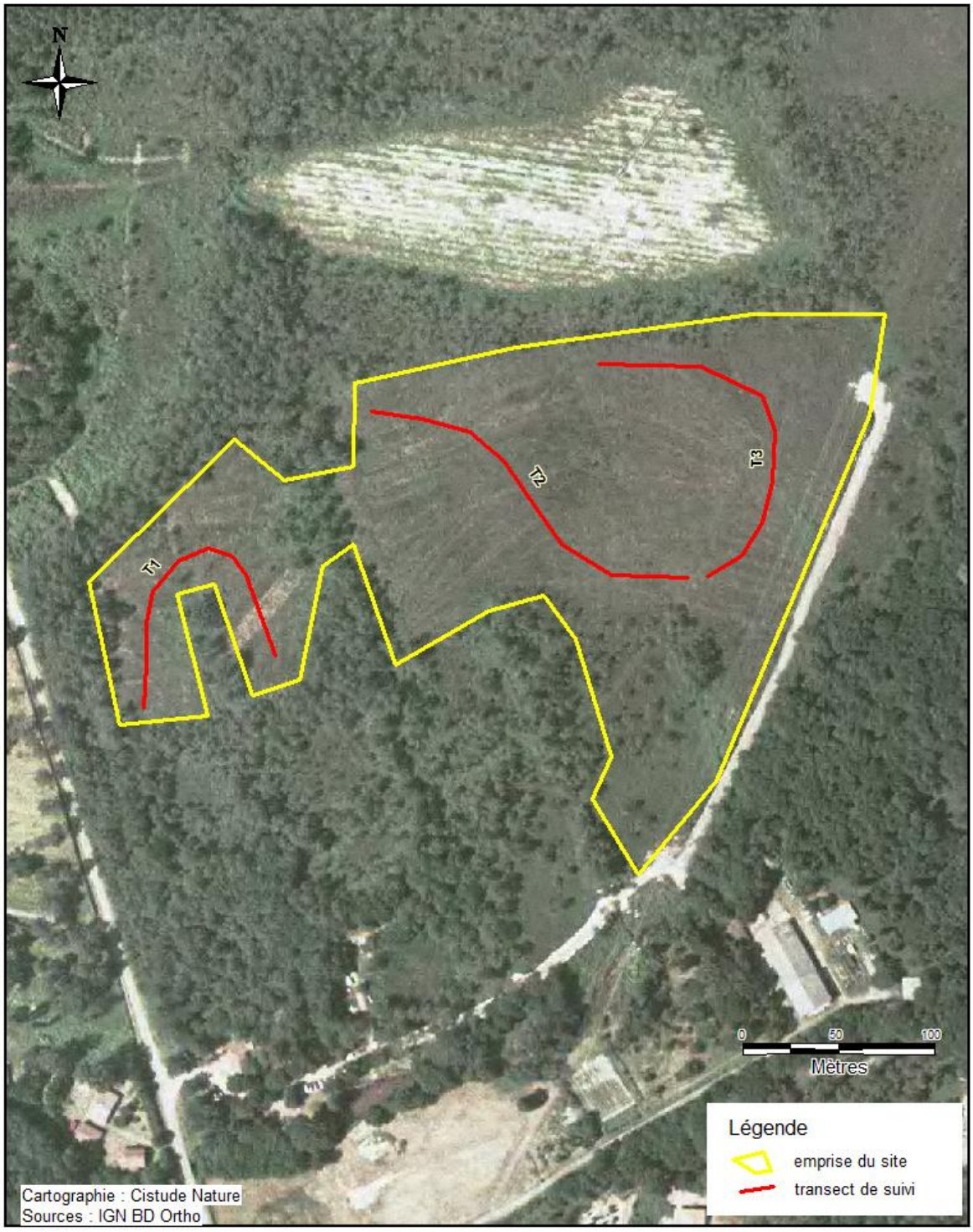
La matérialisation du transect est réalisée également par point GPS et par cartographie. La précision de réalisation du transect se situe entre 3 à 5 m (précision du GPS) selon les conditions météorologiques. Afin de ne pas perturber le cortège sur le transect, le début du transect est déterminé à l'entrée du site.

En fonction de la surface de l'habitat homogène, le nombre de transects se situe entre 1 et 5 par site (Tab. IV, Annexe 19).

Tab. XXV. Caractéristiques des transects de l'habitat lande humide dans la cadre du suivi des espèces lépidoptères.

Dép.	Dénomination site	Dénom. transect	Longueur (en m)	Altitude (en m)	Latitude	Longitude	Latitude'	Longitude'
24	Landes de Gavardies	T1	200	60	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24	Landes de Gavardies	T2	200	60	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
24	Landes de Gavardies	T3	200	60	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
33	Aérodrome de Bordeaux Saucats	T1	200	54	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
33	Aérodrome de Bordeaux Saucats	T2	200	54	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
33	Aérodrome de Bordeaux Saucats	T3	200	54	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
33	Aérodrome de Bordeaux Saucats	T4	200	54	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
33	Champ de tir de Souge	T1	200	300	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
33	Champ de tir de Souge	T2	200	230	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
33	Champ de tir de Souge	T3	200	260	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
33	Etang de Biscarrosse	T1	200	19	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
33	Etang de Biscarrosse	T2	200	19	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
33	Etang de Biscarrosse	T3	200	19	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
33	Etang de Biscarrosse	T4	200	19	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
33	Etang de Biscarrosse	T5	200	19	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

Dép.	Dénomination site	Dénom. transect	Longueur (en m)	Altitude (en m)	Latitude	Longitude	Latitude'	Longitude'
33	Etang de Lacanau	T1	200	13	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
33	Etang de Lacanau	T2	200	13	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
33	Etang de Lacanau	T3	200	13	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
33	Etang de Lacanau	T4	200	13	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
33	Etang de Lacanau	T5	200	13	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
33	Lande de Limenut	T1	200	57	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
33	Lande du Brousteyrot	T1	200	46	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
33	Lande du Brousteyrot	T2	200	46	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
33	Lande du Brousteyrot	T3	200	46	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
33	Lande du Brousteyrot	T4	200	46	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
40	Barthes de l'Adour	T1	200	142	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
40	Barthes de l'Adour	T2	200	254	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
40	Camp de Captieux	T1	200	111	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
40	Camp de Captieux	T2	200	111	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
40	Camp de Captieux	T3	200	111	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
40	Camp de Captieux	T4	200	111	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
40	Tourbière de Maoucout	T1	200	14	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
40	Tourbière de Maoucout	T2	200	14	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
40	Tourbière de Maoucout	T3	200	14	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
64	Lande humide de Mouguerre	T1	200	140	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
64	Tourbière de Buzy	T1	200	215	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
64	Vallon du Clamondé	T1	200	150	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]



Sites d'études de suivis des lépidoptères de plaine :
[redacted]

Fig. 55. Un exemple de situation des transects de l'habitat lande humide du site [redacted] dans la cadre du suivi des espèces lépidoptères sur photographie aérienne.

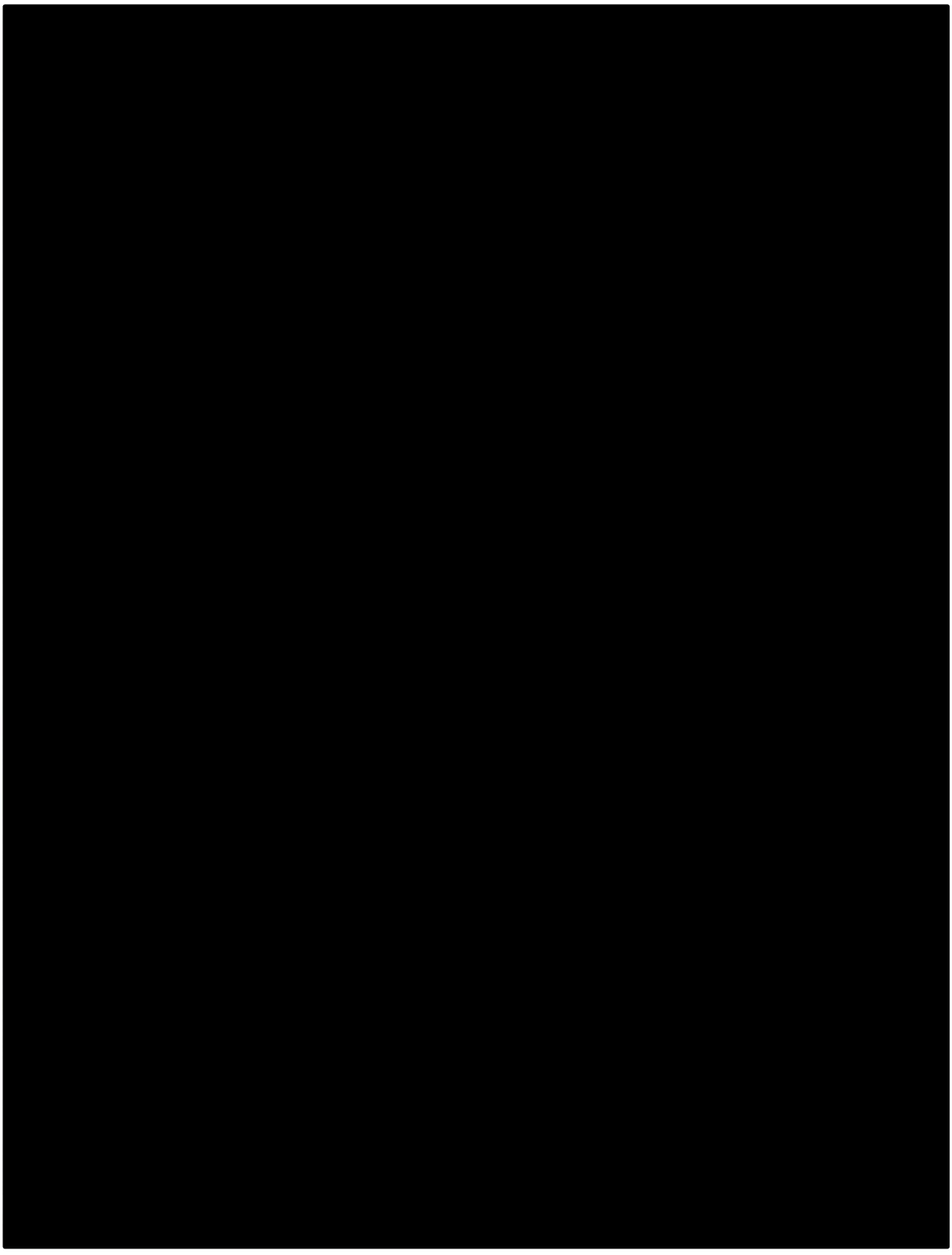


Fig. 56. Un exemple de situation des transects de l'habitat lande humide du site [redacted] dans la cadre du suivi des espèces de lépidoptères sur carte topographique.

- Méthode de relevés et détermination des espèces

Pour chacun des transects, tous les lépidoptères identifiables à distance dans une boîte virtuelle de 5 m de côté sont comptés par un observateur. La vitesse de déplacement est fixe et de moins de 2 km/h.

Le comptage est effectué au vol avec capture au filet pour les espèces non identifiables. Une liste d'espèces à capturer permet de standardiser la capture des spécimens entre les différents observateurs. Comparées aux pelouses calcicoles, les landes humides sont moins concernées par les espèces à détermination délicate (Annexe 10).

Dans le cas d'individus isolés d'espèces non identifiées, l'observateur note l'individu en « indéterminé ». Ce cas sera limité au maximum.

- Conditions météorologiques requises

Un transect est parcouru de 10h à 17h dans les conditions météorologiques suivantes: présence d'une couverture nuageuse d'au maximum 75% et sans pluie; vent inférieur à 6 sur l'échelle de Beauforts; température d'au moins 13°C pour un temps ensoleillé ou d'au moins 17°C pour un temps nuageux. Les suivis sont réalisés jusqu'à une température de 35°C maximum.

- Nombre de campagne de relevés

4 passages par site seront effectués par an et répartis entre mai et août soit 1 passage par mois. Les visites sont espacées d'au moins 15 jours et les relevés d'une année sur l'autre sont réalisés les mêmes semaines jusqu'en 2021.

- Fiche de relevés

Le couple site-observateur sera indissociable, c'est-à-dire que le même niveau professionnel d'observation est maintenu jusqu'en 2021. Les relevés sont réalisés par des professionnels expérimentés.

Chaque observateur notera pour chaque transect les heures de comptage de début et fin du transect avec la mention du temps de pause, le nombre d'individus par espèce et les conditions météorologiques de début du transect. La température sera mesurée à l'aide d'un thermomètre, l'humidité de l'air par les données Météo France, le vent à l'aide de l'échelle de Beaufort et la couverture nuageuse en pourcentage (catégories par pas de 20%). La fiche de relevé est la même que celle présentée pour le suivi des lépidoptères de pelouse calcicole (Fig. 23).

En complément, une fiche de description floristique sera remplie chaque année par les observateurs faunistiques. La description floristique est basée sur l'analyse de la phénologie par une liste de plantes hôtes et nourricières des espèces typiques de landes humides établie par le CEN et Cistude Nature. Cette fiche est liée à un protocole simplifié de suivi floristique qui sera créée en 2017 par le CBNSA. Ce relevé simplifié permettra de prendre en compte des variations éventuelles de disponibilité de la ressource influant sur le cortège observé le long du transect.

5.2.2 Analyses et statistiques

Le plan d'analyse est élaboré de la même manière que pour le suivi des lépidoptères en pelouse calcicole (voir § 4.2.2).

5.2.3 Résultats exploratoires

Les pelouses calcicoles ont une diversité plus importante que celle des landes humides. L'ensemble des modèles de traitements, les tracés ont été listés pour ces « pelouses ». Les résultats des landes humides ont été insérés pour comparaison (voir § 4.2.3). Ce paragraphe reprend les principales données des landes humides.

- **Abondance – Richesse**

Dans Tab. XXVI, le nom du site est rappelé en colonne 1 avec en suffixe le mois de dépouillement (_xx), puis les colonnes suivantes donnent la longueur totale L des transects, le nombre d'individus N_{ind}, le nombre d'espèces observées S_{obs}. L'indice de Menhinick (LOCEY & WHITE, 2013) « Menh » est ensuite le simple rapport entre le nombre d'espèces et la racine carré du nombre d'individus, c'est un premier indicateur des efforts de dénombrements des sites. Les singletons f_1, doubletons f_2, F_3, f_4... sont le nombre d'espèces ayant été dénombrées par 1, 2, 3, 4 individus.

Tab. XXVI. Site_mois, Longueur transect L m, Abondance Nind, Richesse Sobs, ... des sites de landes humides.

Nom du Site	L m	Nind	Sobs	Menh	f_1	f_2	f_3	f_4
1-Aero_Martillac_08	**800**	44	**11**	1.7	3	1	3	2
2-Buzy_07	373	5	3	1.3	2	0	1	0
3-Espoune_07	202	1	1	1.0	1	0	0	0
4-Etang_Biscarosse_08	1000	7	4	1.5	2	1	1	0
5-Lande_Limenut_09	**200**	12	**5**	1.4	2	0	2	1
6-Land_Brousteyrot_09	800	15	3	0.8	1	0	1	0
7-Landes_Gavardies_08	600	50	4	0.6	1	0	0	0
8-Leon_08	186	4	2	1.0	0	2	0	0
9-St-Laurent_Gosse_08	185	9	3	1.0	0	2	0	0
10-Souge_07	398	8	2	0.7	1	0	0	0
11-Tourb_Maoucout_08	1000	13	3	0.8	1	0	1	0
L-Landes_Humides_16	5744	168	19	1.5	8	0	2	0

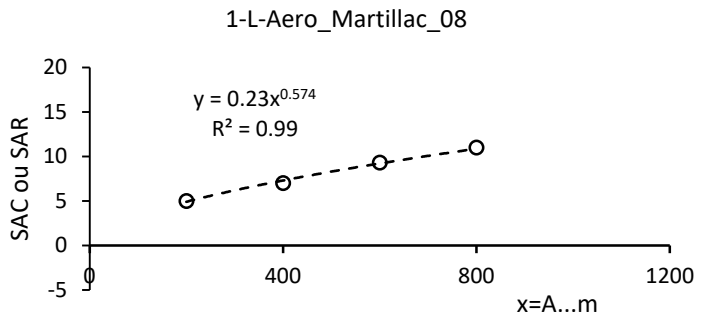
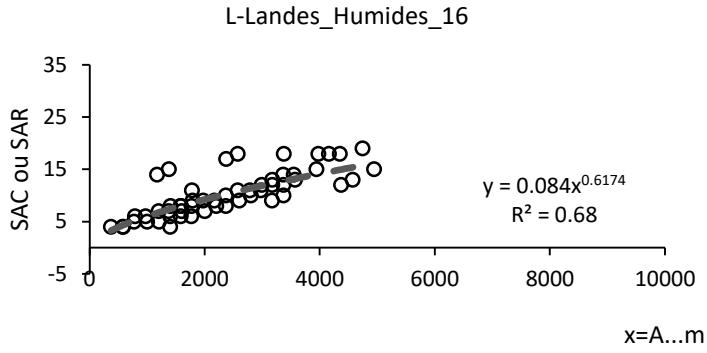
Le classement des sites landes humides du plus riche en espèces au plus pauvre est le suivant : 1–Aero; Martillac; 08: **S=11**; 5–Lande; Limenut; 09: **S=5**; 4–Etang; Biscarosse; 08: S=4; 7–Landes; Gavardies; 08: S=4; 2–Buzy; 07: S=3; 6–Lande; Brousteyrot; 09: S=3; 9–St–Laurent; Gosse; 08: S=3; 11–Tourb; Maoucout; 08: S=3; 8–Leon; 08: S=2; 10–Souge; 07: S=2; 3–Espoune; 07: S=1.

Les longueurs de parcours ne sont pas identiques (voir Martillac et Limenu), la comparaison des sites demande un complément de traitement à couverture d'observation identique.

- **SAR (STAER) niveau du site et de la région**

Après avoir agrégé les espèces au niveau d'un site (exemple illustrée pour le site Martillac) à partir des transects, disposant de plusieurs sites dans la région, une image de cumul dans l'espace des landes humides est déduite. Toutes ces données sont liées aussi à une durée d'observation et à un nombre d'individus (Tab. XXVII). Ces axes espace et temps ne sont pas indépendants. L'extension de la méthode SAR est nommée STAER.

Tab. XXVII. SAR d'un site et de la région assemblant les sites d'études de suivis des lépidoptères de landes humides.

<table>
<tr><td>Sites Landes humides</td><td></td></tr>
<tr><td> 
</td><td>Le site assemble les données des 4 transects.
44 individus 11 espèces
Peu de singletons, la couverture du site est de 93%.</td></tr>
<tr><td>Région assemblant les sites</td><td></td></tr>
<tr><td> 
</td><td>Les sites remplacent les transects et la région assemblant les sites remplace le site. 168 individus, 19 espèces. Peu de singletons, la couverture du site est de 93%.</td></tr>
</table>

- **Nombres de Hill**

Le cas d'un nombre de « DHill » espèces avec des proportions identiques est la diversité maximale, la référence pour un milieu (Tab. XXVIII).

Tab. XXVIII. Nombres de Hill des suivis de lépidoptères des landes humides.

Nom du Site	D0	D_q0.05	D_q1	D_q2	D_q8	Dinf
1-Aero_Martillac_08	11.0	10.8	7.4	5.1	3.0	2.6
2-Buzy_07	3.0	3.0	2.6	2.3	1.8	2.0
3-Espoune_07	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0
4-Etang_Biscarosse_08	4.0	4.0	3.6	3.3	2.6	2.3
5-Lande_Limenut_09	5.0	5.0	4.4	4.0	3.4	3.0
6-Lande_Brousteyrot_09	3.0	2.9	2.1	1.7	1.4	1.4

Nom du Site	D0	D_q0.05	D_q1	D_q2	D_q8	Dinf
7-Landes_Gavardies_08	4.0	3.9	2.9	2.5	2.0	1.9
8-Leon_08	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
9-St-Laurent_Gosse_08	3.0	3.0	2.7	2.5	2.0	1.8
10-Souge_07	2.0	2.0	1.5	1.3	1.2	1.2
11-Tourb_Maoucout_08	3.0	2.9	2.2	1.9	1.5	1.4
L-Landes_Humides_16	19.0	18.2	9.5	6.8	4.5	4.2

Les tracés des profils de diversité de chacun des sites, 1 à 11, et de l'ensemble des sites des Landes Humides sont présentés dans la figure suivante Fig. 57.

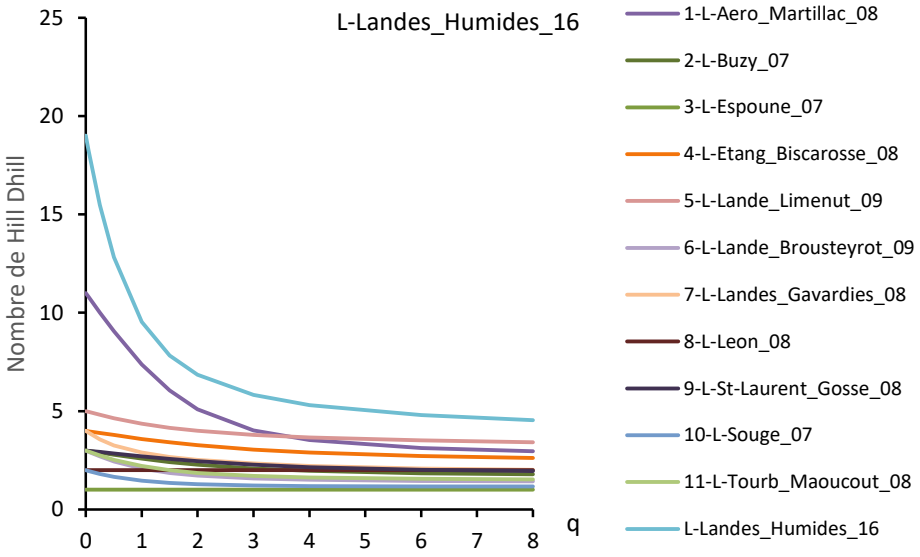


Fig. 57. Profils de diversité sites landes humides.

- Profils de biodiversité et lissages analytiques

Les nombres de Hill, le profil de biodiversité varient entre D_0, le nombre d'espèces observées et la part de l'espèce ayant l'abondance relative la plus grande p_{max}, soit $D_\infty = 1/p_{max}$. A partir de la formule des nombres de Hill « D » la fonction de lissage F varie entre 0 et 1 et est définie par:

$$D_q = D = \left(\sum_{i=1}^{S} p_i^q\right)^{\frac{1}{1-q}} \dots F = \frac{D - D_\infty}{D_0 - D_\infty}$$

Le lissage de FDHill proposé est défini par la fonction suivante où m dépend de q:

$$F = e^{-\beta q^{(m_0 - m_\infty)e^{-bq^\mu} + m_\infty}}$$

Les sites sont caractérisés par un profil de diversité résumé ainsi par 6 paramètres. Le paramètre β est le premier terme de fragilité du milieu, plus il est grand, plus la part d'espèces rares est importante. S'il est nul, le site est homogène et moins fragile. Ce paramètre varie en

fonction de q, il est complété par les termes m_0, m_∞, b relatifs aux espèces rares et espèces abondantes (Tab. XXIX).

Tab. XXIX. Paramètres de lissages des profils de diversité des lépidoptères de landes humides.

Site	β	m_1	m_2	m_3	m_0	m_∞	b	c
1-Aer_Martillac_08	0.56	1.05	0.00	0.34	1.05	0.71	0.03	93%
2-Buzy_07	0.37	1.04	0.00	0.24	1.04	0.80	0.03	73%
3-Espoune_07	_	_	_	_	_	_	_	_
4-Et_Biscarosse_08	0.29	1.02	0.00	0.18	1.02	0.84	0.03	76%
5-La_Limenut_09	0.38	0.89	0.11	0.22	1.00	0.68	0.37	86%
6-L_Brousteyrot_09	0.83	0.92	0.10	0.26	1.02	0.66	0.30	100%
7-La_Gavardies_08	0.73	0.68	0.25	0.08	0.93	0.60	1.11	100%
8-Leon_08	_	_	_	_	_	_	_	_
9-St-Lau_Gosse_08	0.28	1.04	0.00	0.19	1.04	0.85	0.03	_
10-Souge_07	1.00	0.92	0.10	0.29	1.02	0.62	0.28	100%
11-Maoucout_08	0.72	0.93	0.09	0.24	1.01	0.69	0.29	100%
Landes_Humides_16	0.98	0.75	0.25	0.21	1.00	0.55	0.66	95%

- **Taux de couverture**

Le taux de couverture C_n d'un échantillon avec n individus et des singletons f_1 et des doublons f_2 est donné par:

$$C_n = 1 - \frac{f_1}{n}\left(\frac{(n-1)f_1}{(n-1)f_1 + 2f_2}\right)$$

L'extrapolation C_{n+m} du taux de couverture pour un nombre d'individus de n+m au lieu de n est estimé par :

$$C_{n+m} = 1 - \frac{f_1}{n}\left(\frac{(n-1)f_1}{(n-1)f_1 + 2f_2}\right)^{1+m}$$

… il est possible de définir par quel facteur x il faut multiplier le dénombrement initial n pour obtenir un taux de couverture $C_x > C_n$.

$$x = \frac{\dfrac{\mathrm{Log}\left(\dfrac{n(1-C_x)}{f_1}\right)}{\mathrm{Log}\left(\dfrac{(n-1)f_1}{(n-1)f_1 + 2f_2}\right)} - 1}{n} + 1$$

Le tableau suivant (Tab. XXX) donne le taux de couverture C_N atteint par site, puis le taux qui serait atteint en multipliant par 2 le nombre d'individus N observés soit C_{2N}, et enfin la valeur x de C_{xN} pour rapporter à 0.8 les sites dont le taux est inférieur à 0.8=80%.

L'extrapolation des données est accepté dans la littérature jusqu'à un nombre simulé d'individus de 3N… Dans le cas des comptages 4 fois dans l'année (Mai à août), au lieu de 1 ou 2 fois en 2016, le nombre d'individus observé sera multiplié par environ 3. L'estimation du taux de couverture sera de l'ordre de C_{3N}, il est mentionné en dernière colonne du Tab. XXX.

Tab. XXX. Taux de couverture des suivis de lépidoptères de landes humides.

Nom du Site	C_N(Couverture)	C_{2N}(Nx2)	C_{xN} = 0.8, x=	…C_{3N}(Nx3)
1-Aero_Martillac_08	93%	97%	0.93>0.8	98%
2-Buzy_07	73%	96%	1.1	100%
3-Espoune_07				
4-Etang_Biscarosse_08	76%	92%	1.2	97%
5-Lande_Limenut_09	86%	98%	0.85>0.8	100%
6-Lande_Brousteyrot_09	100%	100%	1>0.8	100%
7-Landes_Gavardies_08	100%	100%	1>0.8	100%
8-Leon_08				
9-St-Laurent_Gosse_08				
10-Souge_07	100%	100%	1>0.8	100%
11-Tourb_Maoucout_08	100%	100%	1>0.8	100%
L-Landes_Humides_16	95%[3]	96%	0.95>0.8	97%

- Similarités

La diversité β donne l'information d'échange d'espèces entre les sites d'une région par la notion du nombre de sites équivalents distincts (Tab. XXXI).

Tab. XXXI. Similarités des suivis de lépidoptères de landes humides (pondérations identiques entre sites).

q	$D\gamma$	$D\alpha$	$D\beta$	C_{qN}	U_{qN}
0.0	19.0	3.7	5.1	59%	12%
0.1	18.3	3.6	5.0	58%	13%
0.3	16.2	3.3	4.8	55%	17%
0.5	14.3	3.0	4.7	49%	23%
1.0	12.1	2.6	4.7	35%	35%
1.5	10.9	2.3	4.8	22%	48%
2.0	10.2	2.0	5.0	12%	60%
3.0	9.2	1.8	5.2	3%	78%
4.0	8.6	1.6	5.4	1%	89%

[3] Valeur identique de calcul par iNEXT

D_β indique que 5 sites équivalents sont indépendants parmi les 11 sites des landes humides.

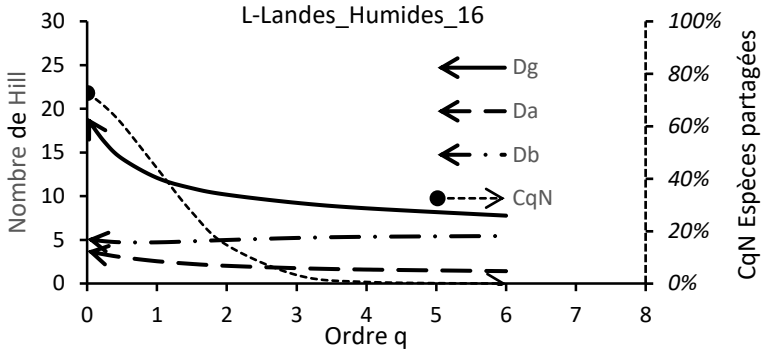


Fig. 58. Diversités α Da, β Db, γ Dg et Similarité CqN des suivis de lépidoptères de landes humides.

- **Liste des espèces**

Le Tab. XXXII donne par site le numéro de l'espèce la plus nombreuse, le nombre d'individus, le nom de l'espèce, puis l'espèce la plus abondante suivante etc…

Tab. XXXII. Espèces les plus nombreuses de lépidoptères par site de landes humides.

1-L-Aero_Martillac_08	N°36_17;Azuré des mouillè	N°13_5;Azuré du trèfle	N°10_4;Fadet commun	N°10_4;Fadet commun
2-L-Buzy_07	N°21_3;Miroir	N°50_1;Azuré de l'ajonc	N°50_1;Azuré de l'ajonc	N°1_0;Collier de corail
3-L-Espoune_07	N°44_1;Sylvaine	N°1_0;Collier de corail	N°1_0;Collier de corail	N°1_0;Collier de corail
4-L-Etang_Biscarosse_08	N°24_3;Azuré porte-queue	N°10_2;Fadet commun	N°46_1;Tircis	N°46_1;Tircis
5-L-Lande_Limenut_09	N°13_4;Azuré du trèfle	N°10_3;Fadet commun	N°10_3;Fadet commun	N°24_1;Azuré porte-queue
6-L-Lande_Brousteyrot_09	N°13_11;Azuré du trèfle	N°24_3;Azuré porte-queue	N°10_1;Fadet commun	N°1_0;Collier de corail
7-L-Landes_Gavardies_08	N°36_27;Azuré des mouillè	N°43_14;Grand neigre des	N°13_8;Azuré du trèfle	N°37_1;Myrtil
8-L-Leon_08	N°6_2;Azuré des nerpruns	N°6_2;Azuré des nerpruns	N°1_0;Collier de corail	N°1_0;Collier de corail
9-L-St-Laurent_Gosse_08	N°43_5;Grand neigre des b	N°13_2;Azuré du trèfle	N°13_2;Azuré du trèfle	N°1_0;Collier de corail
10-L-Souge_07	N°9_7;Fadet des laîches	N°13_1;Azuré du trèfle	N°1_0;Collier de corail	N°1_0;Collier de corail
11-L-Tourb_Maoucout_08	N°6_9;Azuré des nerpruns	N°13_3;Azuré du trèfle	N°24_1;Azuré porte-queue	N°1_0;Collier de corail
L-Landes_Humides_16	N°36_44;Azuré des mouillè	N°13_34;Azuré du trèfle	N°43_21;Grand neigre des	N°6_14;Azuré des nerpruns

- **Estimation espèces manquantes**

Le nombre total d'espèces estimé du site est $S_{obs}+f_0$.

Les sites des Landes humides renferment dans la campagne 2016 peu d'individus, l'assemblage général du milieu est dépouillé. 20 espèces repérées, 28 manquantes avec une racine de la variance de l'ordre de 20 (Tab. XXXIII).

Tab. XXXIII. Nombre d'espèces de lépidoptères D0 observées, taux de couverture C, nombre d'espèces manquantes f0_12 des sites de landes humides.

	D0	C	f0_12	Var0.5_1	Var0.5_2	f0_1234
Landes_Humides_16	20.0	95%	27.8	21.2	22.4	28.0

5.2.4 Discussion et perspectives de suivi

L'année 2016 a permis la mise en place du protocole de relevé des lépidoptères de pelouses calcicoles et également de landes humides. Des critères spécifiques ont été établis pour sélectionner 13 sites de landes humides répartis de manière spatialement équilibrée en Aquitaine. La méthode de comptage sera ajustée et optimisée par l'analyse de l'effort d'échantillonnage. Comme pour les profils de biodiversité des pelouses calcicoles, un plan d'analyse basé sur les profils de biodiversité est proposé et devra être complété par l'intégration d'autres traits biologiques (Tab. XXXIV).

Tab. XXXIV. Synthèse des valeurs des paramètres des fonctions de cumul de la campagne 2016 des dénombrements de la biodiversité, des profils de biodiversité et du taux de couverture.

		Variable	Landes humides
Cumul du nombre d'espèces Sobs et longueur des transects L=A sur l'ensemble des sites de la région, lissage jusqu'à Lmax m	$SAR=cA^z$	c	0.08
		z	0.62
		L_{max} m	5744
Couverture	Singletons	f_1	8
	Doubletons	f_2	0
	Couverture	C_{qN}	95%
Indices principaux de diversité	Nb d'individus	N_{ind}	168
	Nb espèces q=0	$S_{obs}= D_0$	19
	Nb espèces rares q=1	D_1	9.5
	Nb espèces communes q=2	D_2	6.8
	Nb espèces abondantes q=∞	D_∞	3.8
Lissage du profil de biodiversité	paramètres de la fonction F : $F = e^{-\beta q^{(m_0 - m_\infty)e}}$ $D_q = (D_0 - D_\infty)\mathrm{F} + D_\infty$	β	0.98
		m_0	1.00
		m_∞	0.55
		b	0.66
Similarités CqN inter-sites (N nombre de sites=16)	espèces rares	C_{0N}	59%
	espèces communes	C_{2N}	12%
Similarités UqN région (N nombre de sites=16)	espèces rares	U_{0N}	12%
	espèces communes	U_{2N}	60%
Nombre; Espèce la plus rencontrée		Rang 1	44;Azuré des mouillères
		Rang 2	34;Azuré du trèfle
		Rang 3	21;Grand neigre des bois
		Rang 4	14;Azuré des nerpruns

		Variable	Landes humides
Diversité des sites dans la région	Dαq	Dα0	3.7
		Dα1	2.6
		Dα2	2.0
	Dγq	Dγ0	19.0
		Dγ1	12.1
		Dγ2	10.2
	Dβq	Dβ0	5.1
		Dβ1	4.7
		Dβ2	5.0

5.3 Azuré des mouillères

Rédaction : Fanny Mallard, Pierre-Yves Gourvil, Dominique Galland

Les espèces du cortège de lépidoptères associés aux landes humides sont susceptibles d'être sujettes à des extinctions locales. L'Azuré des mouillères (*Phengaris alcon*) est également une espèce qui pourra être fortement impactée par le changement climatique. Son cycle de vie complexe dépend obligatoirement de plusieurs hôtes : plante-hôte Gentiane pneumonanthe (*Gentiana pneumonanthe*) et fourmis-hôtes spécifiques *Myrmica scabrinodis, M. ruginodis* ou *M. rubra*. L'été, les femelles pondent 50 à 100 œufs répartis sur les boutons floraux de la plante-hôte. La Gentiane pneumonanthe, plante hémicryptophyte vivace, est inféodée aux zones humides : prairies humides et zones marécageuses (MAES *et al.*, 2004). Sa floraison est tardive (août-septembre). Sa période de floraison risque d'être plus précoce si l'hypothèse d'un réchauffement climatique se confirme, la période de ponte de l'Azuré des mouillères pourrait être modifiée. Les températures plus élevées entraînent des dérèglements entre les interactions essentielles des espèces de lépidoptères avec leurs plantes nourricières, comme par exemple l'Azuré des mouillères *Maculinea alcon* et sa plante hôte *G. pneumonanthe* (CORMONT *et al.*, 2013). Ce décalage précoce de la reproduction peut générer des effets multiples et en cascade. Les espèces à capacité d'adaptation limitée sont ainsi sensibles à ce décalage de phénologie qui réduit l'état de remise en forme de l'individu, augmente la mortalité, et perturbe la chaîne trophique.

5.3.1 Plan d'échantillonnage

- Sélection des sites

La sélection des sites est réalisée en fonction de la répartition de *M. alcon*, la présence de populations importantes sur des habitats à forte densité de *G. pneumonanthe* et une répartition spatialement équilibrée en Aquitaine (Fig. 59). Le critère fondamental de la sécurisation foncière est également respecté afin d'assurer une pérennité dans le temps de la naturalité du site.

La répartition spatiale de *M. alcon* est limitée à quelques zones en région Aquitaine. Les sites choisis présentant la plus grande surface sont les moins impactés par la fragmentation et ont les plus fortes densités de population de *M. alcon*. Les sites ajoutés en Limousin complèteront les analyses.

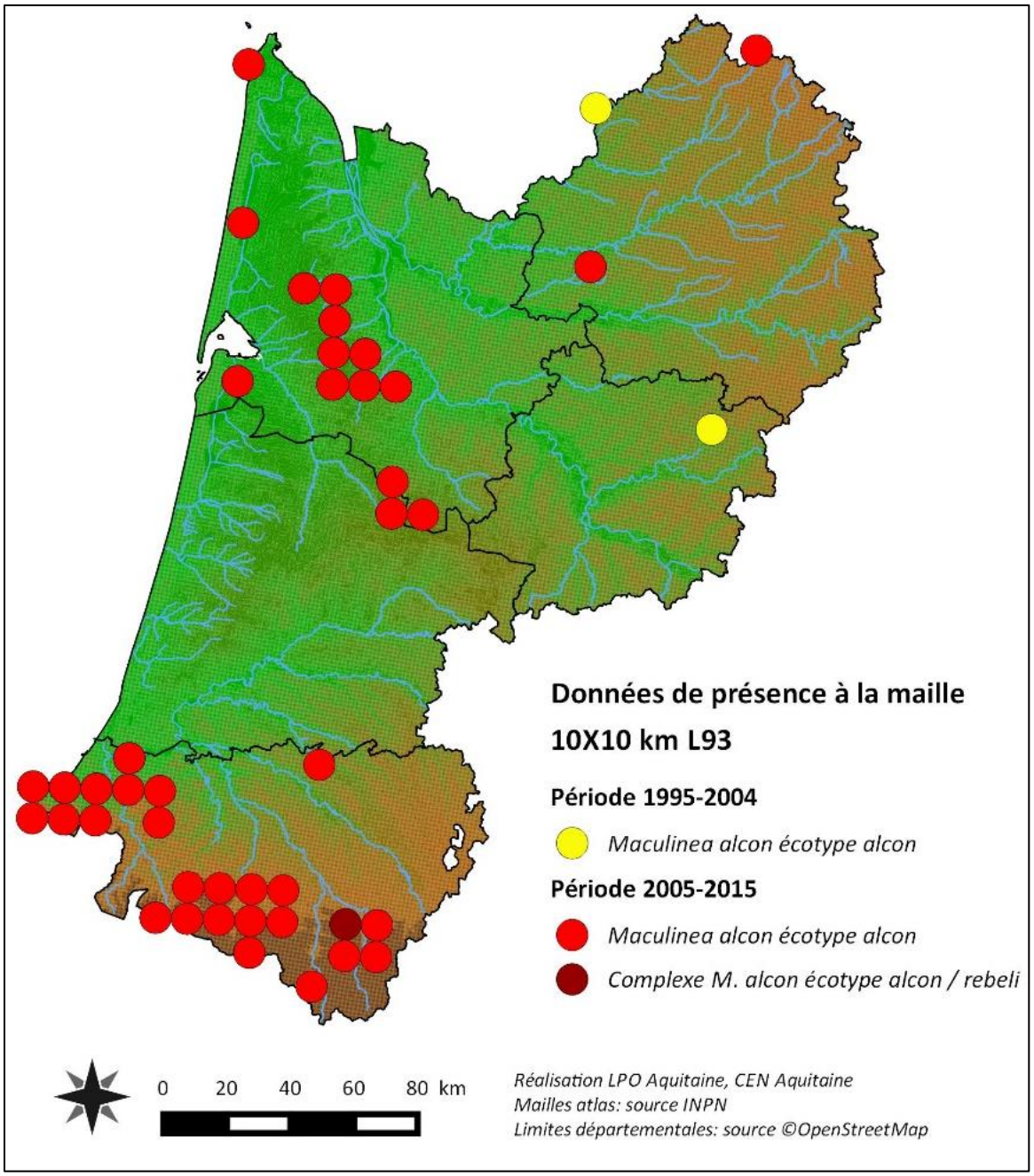
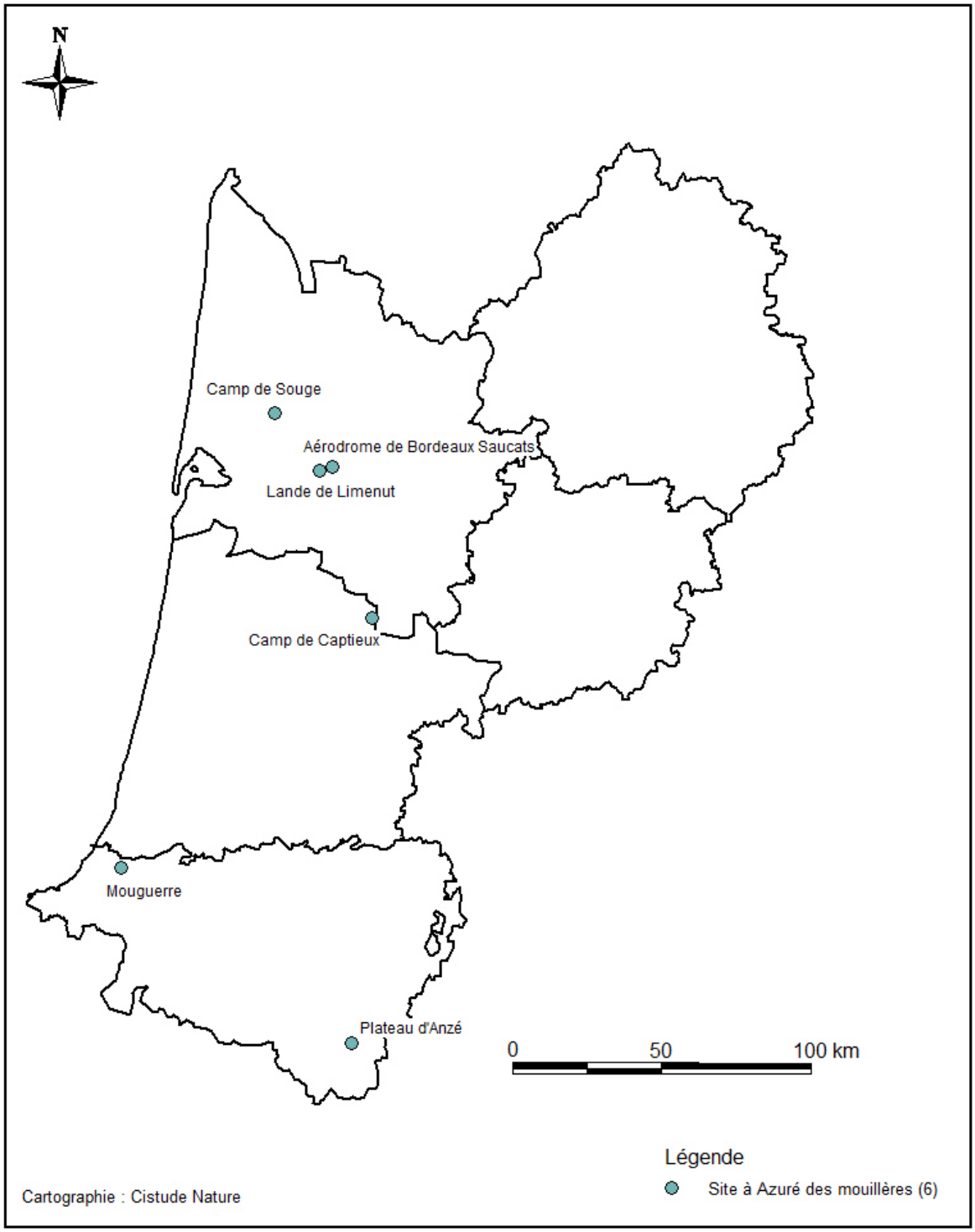


Fig. 59. Données de présence de M. alcon en Aquitaine (Gourvil et al., 2016).

- Description des sites choisis

D'après la carte de données de présence de *M. alcon* en Aquitaine, 6 sites ont été retenus pour répondre aux critères énoncés précédemment (Fig. 60, Tab. XXXV). Les camps militaires de Souge, de Saucats et l'aérodrome de Martillac sont reconnus pour leurs populations importantes de *M. alcon.* Une présentation des suivis et une demande d'autorisation d'accès à ces sites a été réalisée en 2016.



Sites d'études de suivis de l'Azuré des mouillères

Fig. 60. Situation géographique des sites d'études validés dans la cadre du suivi de l'Azuré des mouillères.

Tab. XXXV. Caractéristiques des sites étudiés dans la cadre du suivi de l'Azuré des mouillères.

Dép.	Commune	Dénomination	Superficie	Statut	Code statut	Propriétaire/Gestionnaire	Accord	Station météo	Structure 2016	Observateur 2016
33	Léognan/Martillac	Aérodrome de Bordeaux Saucats	15 ha	ENS / 0	0	Aérodrome/Communauté de communes de Montesquieu	oui	oui	Cistude Nature	Galland Dominique
33	Léognan	Lande de Limenut	1.3 ha	0	0	CEN Aquitaine	oui	0	Cistude Nature	Galland Dominique
40	Callen	Camp de Captieux	20 ha	Natura 2000	FR7200723	Camp militaire/ONF	oui	0	Cistude Nature	Galland Dominique
64	Laruns	Plateau d'Anzé	1 ha	-	-	Commune de Laruns	En cours	0	CEN Aquitaine	Gourvil Pierre-Yves
64	Louvie-Juzon	Tourbière de Pédestarrès	5.9 ha	-	-	Commune de Louvie-Juzon		0	CEN Aquitaine	Gourvil Pierre-Yves
64	Mouguerre	Landes humides de Mouguerre	0.8 ha	Site CEN	-	Privé géré par le CEN Aquitaine	Oui	oui	CEN Aquitaine	Dejean Nicolas
33	Martignas	Champ de tir de Souge	15.3 ha	ZNIEFF	720002379	Armée de Terre. Gestion ONF + CEN Aquitaine	Oui	0	CEN Aquitaine	Bertolini Amélie

- Définition et positionnement des points d'échantillonnage

En 2016, un relevé précis des pieds de *G. pneumonanthe* a été réalisé sur les sites accessibles (Fig. 61 – Fig. 64). Suite aux autorisations obtenues, ce relevé sera complété en 2017 pour les sites d'études des camps militaires.

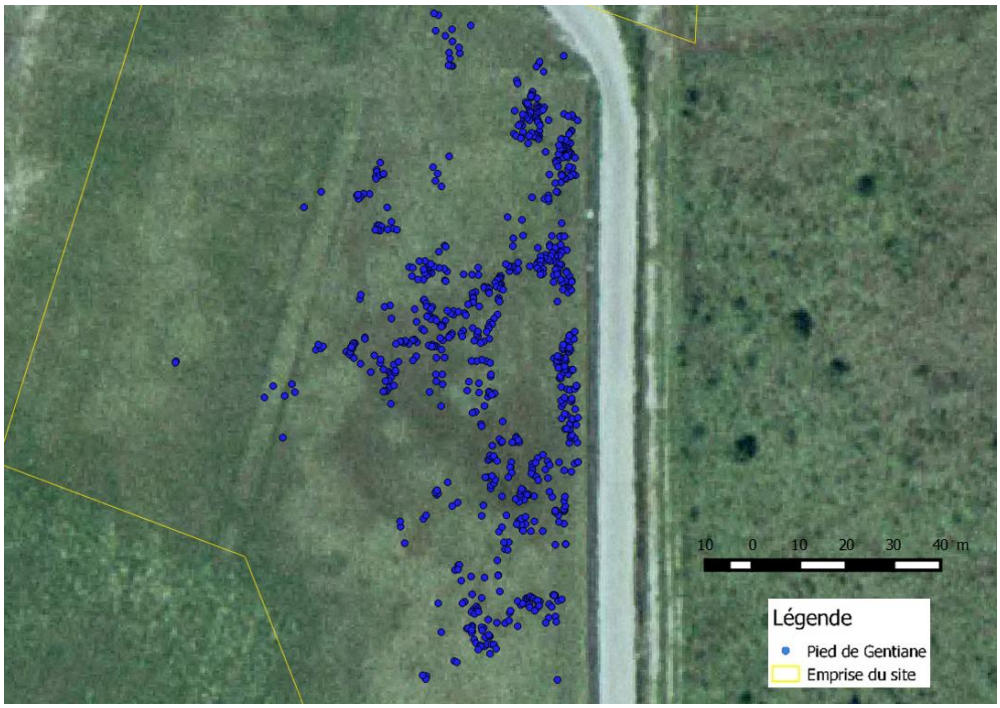


Fig. 61. Positionnement des pieds de G. pneumonanthe sur le site de suivi de l'Aérodrome de Martillac.

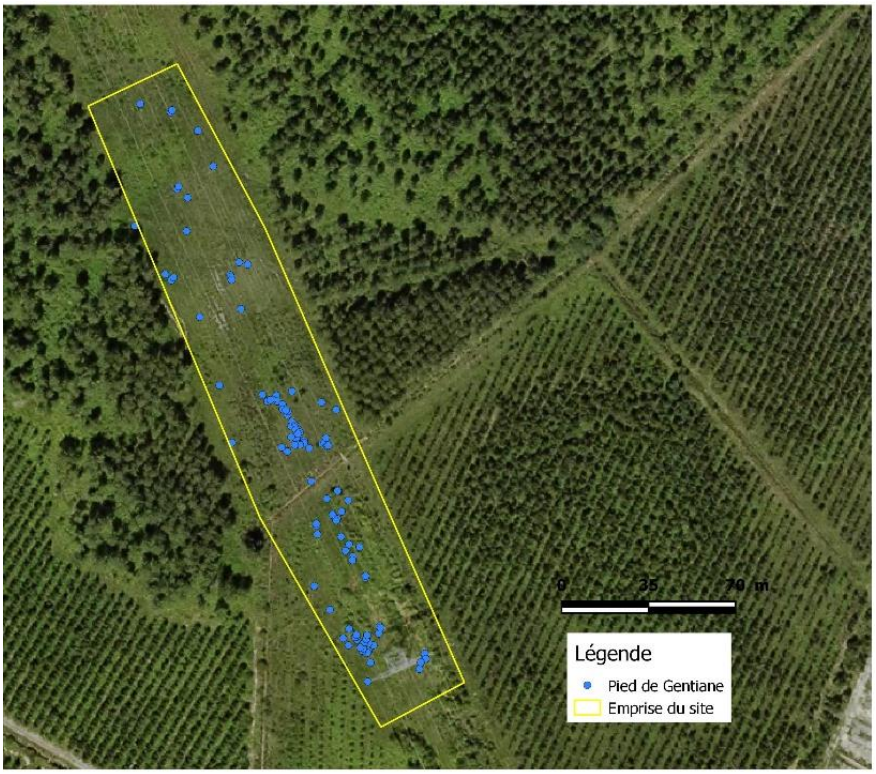


Fig. 62. Positionnement des pieds de G. pneumonanthe sur le site de suivi de Limenut.

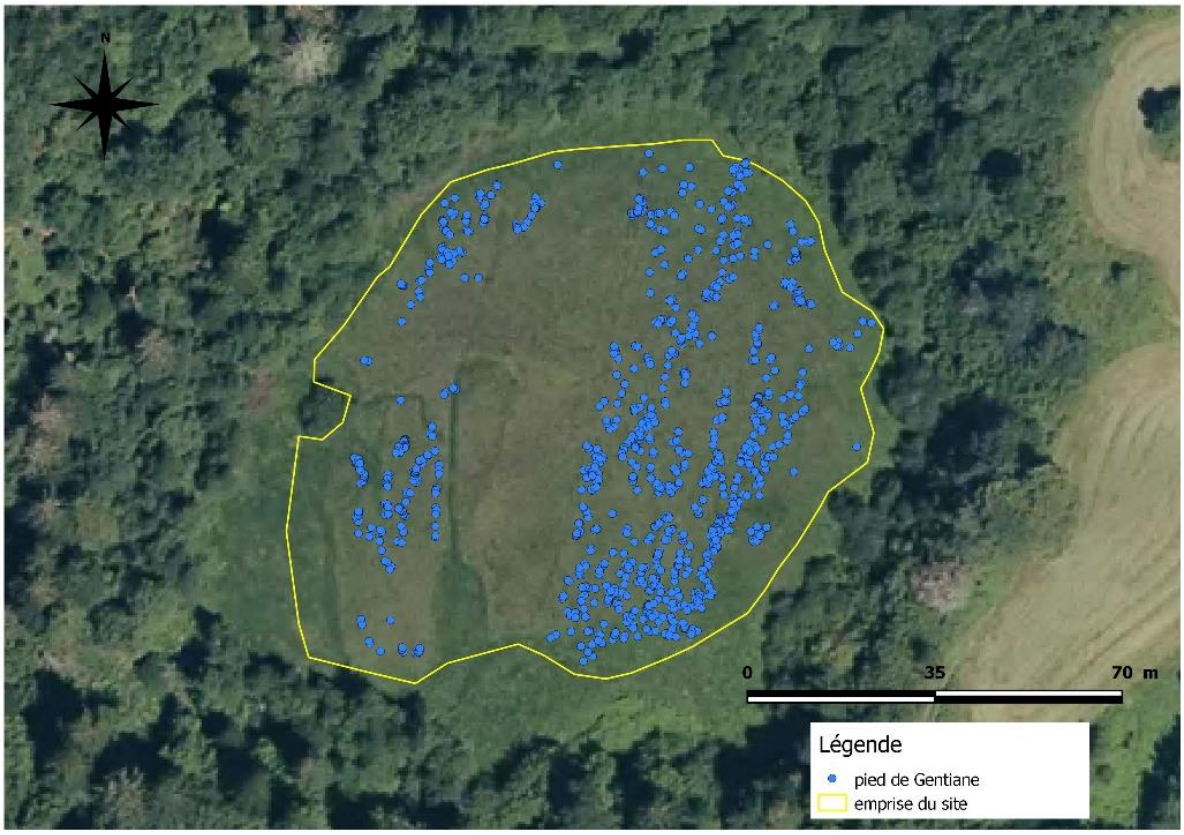


Fig. 63. Positionnement des pieds de G. pneumonanthe sur le site de suivi du Plateau d'Anzé.

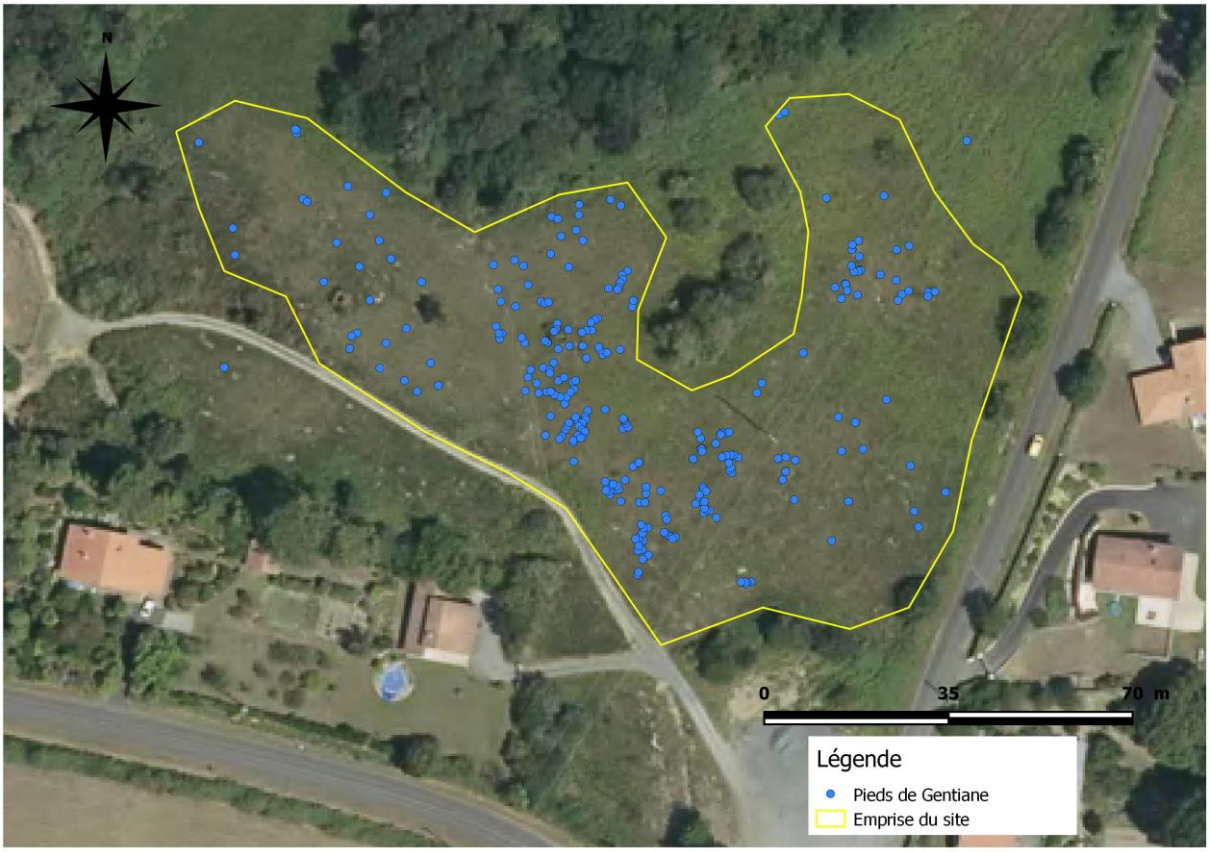


Fig. 64. Positionnement des pieds de G. pneumonanthe sur le site de suivi de Mouguerre.

Par rapport au comptage du cortège de lépidoptères, il n'existe pas de protocole standardisé au niveau national. Plusieurs études ont utilisé la méthode des quadrats dans le cadre du suivi des pontes sur les pieds de *G. pneumonanthe.* Cette méthode détermine une surface délimitée dans laquelle les comptages des populations sont réalisés.

Deux méthodes de quadrats se dégagent dans la littérature pour étudier le succès de la ponte de *M. alcon* et le changement de phénologie de la *G. pneumonanthe*. Ces méthodes sont illustrées à partir d'un exemple du site du Plateau d'Anzé avec une emprise de 0,8 ha comprenant 1195 pieds de *G. pneumonanthe*.

La première méthode utilise des quadrats permanents. Des carrés de 100 m² (10 m x 10 m) (VAN DYCK & REGNIERS, 2010) sont disposés sur les noyaux des zones à forte densité de *G. pneumonanthe.* Le nombre de carré est choisi pour que leur surface totale inclut au moins 20% des pieds du site. En illustration, pour le site du Plateau d'Anzé, 6 quadrats sont répartis sur les différentes zones qui se dégagent visuellement, puis, en choisissant le noyau de chacune de ces zones, cela couvre 600 m² ou 7,5% de surface étudiée (Fig. 65). Selon l'évolution spatiale des pieds de *G. pneumonanthe*, l'emplacement des carrés peut être ajusté dans la limite des conditions microclimatiques similaires. Les quadrats permanents sont matérialisés par des piquets en métal enfoncés dans le sol et repérés ensuite par un détecteur de métaux.

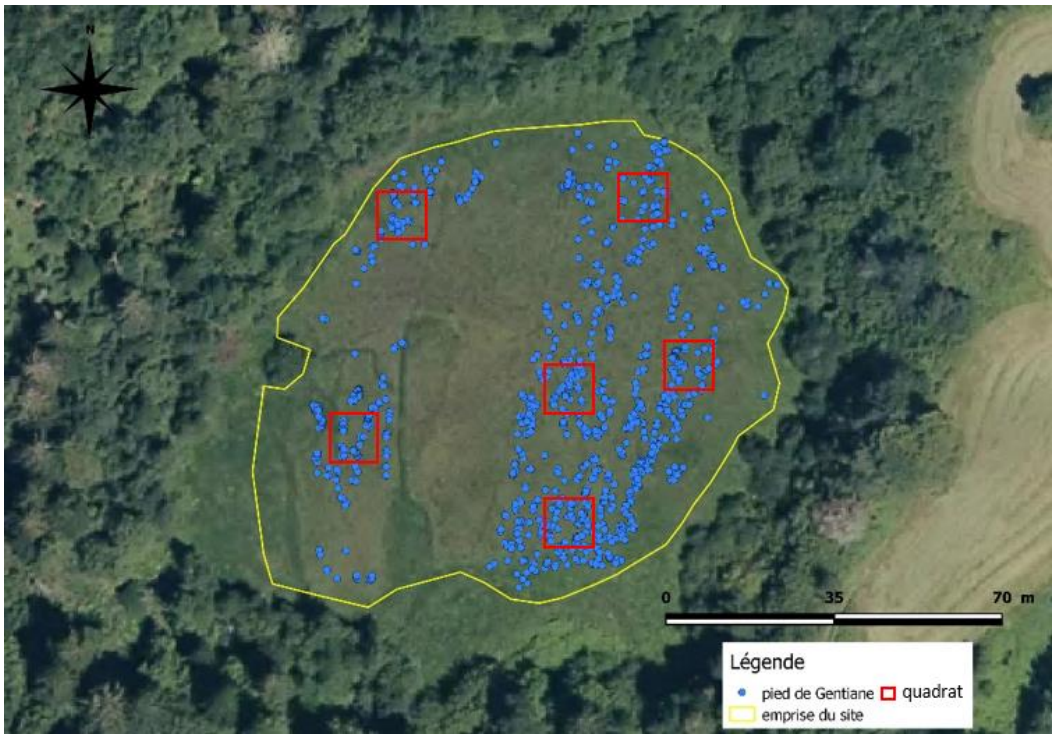


Fig. 65. Méthode quadrats de 10m x 10 m de suivi des pontes d'Azurés des mouillères sur les pieds de G. pneumonanthe.

La deuxième méthode part de plusieurs transects disposés sur chaque site d'étude. Les transects sont composés de quadrats continus de 4m² (2m x 2m) (KESEL & URBAN, 1999) sur un transect d'environ 100m (soit 200 m²). Les transects sont disposés selon la topographie du site. De la même manière que la première méthode, le nombre de transect est défini pour que la surface totale des carrés comprenne au moins 20% des pieds du site. Pour illustration 3 transects respectivement de 100 m, 96 m, 86 m sont tracés sur le site du Plateau d'Anzé

correspondant à 141 quadrats de 4m² (562 m² ou 7% de la surface étudiée) (Fig. 66). En pratique les transects sont découpés en sous-transect d'environ 10 m afin d'obtenir une précision de tracé sur le terrain. Les repères des transects sont matérialisés par des piquets en métal enfouis dans le sol et le quadrat de 4m² est un carré disposé au fur et à mesure des relevés le long des transects.

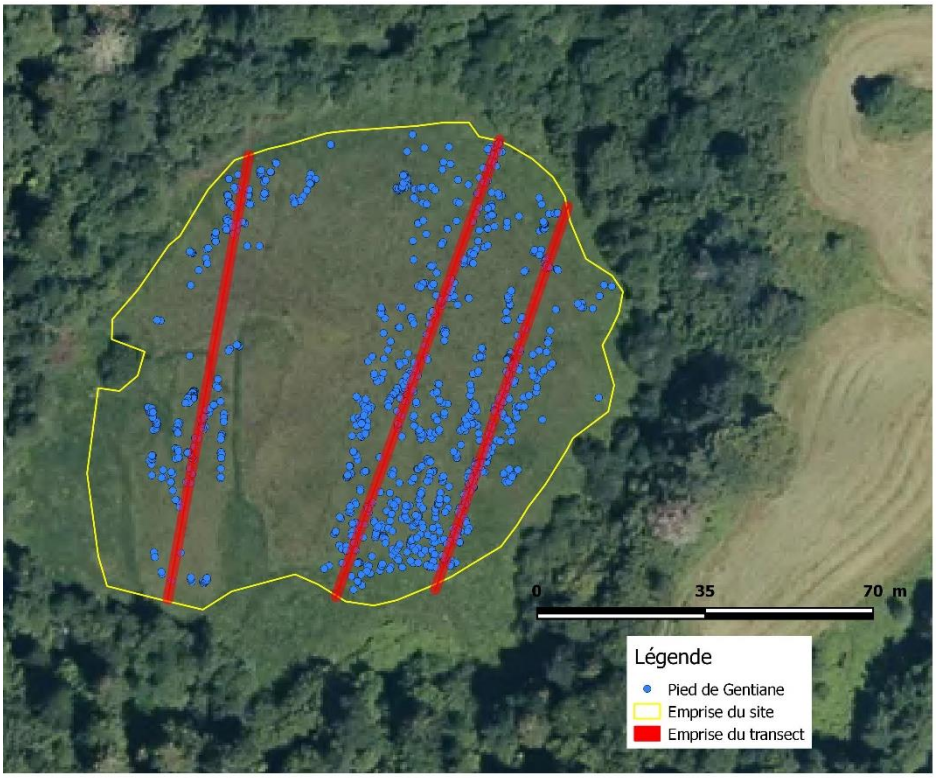


Fig. 66. Méthode quadrats de 2m x 100 m de suivi des pontes d'Azurés des mouillères sur les pieds de G. pneumonanthe.

- Méthode de relevés et détermination des espèces

En 2016, un premier diagnostic a permis de localiser les zones à forte et faible présence de *G. pneumonanthe* sur les sites d'Aquitaine. Un recensement exhaustif des pieds de gentiane sur tous les sites sera réalisé tous les deux ans pour réévaluer son évolution spatiale.

En 2017, les deux méthodes seront testés sur l'ensemble de la période de relevé afin d'établir statistiquement la méthode la plus significative pour continuer les relevés jusqu'en 2021.

A l'intérieur de chaque quadrat, pour suivre la phénologie, le nombre de pieds de *G. pneumonanthe* fleuris et non fleuris est déterminé, le nombre de pontes par pied de *G. pneumonanthe* et la position des œufs sur le bourgeon ou sur la corolle ou sur la tige sont associés.

Ce suivi est réalisé conjointement avec le comptage exhaustif des œufs de *M. alcon*. Le nombre d'œufs et le positionnement sur chaque tige de Gentiane est ajouté aux données.

Afin de ne pas perturber les populations, le piétinement sera évité le plus possible sur le site en optimisant les relevés sur le terrain.

- Conditions météorologiques requises

Ce suivi ne nécessite pas de conditions météorologiques spéciales.

- Nombre de campagne de relevés

La fréquence de suivi est d'une fois par semaine pendant toute la durée de la campagne allant de la semaine avant la première floraison de *G. pneumonanthe* (validation par CBNSA) jusqu'à la fin du vol de l'imago. Cette fréquence est établie selon le suivi phénologique de *G. pneumonanthe* et avec les autorisations d'accès sur les camps militaires.

La première floraison connue de *G. pneumonanthe* est variable selon les sites (Plateau d'Anzé : 25/07 ; Captieux : 11/07 ; Mouguerre : 28/06). Un recensement exhaustif des pieds de gentiane sur tous les sites sera réalisé tous les deux ans pour évaluer l'évolution spatiale de la *G. pneumonanthe.*

Le nombre de passages sera variable selon les sites, le *M. alcon* vole principalement de juillet à fin août. La période de vol de *M. alcon* est estimée entre le 15/07 et 15/09 et sera à déterminer selon les sites en 2017.

- Fiche de relevés

Le couple site-observateur sera indissociable, c'est-à-dire que le même niveau professionnel d'observation est maintenu jusqu'en 2021. Les relevés sont réalisés par des professionnels expérimentés.

Chaque observateur notera à l'intérieur de chaque quadrat les observations suivantes : date de la première floraison, nombre de pieds de *G. pneumonanthe* fleuris et non fleuris, nombre de bourgeons floraux/pied, date de la première ponte, nombre de pontes par pied de *G. pneumonanthe* et positionnement des œufs (Bourgeons, fleurs, tiges, feuilles).

5.3.2 Discussion et perspectives de suivi

M. alcon est un lépidoptère avec un cycle de développement qui dépend de sa plante hôte *G. pneumonanthe* dont la période de floraison est directement liée à la survie de la ponte. L'objectif de ce suivi est donc d'étudier la réponse de la période de ponte de *M. alcon* au décalage précoce de la floraison de la *G. pneumonanthe*.

Afin d'obtenir un échantillon statistiquement pertinent, une règle simple est de suivre la phénologie d'un minimum de 20% des pieds de *G. pneumonanthe* associés au nombre de pontes de *M. alcon* sur chaque site.

Les 6 sites d'étude ont été sélectionnés pour accueillir les plus importantes populations de *M. alcon*. Il faut noter que les sites abritant de fortes populations de *M. alcon* et de *G. pneumonanthe* sont peu nombreux en Aquitaine (Gourvil *et al.*, 2016). Avec l'extension à la Nouvelle-Aquitaine, le nombre de sites d'étude devient plus important. Une première phase de prospection sur ces sites d'études a permis d'établir la localisation des pieds de *G. pneumonanthe* et d'en déduire de potentiels noyaux de forte densité de pieds. La difficulté d'accès et d'autorisation pour certains sites sur des camps militaires n'a pas permis cette année de réaliser la répartition des pieds. De plus les accès sont restreints à certaines parcelles désignées pour des raisons de sécurité par rapport aux activités militaires. Ces parcelles ne

sont pas toujours les plus favorables pour l'étude car elles ne sont pas situées sur les zones les plus denses en pieds de *G. pneumonanthe*.

A notre connaissance, il n'existe pas de méthode standardisée pour le suivi de la phénologie de *G. pneumonanthe* et de la ponte de *M. alcon*. Après des échanges entre les partenaires et le conseil scientifiques du programme « les sentinelles du climat » et une recherche bibliographique, deux types de méthodes des quadrats sont proposés. Chacune d'elles offre des avantages et des inconvénients. Le suivi de la phénologie de *G. pneumonanthe* associée au nombre de pontes de *M. alcon* peut être chronophage. La fréquence d'un relevé par semaine, sur une durée allant d'une semaine avant le début de floraison de la *G. pneumonanthe* jusqu'à la fin de vol de l'imago de *M. alcon* a été validée auprès du conseil scientifique. Elle correspond également au minimum possible d'autorisations d'accès aux camps militaires. Afin de standardiser les fréquences de relevés entre les sites, le choix se cale également sur ces contraintes d'autorisations de ces sites.

La première méthode des quadrats permanents 10 m x 10 m (VAN DYCK & REGNIERS, 2010) est pratique à mettre en place sur le terrain. Les quadrats sont faciles à retrouver à chaque suivi par des dispositifs de repérages permanents. La localisation étant réalisée sur la zone la plus dense en pieds de *G. pneumonanthe*, le nombre de quadrats à disposer pour atteindre le seuil minimum de 20% de pieds est alors réduit et permet d'optimiser l'effort d'échantillonnage. Cependant, la localisation du quadrat sur les sites où la répartition de *G. pneumonanthe* est grande et diffuse peut être difficile. Le quadrat concerne une petite zone qui peut être impactée par des conditions environnementales particulières avec des phénologies spécifiques de *G. pneumonanthe* ou des pertes de pieds par assèchement de la zone. Cet échantillonnage peut ne pas être représentatif de l'évolution de l'ensemble du site. L'adaptation de l'emplacement du quadrat en fonction de l'évolution spatiale des pieds de *G. pneumonanthe* permettrait d'éviter la prise en compte de réponses particulières de la flore et de la faune, qui serait non représentatives de la réponse globale.

La méthode de quadrats 4m² (KESEL & URBAN, 1999) disposés sur des transects permet de traverser des zones à forte densité et faible densité de *G. pneumonanthe*. La longueur du transect sur plusieurs centaines de mètres peut être facilement retrouvée par un marquage de début et de fin du transect. Cependant, sur l'ensemble du transect le risque de décalage entre chaque suivi sur la largeur de 2 m est un risque important. Les repères sont nécessaires tout le long du transect pour limiter ce risque. La surface inventoriée est variable selon la taille du site.

Suite aux premières prospections, les perspectives de suivis sont les suivantes :

- Compléter le recensement exhaustif des pieds de *G. pneumonanthe* sur les sites de camps militaires,
- Affiner la date de la première floraison et la période de fin de vol de *M. alcon* sur chaque site,
- Tester les deux méthodes des quadrats sur 4 sites pendant toute la période de suivi, établir une analyse bibliographique de l'efficacité des protocoles existants (articles scientifiques, gestionnaires d'espaces naturels, etc.) afin de valider le nouveau protocole, effectuer un lien avec le protocole Plan National d'Actions de *M. alcon*,
- Etablir un plan d'analyse de modèles statistiques pour lier la réponse du décalage de la phénologie de la plante hôte au succès des pontes de *M. alcon*.

5.4 Lézard vivipare

Rédaction : Maud Berroneau

Le Lézard vivipare est une espèce d'affinité climatique fraîche. Abondante en altitude, l'espèce est beaucoup plus rare en plaine où elle se cantonne à des milieux de landes humides. Le changement climatique pourrait impacter fortement l'espèce sur ce dernier type d'habitat, et notamment la réussite de sa reproduction.

Les hypothèses de l'impact du changement climatique sur cette espèce indicatrice sont :

- La disparition de stations remarquables en plaine
- Une entrée progressive du Lézard des murailles indiquant une modification microclimatique des sites et une compétition possible entre « Lézards gris »

L'objectif de ce suivi est par conséquent d'obtenir des tendances évolutives de l'occurrence du Lézard vivipare en lien avec d'éventuelles variations climatiques sur différents sites témoins du massif landais.

5.4.1 Plan d'échantillonnage

- Sélection des sites

La sélection s'est portée sur des sites présents dans l'aire de répartition du Lézard vivipare (présence avérée ou non de ce dernier), facilitant la mise en évidence d'éventuels mouvements populationnels au cœur du massif landais et en périphérie. Les milieux concernés sont les secteurs de lagunes et de landes à molinie de plaine sur les départements de la Gironde, des Landes et du Lot-et-Garonne.

- Description des sites choisis

Pour le suivi du Lézard vivipare, chaque « site » de suivi correspond à une « lagune » et ses environs immédiats ou à un milieu de landes humides à molinie.

12 sites ont ainsi été sélectionnés (7 en Gironde, 3 dans les Landes, et 2 en Lot-et-Garonne) à partir de la répartition connue du Lézard vivipare en plaine et avec une homogénéité de répartition selon un gradient nord-sud, est-ouest (Fig. 67, Tab. XXXVI).

Ces sites coïncident autant que possible avec ceux d'autres suivis en milieu humide, notamment avec les sites de suivi de la Rainette ibérique d'affinité climatique similaire.

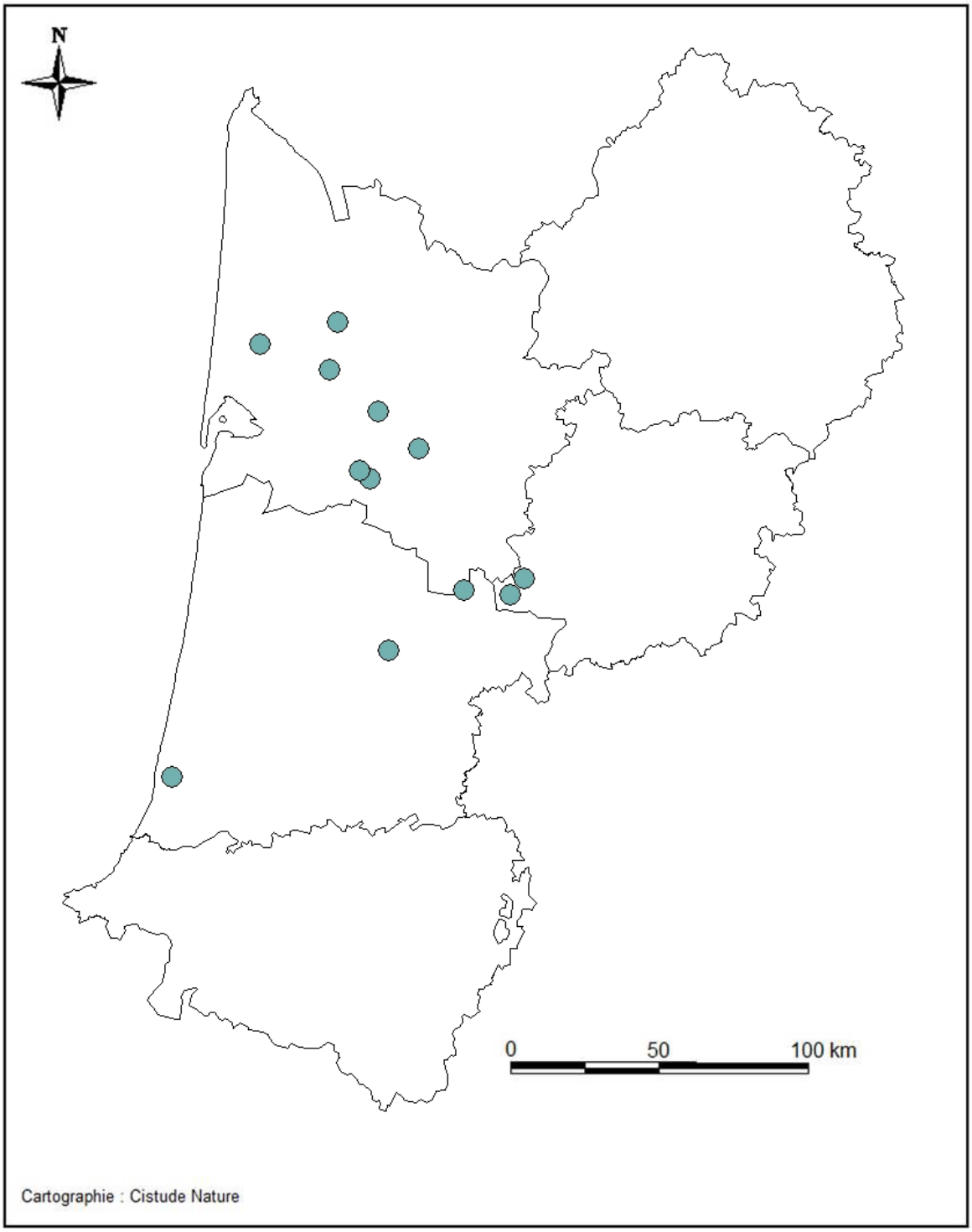


Fig. 67. Situation géographique des sites d'études validés dans la cadre du suivi du Lézard vivipare.

Tab. XXXVI. Caractéristiques des sites étudiés dans le cadre des suivis "Lézard vivipare"

Département	Dénomination	Type d'habitat	Propriétaire/ gestionnaire	Accord	Structure de suivi et nom de l'observateur	Latitude	Longitude
Gironde (33)	Le Pian Médoc	Landes humides	-		Cistude Nature - Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	Martillac	Landes humides	-		Cistude Nature - Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	Hostens	Lagune	Conseil départemental	oui	Cistude Nature - Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	Saint Magne	Lagune	-		Cistude Nature - Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	Illats	Landes humides	-		Cistude Nature - Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	St Jean d'Illac	Lagune	-		Cistude Nature - Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	Saumos - Le Porges	Lagune	-		Cistude Nature - Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Landes (40)	Brocas	Landes humides	Commune	oui	Cistude Nature - Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Landes (40)	Captieux	Lagune	-		Cistude Nature - Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Landes (40)	Réserve Etang noir	Lagune	Réserve/syndicat mixte	oui	Cistude Nature - Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Lot-et-Garonne (47)	Pindères	Lagune	Commune	oui	Cistude Nature - Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Lot-et-Garonne (47)	Houillès	Lagune			Cistude Nature - Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]

- **Définition et positionnement des points d'échantillonnage**

Cette étude se base sur un suivi annuel de présence du Lézard vivipare sur 12 sites répartis sur trois départements concernés (Gironde, Landes, Lot-et-Garonne) et couplés à des stations météorologiques.

Les sites sont matérialisés par des carrés de 100 mètres sur 100 mètres et contiennent chacun 5 placettes d'échantillonnage de 10m*10m positionnées aléatoirement sur habitat favorable (Fig. 68).

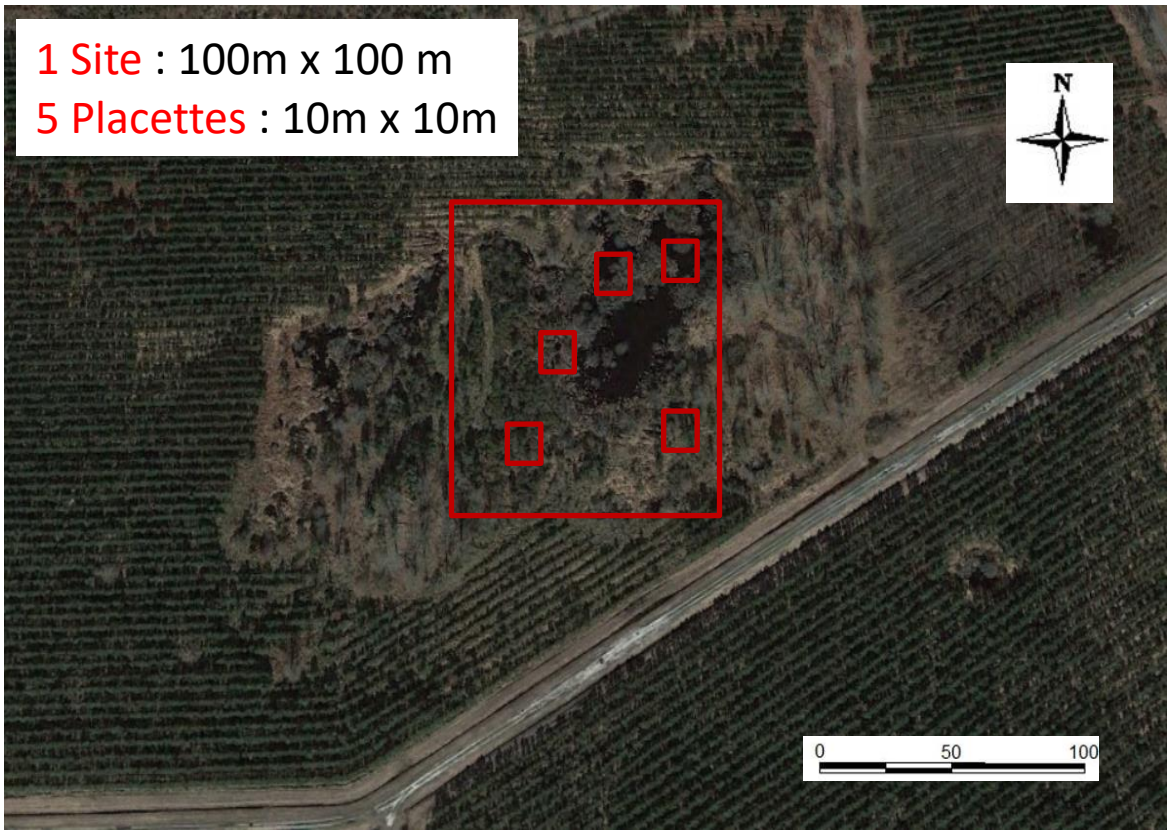


Fig. 68. Exemple disposition des placettes du site [redacted] pour le suivi « Lézard vivipare »

- Méthode de relevés et détermination des espèces

Le suivi annuel indique la présence du Lézard vivipare sur les 12 sites sélectionnés. L'application du protocole type POP Reptile permettra une estimation fine de la présence et/ou de l'abondance de l'espèce.

Le protocole peut se résumer ainsi : 3 passages par site et donc par placette par an. L'observateur passe 20 min par placette à noter la présence et le nombre de Lézard vivipare ainsi que d'autres données propres aux placettes et aux autres espèces observées (notamment Lézard des murailles).

- Conditions météorologiques requises

Les conditions météorologiques ne sont pas particulièrement difficiles à respecter. Il convient d'éviter les jours à couverture nuageuse importante, les jours pluvieux. Aussi à l'inverse, il convient d'éviter les jours trop ensoleillés et/ou à température trop élevée.

- Nombre de campagne de relevés

3 passages sont effectués par site et donc par placette par an, de préférence entre avril et juin.

- Fiche de relevés

La récolte de données sera réalisée à l'aide de la fiche de relevé standardisée.

Trois fiches de renseignements doivent être remplies pour chaque placette et chaque passage. La première fiche « Relevé » renseigne par placette les observations de l'espèce, les indices de présence et les gîtes utilisés pour les trois passages. La deuxième fiche « Descriptif placette » permet un descriptif précis de la placette pour les trois passages. Enfin, la fiche « Récapitulatif placettes » liste l'ensemble des placettes à prospecter.

Notice explicative aux fiches à renseigner

- *Fiche Relevé*

– Localisation / aide localisation : coordonnées GPS des quatre extrémités de la placette. Il peut également être noté toute remarque facilitant le bon repérage du site.

Météo :

– T° : valeur maximale indiquée par le thermomètre/anémomètre (en degré Celsius).

– Vent : valeur maximale indiquée par le thermomètre/anémomètre (en m/s) sur une minute.

– Nuage : la couverture nuageuse doit être indiquée selon 5 coefficients ($1 \leq 20\%$; $20\ \% < 2 \leq 40\ \%$; $40\ \% < 3 \leq 60\ \%$; $60\ \% < 4 \leq 80\ \%$; $5 > 80\ \%$).

Nature du contact avec Lézard vivipare :

– Observation directe : nombre d'individus différents observés.

– Fèces : nombre crottes dénombrées.

– Mues : nombre de mues dénombrées (attention à la confusion avec d'autres lacertidés).

Nature de l'abri :

Description de l'abri utilisé par l'individu.

– Remarque : pour indiquer tout type d'information supplémentaire.

Observation d'autres espèces :

– Lézard des murailles (nombre, stades, etc.)

– autres espèces remarquables

- *Fiche Descriptif placette*

– Localisation / aide localisation : cf. ci-dessus.

– Date / Observateur : date et nom des observateurs lors des trois passages.

– Position : emplacement de la placette sur le site.

– Strates de végétation : pourcentage et hauteur des différentes strates de végétation au sein de la placette.

– Nature abri : présence / absence et nombre des différents abris disponibles pour les Lézards vivipares.

- *Fiche Récapitulatif placettes*

– Coordonnées GPS : indiquent les quatre extrémités Nord-Ouest, Nord-Est, Sud-Est et Sud-Ouest de la placette.

– Commentaires : toutes informations permettant de faciliter le repérage de la placette.

5.4.2 Analyses et statistiques

Les données seront analysées par modèle N-mélange, à l'aide du logiciel R et du package unmarked.

5.4.3 Résultats exploratoires

En 2016, les sites ont été visités et sélectionnés en dehors de la période de d'activité du Lézard vivipare (juillet à septembre).

Aucun relevé selon le protocole précédemment présenté n'a pu être fait. Ainsi, aucun résultat exploratoire n'est apporté pour 2016.

5.4.4 Discussion et perspectives de suivi

Le suivi devra être assuré dans le temps pour produire des indices annuels d'abondance et de répartition pour comparaison sur le long terme.

Les analyses devront porter sur la mise en place d'une méthode efficace permettant de vérifier les corrélations entre l'occurrence du Lézard vivipare et la variation climatique des sites (assèchement, modification de la flore, etc.).

Un focus particulier sera fait sur la pénétration possible du Lézard des murailles sur ces secteurs en landes humides, indicateur d'un changement climatique et d'habitat à l'échelle du site et sur l'étude de ses conséquences sur les populations de Lézard vivipare.

5.5 Végétation des lagunes

Rédaction : Kévin Romeyer, Anthony Le Fouler, Grégory Caze

Les végétations de lagunes du plateau landais hébergent une flore spécifique avec de nombreuses espèces patrimoniales (*Caropsis verticillatto-inundata*, *Littorella uniflora*, *Drosera intermedia, Utricularia minor*), souvent d'affinités boréales et en limite d'aire de répartition sud-occidentales. Ces végétations vivaces sont adaptées à des sols pauvres en nutriments et aux fluctuations des niveaux d'eaux qui déterminent leur disposition en ceinture autour de la pièce d'eau. On retrouve ainsi des communautés purement aquatiques (immergées toutes l'année), terrestres (toujours émergées) et amphibies (immergées seulement une partie de l'année). Toutefois, ces dernières étant très sensibles aux modifications de régime hydrique (assèchement, surcreusement des lagunes, plantations adjacentes) et à l'eutrophisation, elles sont en forte régression ces dernières années et certaines de manières irréversibles (LE FOULER & BLANCHARD, 2011). De plus, dans le contexte du changement climatique avec des sécheresses et canicules plus intenses, ces végétations amphibies et aquatiques pourraient disparaître ou se raréfier au profit des végétations strictement terrestres.

5.5.1 Plan d'échantillonnage

- Sélection des sites

Au sein du plateau landais, environ 2000 lagunes ont été recensées par les différents acteurs du territoire (CEN Aquitaine, Conseil Départemental des Landes, ONF, PNR Landes de Gascogne) (LE FOULER & BLANCHARD, 2011). Parmi elles, un échantillon de 86 lagunes a été sélectionné pour l'évaluation de leur état de conservation à travers le réseau Natura 2000 (LE FOULER & CAZE, 2012).

Ces 86 lagunes font toutes l'objet d'un suivi descriptif des végétations. Parmi celles-ci, 10 lagunes sont équipées d'un dispositif matérialisé pour un suivi plus fin. Le choix de ces 10 lagunes repose sur plusieurs considérations :

- Lagunes inscrites dans un périmètre Natura 2000 ;
- Représentativité des différents niveaux trophiques (mésotrophe, oligo-mésotrophe, oligotrophe, dystrophe) et de la diversité de type de substrat (sable, vase) ;
- Représentativité de la diversité des groupements végétaux identifiés ;
- Accessibilité de la lagune sur le long terme ;
- Autorisation de mise en place du dispositif ;
- Lagunes ayant fait l'objet d'un transect non géolocalisé en 2003 par le CBN Sud-Atlantique.

Le programme Sentinelles du climat pourra se reposer en partie sur ce réseau afin de mutualiser les dispositifs mis en place ainsi que sur les méthodes développées dans ce cadre. Toutefois, face au faible nombre de lagunes équipées d'un dispositif (10) et leur répartition agglomérée essentiellement dans 2 zones du plateau landais, il convient d'enrichir ce réseau

avec de nouveaux sites d'intérêt plus dispersés géographiquement. La sélection de ceux-ci doit respecter une répartition représentative des lagunes à l'échelle du plateau pour leur suivi dans le contexte du changement climatique. En effet, le mésoclimat peut être très différent selon les secteurs régionaux (Données AURELHY par Météo France, 2007). Cela devrait permettre de détecter des variations de cortèges (ex : perte d'espèces aquatiques, amphibies ou d'affinités boréales) dans les différentes zones suivies et ainsi définir les plus sensibles.

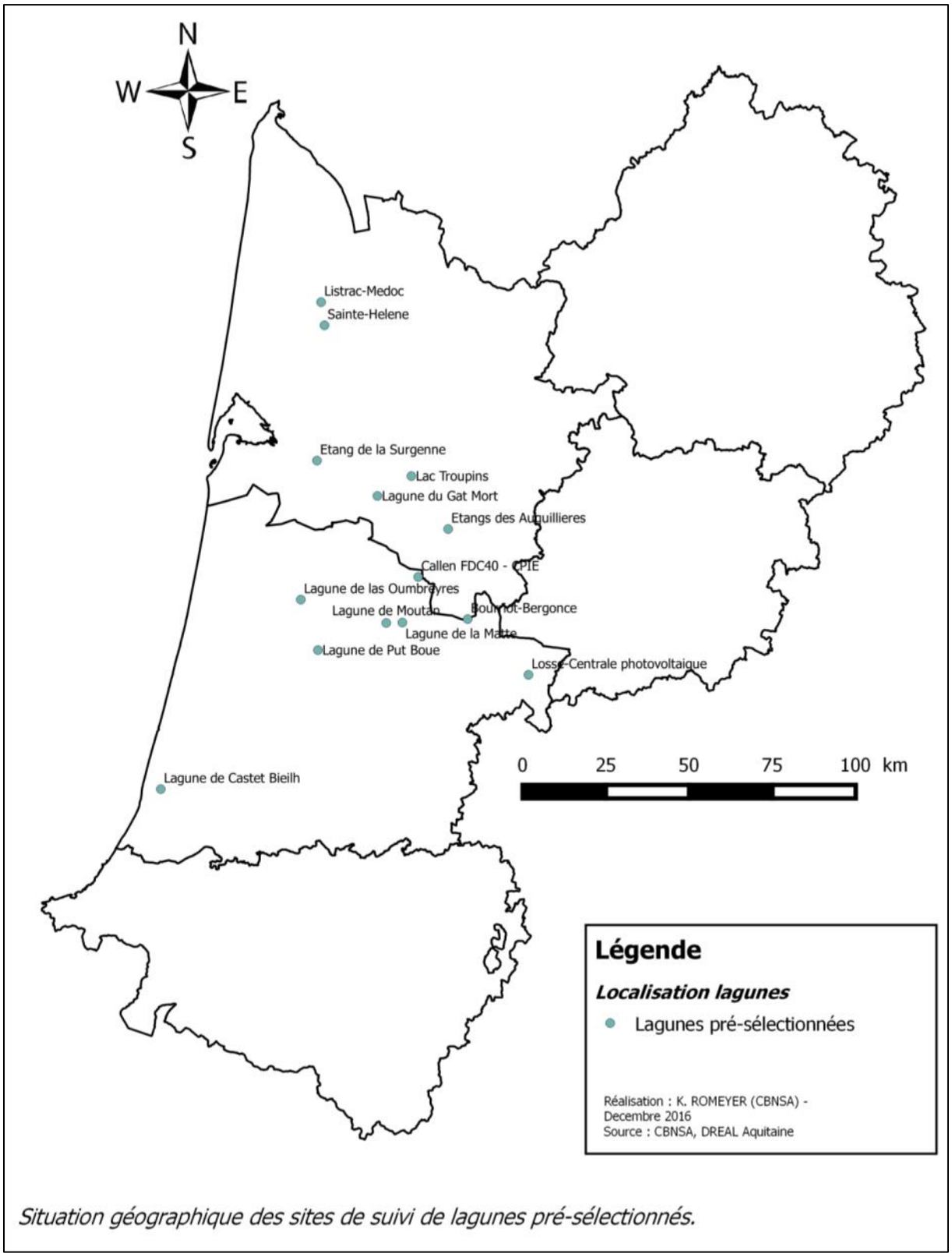
En termes de végétation, l'identification des nouvelles lagunes à matérialiser s'est appuyée sur l'étude réalisée par le CBN Sud-Atlantique (LE FOULER & BLANCHARD, 2011) et les prospections et connaissances de partenaires (CEN Aquitaine, PNR Landes de Gascogne). La pré-sélection s'est faite exclusivement à travers la présence de communautés végétales aquatiques (*Hydrocharition morsus-ranae* Rübel ex Klika in Klika & Hadač 1944 et *Potamion polygonifolii* Hartog & Segal 1964). Pour l'étude de ce milieu en lien avec le changement climatique, l'indicateur de suivi privilégié est formé par les communautés végétales amphibies (*Elodo palustris-Sparganion erecti* Br.-Bl. & Tüxen ex Oberdorfer 1957) ; leur présence au sein des lagunes à retenir est donc indispensable.

Ensuite, l'utilisation d'indices d'état permet de sélectionner les habitats les plus favorables pour la mise en place d'un suivi à long terme. Ces indices sont les suivants :

- Niveau de dérive trophique, basé sur la fréquence relative des espèces eutrophes au sein du tapis végétal (ex : *Bidens frondosa, Lemna sp*) ;
- Atterrissement, basé sur le pourcentage de recouvrement de la pièce d'eau en été et des espèces ligneuses (*Frangula alnus*, *Salix atrocinerea*) ;
- Envahissement par hélophytes, basé sur la fréquence relative et le recouvrement d'espèces compétitives (ex : *Schoenoplectus lacustris, Phragmites australis, Cladium mariscus*) ;
- Diversité végétale, basée sur la richesse spécifique et le nombre de communautés présentes ;
- Limitation de perturbations hydrauliques ou physiques : creusement, comblements, fossés de connexion, etc.

En 2016, 14 lagunes ont donc été présélectionnées pour la mise en place de suivis (Fig. 69).

- Description des sites choisis



Situation géographique des sites de suivi de lagunes pré-sélectionnés.

Fig. 69. Situation géographique des sites de lagunes présélectionnés.

Les caractéristiques des sites étudiés de lagunes (communes, statut, gestionnaires, structures de suivi…) seront précisées ultérieurement après validation.

- Définition et positionnement des points d'échantillonnage

Le suivi des lagunes en lien avec les évolutions climatiques dans le cadre des Sentinelles du climat reprend les mêmes principes d'échantillonnage que pour l'évaluation de l'état de conservation dans le cadre du suivi des HIC pour Natura 2000 (LE FOULER & BLANCHARD, 2011); c'est-à-dire un système de transects orientés perpendiculairement aux ceintures de végétations et lus au moyen de quadrats de 1m de côté.

Ce type de dispositif permet à la fois une étude diachronique de la lagune, pour suivre dans le temps et dans l'espace la dynamique évolutive de la végétation ; et une étude synchronique pour décrire l'organisation spatiale des groupements dans l'espace.

La répartition spatiale des communautés végétales étant surtout expliquée par les gradients topographique et hydrique, le transect est orienté du centre de la pièce d'eau (zone la plus profonde) vers la marge complètement exondée en répondant aux critères suivants :

- Echantillonner la diversité phytocénotique : le transect doit prendre en compte les différentes situations écologiques majoritairement rencontrées sur la lagune ;
- Choisir le transect le plus long possible (pente faible) pour apprécier la végétation dans son expression optimale ;
- Eviter les situations atypiques : les zones suivies doivent être relativement indicatrices du fonctionnement écologique de la lagune.

Dans l'objectif d'un suivi à moyen/long terme (plusieurs décennies) et afin d'assurer la relocalisation précise et la pérennité du dispositif, le transect est délimité par 2 piquets fixes en bois imputrescible (ex : robinier) en évitant les zones soumis à contraintes (coupe, passage d'engins, niveau d'eau trop élevé). Le premier est placé dans la zone externe de la lagune et le second à la limite moyenne des eaux en période estivale, repérable à la zone amphibie de bas-niveau (Fig. 70). Pour ne pas attirer l'attention et éviter toute dégradation du dispositif, les piquets doivent être enterrés profondément et ne dépasser que de quelques dizaines de centimètre la surface du sol. Le géoréférencement du transect est déterminé sur le terrain par les coordonnées GPS de ses repères fixes. Dans le cas où le transect s'avère plus long que la distance entre les repères fixes, celui-ci est prolongé au moyen de repères temporaires (piquets en bois), positionnés exactement dans le prolongement des repères fixes à l'aide d'un appareil de visée. Le temps de la lecture, le transect est matérialisé par un décamètre tendu entre les deux piquets temporaires, au ras du sol.

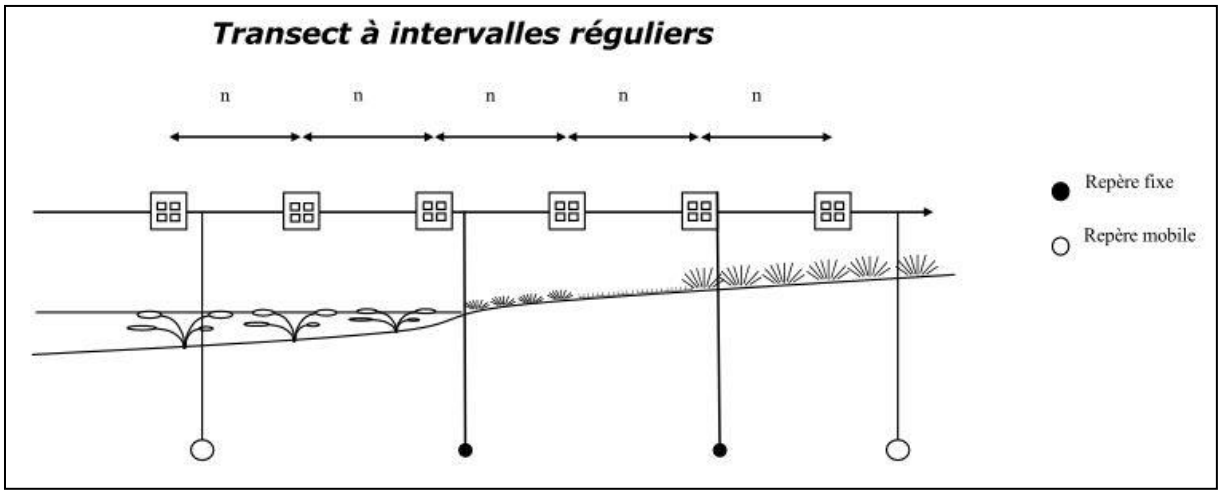
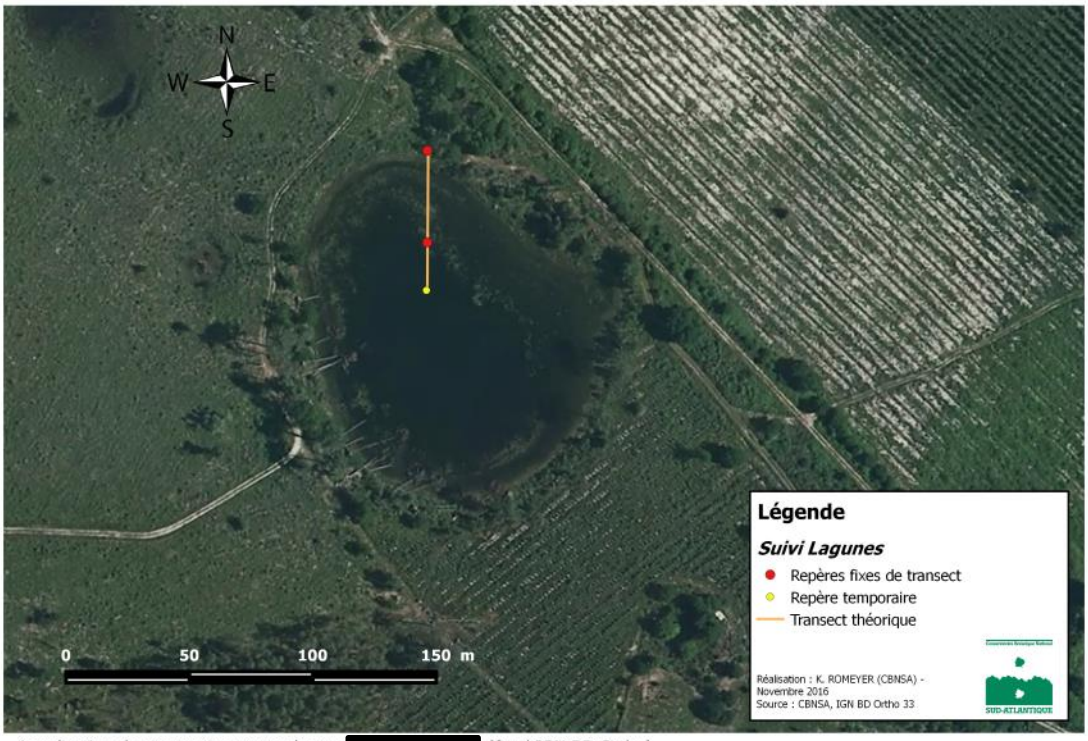


Fig. 70. Schéma de positionnement du transect et des quadrats sur la lagune.

La durée de mise en place et de relocalisation du transect sur une lagune est estimée autour de 30 minutes. La durée de lecture des quadrats le long du transect n'est pas limitée et peut être estimée entre 2 et 3h.

Les caractéristiques de chaque transect de lagune (dénomination, longueur, coordonnées GPS) ainsi que toutes les cartes de localisation seront précisées dans un futur rapport. Un exemple de situation est présenté ci-après (Fig. 71 et Fig. 72).



Localisation des transects sur une lagune [redacted] (fond IGN BD Ortho).

Fig. 71. Exemple de situation d'un transect de lagune (photographie aérienne).

Fig. 72. Exemple de situation d'un transect de lagune (carte topographique).

- Méthodes de relevés et détermination des espèces

Dans le cadre du programme Sentinelles du climat, 2 méthodes complémentaires de suivi des lagunes, employées pour l'évaluation de l'état de conservation Natura 2000, sont retenues. Cela permettant d'avoir une vision globale du site et de détecter de façon fine les variations floristiques :

- Méthode descriptive sans matérialisation de la lagune : inventaire floristique exhaustif, relevé symphytosociologique et diagnostic des perturbations.
- Méthode par transect avec matérialisation de la lagune : suivi fin de l'évolution des communautés végétales (composition, hauteur, recouvrement) et du complexe lagunaire.

Le protocole descriptif consiste en la réalisation d'un inventaire floristique exhaustif sur l'emprise de la lagune couplé à un relevé symphytosociologique permettant de proportionner les différentes communautés. En plus, un diagnostic des perturbations (hydrauliques, trophiques, physiques, envahissement par hélophytes compétitives) sur le site est opéré.

La prise de photo est conseillée pour une aide à l'interprétation et garder une vision du site lors des différentes lectures.

Le suivi des lagunes par transect s'effectue au moyen de quadrats de 1m de côté subdivisés en 4 quadrats élémentaires de 25cm de côté (Fig. 73).

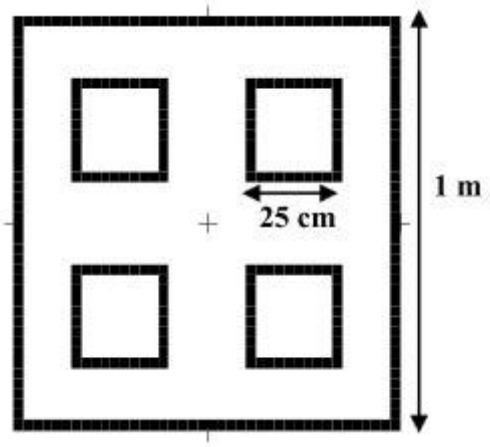


Fig. 73. Schéma de l'organisation des quadrats élémentaires au sein d'un quadrat de fréquence pour les lagunes.

Le nombre de quadrats est adapté aux caractéristiques de la lagune (diversité de communautés végétales, taille de la lagune). Ils sont répartis le long du transect à intervalles réguliers (Fig. 70). Cet intervalle (n), mesuré à partir du centre du quadrat, est variable en fonction de la longueur du transect et du nombre de quadrats choisis. En moyenne, un intervalle de 1m entre 2 quadrats est préconisé. Une fois défini, cet intervalle ne doit en aucun cas varier entre les différentes lectures. Le premier quadrat est disposé au pied du repère fixe le plus élevé (marge de la lagune), et orienté vers le centre de la lagune. La position des autres quadrats sera déduite par celle du premier à l'aide du décamètre.

Pour chacun des quadrats, le recouvrement des strates (précision 5%), la hauteur de biomasse (précision 5 cm) et les caractéristiques abiotiques (niveau d'eau, surface de sol nu) sont notés et un relevé exhaustif de la flore avec estimation du recouvrement des espèces (précision 5%) est réalisé au sein de 4 quadrats élémentaires de 25cm. En plus, un relevé complémentaire est réalisé, en présence/absence, à l'échelle du quadrat pour noter les espèces non contactées dans les quadrats élémentaires.

La détermination des espèces végétales non-identifiées peut s'effectuer directement sur le terrain à l'aide d'une flore et d'une loupe (x10 minimum). Dans le cas de critères délicats à appréhender *in situ*, l'identification se fera ultérieurement en laboratoire, avec un matériel adéquat (loupe binoculaire, microscope, etc.), sur des échantillons prélevés si possible hors de la zone d'étude. Concernant les espèces rares ou protégées, la détermination devra se faire autant que possible sur photos ou *in situ* sans prélèvement.

Pour l'étude des lagunes du plateau landais, le champ d'investigation taxonomique concerne uniquement les spermatophytes et ptéridophytes, excluant donc les bryophytes et lichens trop complexes à appréhender. Le référentiel taxonomique suivi est la version la plus récente de TaxRef (actuellement version 9, (Gargominy *et al.*, 2015). Les flores utilisées sont diverses : Flora Gallica (Tison *et al.*, 2014a), Flore du Pays Basque et des régions limitrophes (Aizpuru *et al.*, 1999), Flore de France méditerranéenne continentale (Tison *et al.*, 2014b), Flore descriptive et illustrée de la France, de la Corse et des contrées limitrophes (Tomes 1 à 3) (Coste, 1901 ; Coste & Flahault, 1903 ; Coste & Flahault, 1906) et Les fougères et plantes alliées de France et d'Europe occidentale (Prelli & Boudrie, 2001).

Pour la mise en place et la lecture des placettes de lagunes, le matériel requis est le suivant :

- 2 Piquets en bois fendu imputrescible (ex : robinier) ;
- Appareil GPS (GPS submétrique si possible) ;
- Piquets fins en bois (2 minimum) ;
- Corde tressée ou rubalise (120m minimum) ;
- Marteau et masse ;
- Quadrats en bois pour le milieu terrestre
- Quadrats en plastique pour le milieu aquatique ;
- Décamètre (50m) ;
- Conductimètre ;
- Appareil de visée ;
- Appareil photo ;
- Scie égoïne.

• Période optimale de suivi

Les végétations des lagunes connaissent leur optimum phénologique assez tardivement entre début août et fin septembre ; c'est-à-dire la période durant laquelle la majorité du cortège floristique est en floraison. Afin de noter et pouvoir identifier le maximum d'espèces, les inventaires et suivis doivent s'effectuer durant cette période (LE FOULER & BLANCHARD, 2011). En cas d'année particulièrement sèche, une lecture dès le mois de juillet est envisageable.

• Nombre de campagnes de relevés

Une seule campagne de relevés est réalisée pour chaque année de suivi. En effet, la quasi-totalité du cortège floristique étant observable dans le cas d'une lecture pendant la période phénologique optimale, la réalisation de plusieurs campagnes n'offre qu'un intérêt limité.

Les végétations des lagunes et leur agencement résultent d'un blocage dynamique dû à la période d'immersion prolongée ; par définition, elles sont donc très peu dynamiques en absence de perturbations d'origine anthropiques directes (surcreusement, assèchement, eutrophisation). Néanmoins, elles peuvent être impactées en cas d'aléas climatiques extrêmes (forte sécheresse, canicule, etc.) répétés plusieurs années de suite. Pour ces raisons, le délai entre chaque campagne de suivis est fixé à 3 ans. En fonction des premières analyses et retours d'expérience, ce délai pourra être rehaussé. En effet, les impacts du changement climatique sur ces milieux intervenant à une échelle de temps bien plus large, des suivis trop rapprochés ont peu d'intérêt.

• Fiches de relevés

Pour le suivi des lagunes, une fiche de renseignement par transect est conçue (Annexe 20). Elle reprend les différentes informations à renseigner :

- Localisation et caractéristiques du transect
- Proportion des différentes communautés végétales (largeur)
- Relevés floristiques et informations physionomiques par quadrat

En plus, une fiche descriptive par lagune (Annexe 21) renseigne les informations suivantes :

- Caractéristiques générales de la lagune
- Perturbations éventuelles
- Relevés phytosociologiques complémentaires
- Relevé floristique exhaustif
- Relevé symphytosociologique

5.5.2 Discussion et perspectives de suivi

Les protocoles de suivis explicités plus haut étant au départ calibrés pour évaluer l'état de conservation des habitats, des compléments ou modifications pourront être adaptés pour mieux répondre à la problématique du changement climatique. Toutefois, ces protocoles semblent assez précis car intégrant plusieurs échelles spatiales et temporelles et permettant la détection de variations floristiques fines.

La mise en place et la première lecture des dispositifs de suivi de la flore et des végétations de lagunes sur les nouveaux sites dans le cadre du programme Sentinelles du climat sont prévues pour l'été 2017. Les dispositifs déjà en place pour le suivi des HIC et mutualisés avec le programme Sentinelles feront également l'objet d'une lecture en 2017 afin d'avoir des données synchrones sur ces habitats.

D'autre part, l'existence d'un réseau de suivi des lagunes du plateau landais développé dans le cadre d'autres programmes et par d'autres structures (Natura 2000, PNR Landes de Gascogne, Conseil Départemental des Landes, ONF, etc.) forme un appui intéressant en termes historique. En effet, l'intégration des données floristiques acquises à travers ce réseau de suivis pour des analyses et modélisation apporterait une robustesse plus importante des résultats. Cette démarche devra toutefois être approfondie par rapport à la compatibilité des protocoles, et discutée avec les gestionnaires des suivis.

Une méthodologie de ré-échantillonnage aléatoire des lagunes du plateau landais de type GRTS (Generalized Random Tesselation Stratified) est également en cours de réflexion. Cela présenterait l'avantage d'une vision spatiale plus exhaustive de l'évolution des végétations de lagunes en lien avec le changement climatique.

Dans le cas des végétations de lagunes, les analyses statistiques et la modélisation des effets du changement climatique porteront sur plusieurs aspects. Tout d'abord, la vitesse de glissement des communautés végétales des ceintures externes vers le centre de la lagune, revenant à évaluer les différences de largeur de ceinture de chaque communauté. Ensuite, la régression et/ou disparition des espèces strictement aquatiques et amphibies ou d'affinités boréales pourra être quantifié.

5.6 Populations d'odonates

Rédaction : Gilles Bailleux, Pierre-Yves Gourvil, David Soulet

De par leur répartition limitée (Landes de Gascogne) et la présence d'espèces animales et végétales particulières et souvent patrimoniales, les lagunes constituent un habitat remarquable en Aquitaine. Elles abritent ainsi un cortège odonatologique particulier, qui inclut notamment trois espèces de leucorrhines : *Leucorrhinia albifrons*, *Leucorrhinia caudalis* et *Leucorrhinia pectoralis*. Ces espèces aux affinités boréo-montagnardes sont en limite sud-ouest de leurs aires de répartition (Fig. 74-Fig. 76) dans les Landes de Gascogne.

D'après la Liste rouge des odonates d'Aquitaine (BARNEIX *et al.*, 2016), elles sont considérées régionalement :

- en danger critique d'extinction pour *L. caudalis* ;
- vulnérable pour *L. pectoralis ;*
- quasi-menacée d'extinction pour *L. albifrons.*

Ces espèces et leur cortège associé aux habitats des lagunes sont pressenties comme pouvant être impactées par le changement climatique. Par ailleurs, les insectes en particulier -et les odonates ne font pas exception- sont considérés comme de bons marqueurs des modifications environnementales. Leurs cycles de vie plutôt brefs en général, des capacités de déplacements importantes, une relation étroite avec les habitats naturels et une réactivité aux évolutions climatiques documentée (HICKLING *et al.*, 2005 ; HASSALL *et al.*, 2007 ; JAESCHKE *et al.*, 2013), font des odonates des modèles pertinents. C'est pour ces raisons que le suivi des odonates des lagunes a été proposé pour le programme « les Sentinelles du climat ».

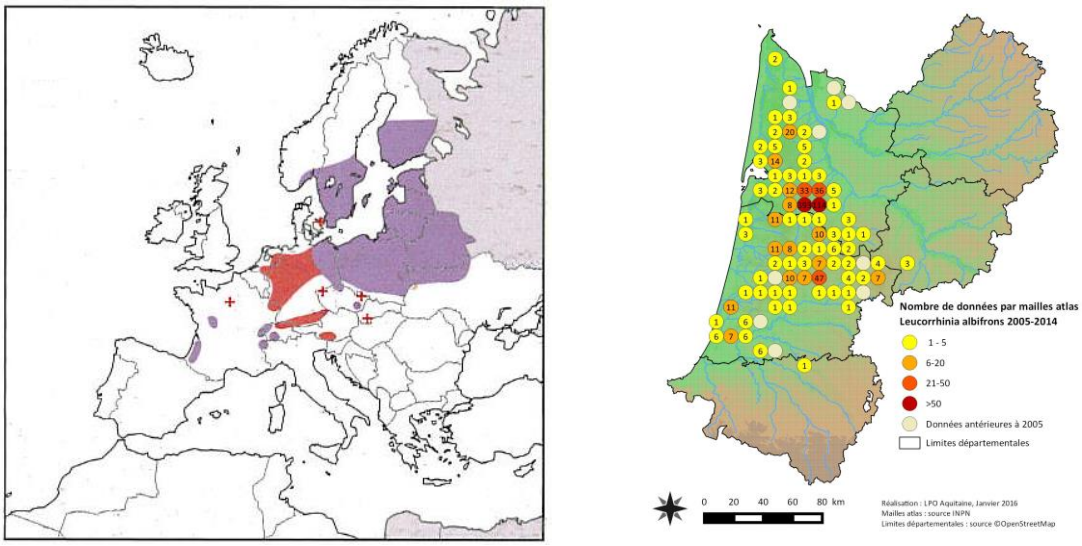


Fig. 74. Répartition européenne (Dijkstra, 2007) et en Aquitaine de Leucorrhinia albifrons.

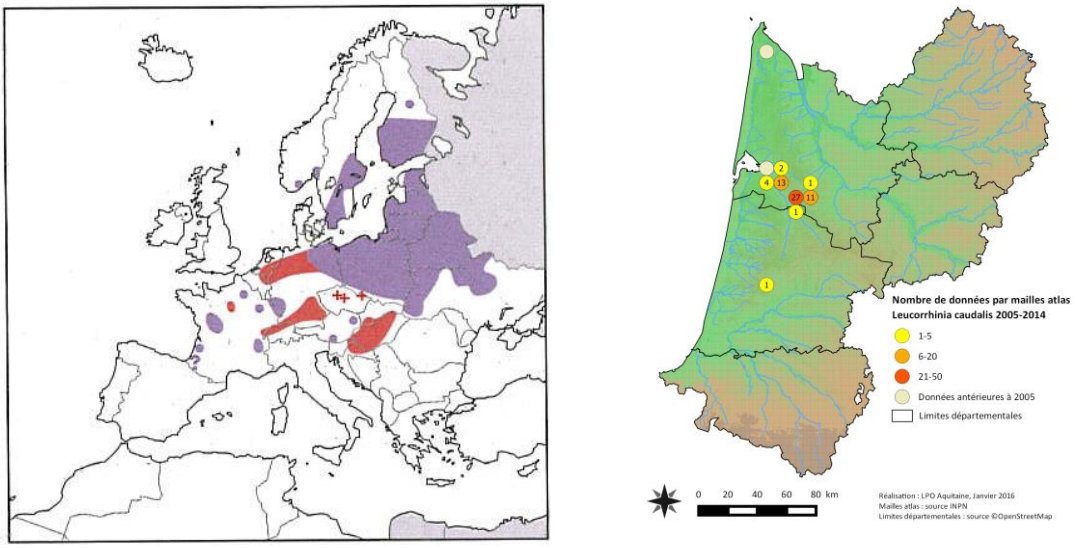


Fig. 75. Répartition européenne (Dijkstra, 2007) et en Aquitaine de Leucorrhinia caudalis.

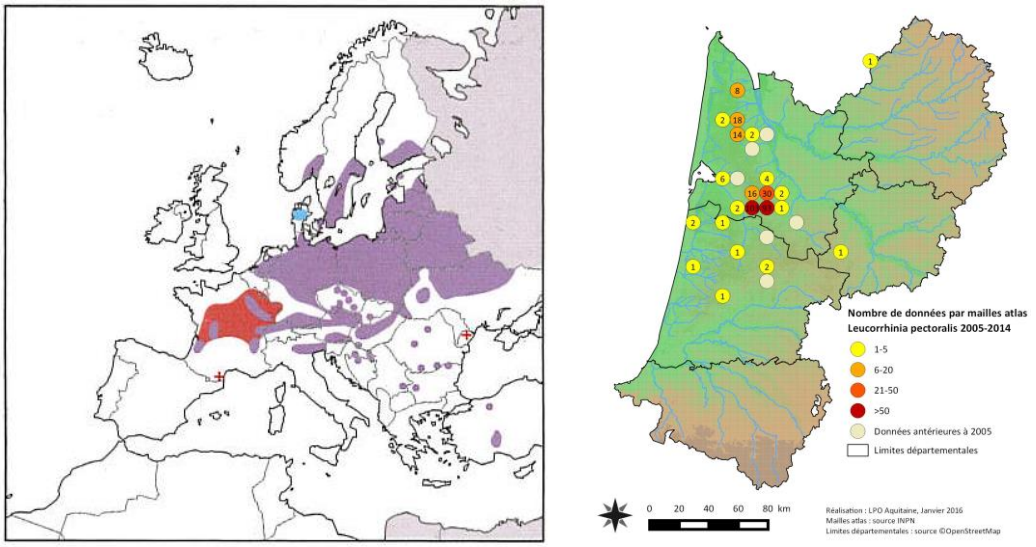


Fig. 76. Répartition européenne (Dijkstra, 2007) et en Aquitaine de Leucorrhinia pectoralis.

5.6.1 Plan d'échantillonnage

- Sélection des sites

En 2016, 25 sites ont été présélectionnés et prospectés selon les critères suivants (non cumulatifs) :

- Qualité de l'habitat (eaux stagnantes oligotrophes acides présentant des herbiers aquatiques, potentiellement favorables aux leucorrhines) ;
- Gestion écologique constante ;
- Stations connues à leucorrhines ;
- Répartition spatiale homogène sur le territoire des Landes de Gascogne (notamment afin d'obtenir un gradient sud – nord) ;
- Accessibilité du site ;
- Maitrise foncière publique ou privée avec convention.

Chacun des sites devra être distant d'au moins 500 mètres du site le plus proche (Fig. 77, Tab. XXXVII).

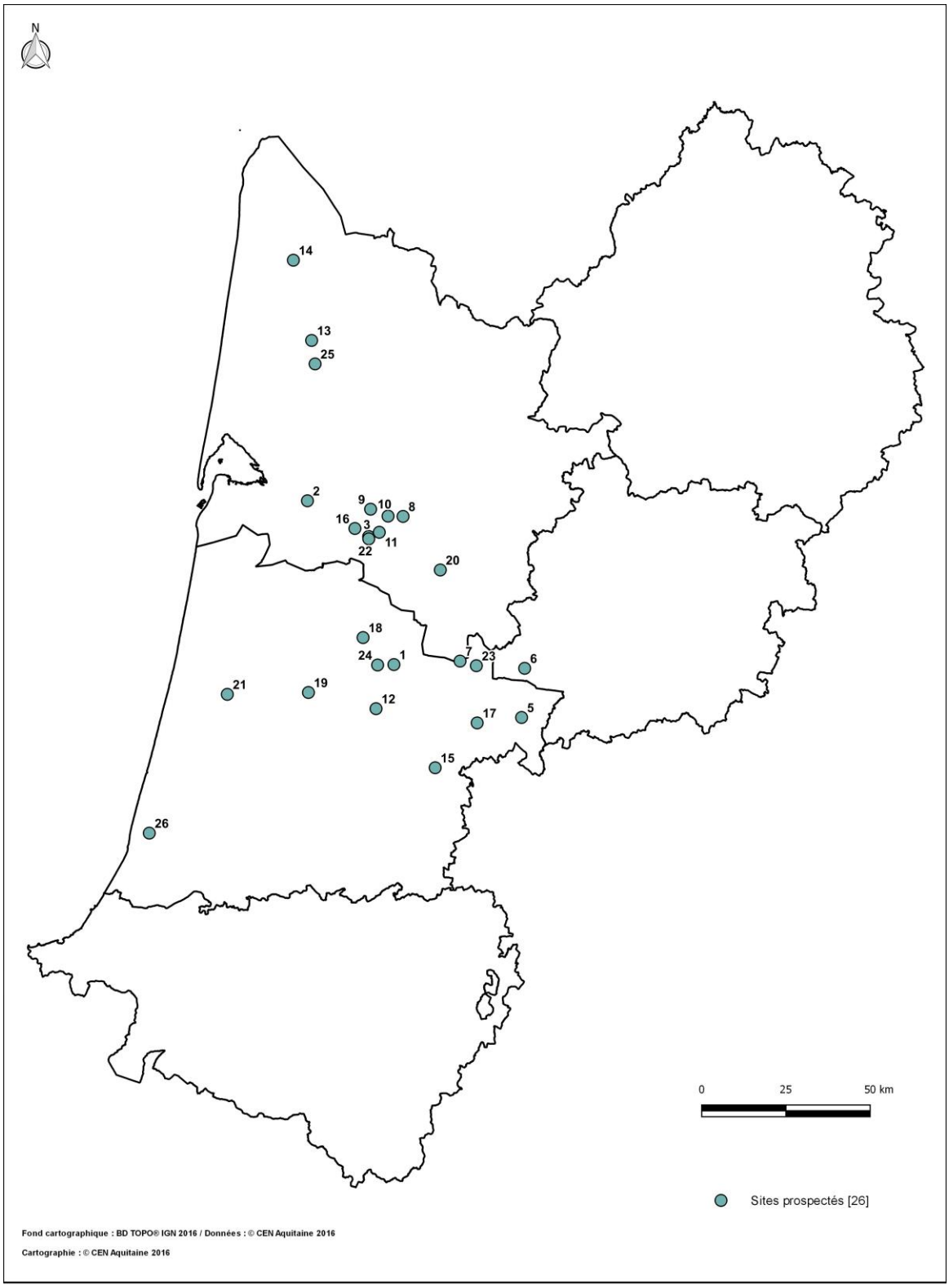


Fig. 77. Situation géographique des sites prospectés dans le cadre du suivi des Odonates.

Tab. XXXVII. Critères de sélection des sites de l'habitat lagune dans la cadre du suivi des espèces d'Odonates

N° site	Dénomination	Qualité habitat	Gestion écologique	Présence de leucorrhines	Répartition géographique	Maîtrise foncière	Accessibilité
1	Lagune de la Matte	X	?	X	X		
2	Etang de la Surgenne	X	X	X	X	X	X
3	Lagune du Gat Mort	X	X	X	X	X	X
5	Centrale photovoltaïque	X	?	X	X		X
6	Tourbière de Barsive		?	X	X		
7	Lagune de la Gaudole	X	?	X			X
8	Lagune des Troupins	X	X	X	X		X
9	Lagune Longue	X	?	X	X		X
10	Lagune de Cambeyre	X	?	X			X
11	Lagune de Louchats	X	?	X			
12	Lagune de Brocas	X	X	X		X	X
13	Lagune de Touleron	X	?	X	X		X
14	Lagune de Joucouse	X	?	X	X		X
15	Villeneuve-de-Marsan	X	?	X	X		
16	Lagune de l'Aouarsey	X	X	X			X
17	Vielle-Soubiran	X	?	X	X		X
18	Lagune de la Joureyre	X	?	X			X
19	Lagune de Put Boué	X	?	X	X		
20	Etangs des Auguillières	X	?	X	X		X
21	Onesse-Laharie	X	?	X	X		X
22	Marais du Clâ	X	X	X		X	X
23	Lagune du Broc	X	X	X		X	X
24	Lagune de Moutan	X	X	X		X	X
25	Lagune de Sainte-Hélène	X	?	X	X		X
26	Lagune de Castet Bieilh	X	X	X	X	X	X

- Description des sites choisis

Parmi les 25 sites visités, 5 n'ont pas été considérés comme favorables, car ne répondant pas suffisamment aux critères de sélection (Tab. XXXVII). Il s'agit de :

- la Lagune longue (Cabannac-et-Villagrains, 33)
- la Lagune de la Cambeyre (Cabannac-et-Villagrains, 33)
- la tourbière de Barsive (Houeilles, 47)
- la lagune de Louchats (Louchats, 33)
- La lagune de Joucouse (Lesparre-Médoc, 33)

Les 20 sites restant correspondent aux sites favorables prospectés en 2016 (Fig. 78, Tab. XXXVIII). Ils ne constituent pas les sites définitifs du programme (cf. paragraphe « 5.6.4 Discussion et perspectives de suivi »).

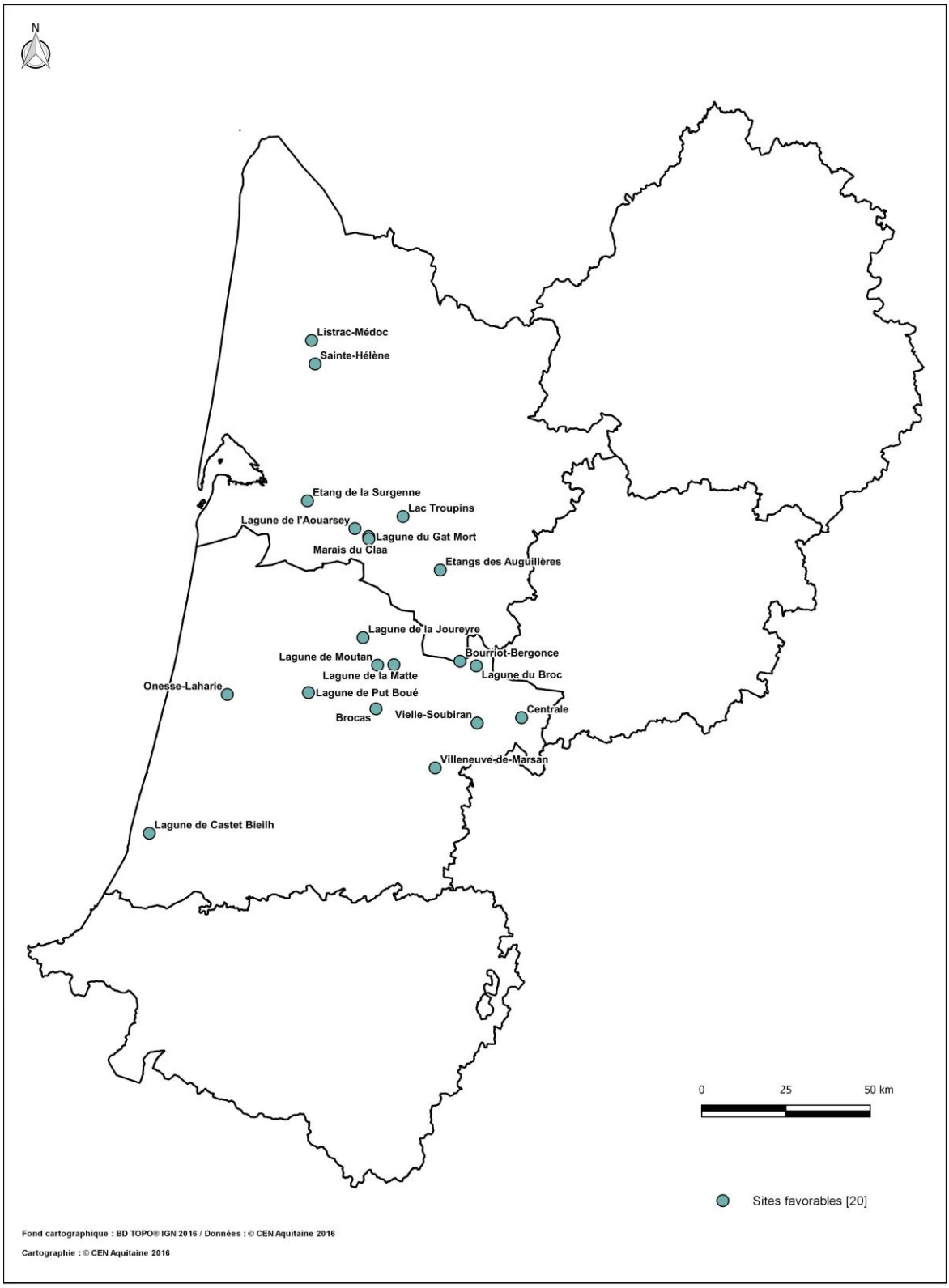


Fig. 78. Situation géographique des sites d'études favorables dans la cadre du suivi des espèces d'odonates.

Tab. XXXVIII. Caractéristiques des lagunes étudiées dans la cadre du suivi des espèces d'odonates

Dép	Commune	N°	Dénomination	Type d'habitat	S² (ha)	Statut	Code statut	Propriétaire Gestionnaire	Accord	Observateur 2016
40	Luxey	1	Lagune de la Matte	Lagune	0,07	-	-	?	?	Caubet Simon (CEN)
33	Mios	2	Etang de la Surgenne	Etang artificiel	3,97	-	-	Commune de Mios	Oui	Bailleux Gilles (CEN)
33	Saint-Magne	3	Lagune du Gat Mort	Lagune	0,12	Natura 2000	FR7200708	CD 33	?	Bailleux Gilles (CEN)
40	Losse	5	Centrale photovoltaïque	Plan d'eau artificiel	0,05	ENS ?	-	?	?	Bailleux Gilles (CEN)
40	Bourriot-Bergonce	7	Lagune de la Gaudole	Lagune	0,22	-	-	?	?	Caubet Simon (CEN)
33	Cabanac-et-Vilagrains	8	Lagune des Troupins	Lagune	0,15	-	-	?	?	Duhazé Benoit (CEN Aquitaine)
40	Brocas	12	Lagune de Brocas	Lagune	0,42	Natura 2000	FR7200728	Commune de Brocas PNR LG	?	Bailleux Gilles (CEN)
33	Listrac-Médoc	13	Lagune de Touleron	Lagune	0,18	-	-	?	?	Lessieur David (CEN Aquitaine)
40	Villeneuve-de-Marsan	15	Villeneuve-de-Marsan	Etang	0,3	Natura 2000	FR7200806	?	?	Caubet Simon (CEN)
33	Saint-Magne	16	Lagune de l'Aouarsey	Lagune	0,98	Natura 2000	FR7200708	PNR LG	?	Bailleux Gilles (CEN)
40	Vielle-Soubiran	17	Vielle-Soubiran	Lagune	0,12	-	-	?	?	Bailleux Gilles (CEN)
40	Sore	18	Lagune de la Joureyre	Lagune	0,12	-	-	?	?	Bailleux Gilles (CEN)

Dép	Commune	N°	Dénomination	Type d'habitat	S² (ha)	Statut	Code statut	Propriétaire Gestionnaire	Accord	Observateur 2016
40	Sabres	19	Lagune de Put Boué	Lagune	0,07	-	-	?	?	Bailleux Gilles (CEN)
33	Uzeste	20	Etangs des Auguillières	Etang	0,28	-	-	?	?	Bailleux Gilles (CEN)
40	Onesse-Laharie	21	Onesse-Laharie	Etang	0,14	-	-	?	?	Bailleux Gilles (CEN)
33	Hostens	22	Marais du Clâ	Marais	3,77	Natura 2000	FR7200708	CD 33	?	Bailleux Gilles (CEN)
40	Maillas	23	Lagune du Broc	Lagune	0,1	ENS ?	-	Commune de Maillas CD 40	?	Caubet Simon (CEN)
40	Le Sen	24	Lagune de Moutan	Lagune	0,01	ENS	-	Commune du SEN CD 40	?	Caubet Simon (CEN)
33	Sainte-Hélène	25	Lagune de Sainte-Hélène	Lagune	0,09	-	-	?	?	Lessieur David (CEN Aquitaine)
40	Seignosse	26	Lagunes de Castet Bieilh	Lagune restaurée	0,03	-	-	Commune de Seignosse	Oui	Stéphanie Darblade (RNN Etang Noir)

Parmi les sites sélectionnés, 14 sont des lagunes des Landes de Gascogne. Elles sont issues de la dernière ère glaciaire et se sont formées suite à la fonte des glaces. Elles sont caractérisées par une forme circulaire typique, des eaux oligotrophes acides et des berges en pente douce bordées d'hélophytes.

Six sites présentant des populations de leucorrhines mais ne présentant pas les caractéristiques des lagunes ont également été présélectionnées : 5 sont des étangs artificiels ou naturels, et le dernier est un marais (le Marais du Clâ).

L'origine et la taille des sites sont variables mais ils possèdent des caractéristiques communes, déterminantes pour leur sélection dans le cadre du programme de suivi :

- Leurs eaux sont relativement acides, oligotrophes à mésotrophes.
- Ils possèdent une végétation aquatique développée et des berges en pente douce.
- Ils se situent dans un contexte forestier.
- Tous les sites sont favorables à la présence de leucorrhines.

• Définition et positionnement des points d'échantillonnage

Les transects ont été placés à la limite terre-eau le long des plans d'eau, au niveau des secteurs les plus favorables à l'observation des odonates : berges bien exposées et en pente douce, présence d'herbiers aquatiques. Ces secteurs correspondent également aux zones de ponte et d'émergence. Les transects mis en place sont de longueur variable en fonction de la taille du site et de son accessibilité. La longueur des transects est comprise entre 40 et 508 mètres. Les sites se situent entre 12 et 150 mètres d'altitude (données des altitudes communales recueillies sur le site www.meteociel.fr) (Fig. 79–Fig. 81, Tab. XXXIX).

Tab. XXXIX. Caractéristiques des transects dans la cadre du suivi des Odonates

Commune	N°	Dénomination	Longueur (en m)	Altitude (en m)
Luxey	1	Lagune de la Matte	104	91
Mios	2	Etang de la Surgenne	508	12
Saint-Magne	3	Lagune du Gat Mort	115	72
Losse	5	Centrale photovoltaïque	197	150
Bourriot-Bergonce	7	Lagune de la Gaudole	150 (76 en été)	105
Cabanac-et-Vilagrains	8	Lagune des Troupins	168	47
Brocas	12	Lagune de Brocas	130	72
Listrac-Médoc	13	Lagune de Touleron	96	40
Villeneuve-de-Marsan	15	Villeneuve-de-Marsan	234	88
Saint-Magne	16	Lagune de l'Aouarsey	152	72
Vielle-Soubiran	17	Vielle-Soubiran	259	121
Sore	18	Lagune de la Joureyre	122	75
Sabres	19	Lagune de Put Boué	117	81
Uzeste	20	Etangs des Auguillières	254	71
Onesse-Laharie	21	Onesse-Laharie	129	65
Hostens	22	Marais du Clâ (transect 1)	130	77
Hostens	22	Marais du Clâ (transect 2)	106	77
Maillas	23	Lagune du Broc	167	113
Le Sen	24	Lagune de Moutan	40	100
Sainte-Hélène	25	Lagune de Sainte-Hélène	127	47
Seignosse	26	Lagunes de Castet Bieilh	A définir	19

Fig. 79. Situation du transect sur le plan d'eau dans la cadre du suivi des espèces d'odonates sur photographie aérienne : [redacted]

Fig. 80. Situation du transect sur la lagune dans la cadre du suivi des espèces d'odonates sur photographie aérienne : [redacted]

Fig. 81. Situation du transect sur la lagune dans le cadre du suivi des espèces d'odonates sur photographie aérienne : [redacted]

- Méthode de relevés et détermination des espèces

Le protocole retenu en 2016 pour le suivi des odonates dans le cadre du programme « les Sentinelles du Climat » est le Suivi TEmporel des LIbellules (STELI). Ce protocole a été élaboré par l'Office Pour les Insectes et leur Environnement (OPIE) en partenariat avec le Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN), le CEN Nord-Pas-de-Calais (CEN NPdC) et la Société Française d'Odonatologie (SFO) dans le cadre du Plan National d'Actions en faveur des Odonates. Quelques adaptations ont toutefois été apportées au protocole STELI pour les besoins du programme (notamment pour le traitement des données). Celui-ci préconise d'effectuer 9 passages répartis sur trois périodes (voir paragraphe « Discussion et perspectives de suivi »), avec un temps minimum d'inventaire de 30 min et un parcours fixe dont la longueur n'est pas imposée par le protocole (chaque observateur défini la longueur du parcours). Enfin, le relevé des exuvies n'est pas obligatoire.

Chaque parcours défini précédemment a fait l'objet de relevés des espèces présentes à l'état imaginal (avec effectifs si possible, sinon avec estimation). Les imagos ont été déterminés à vue, aux jumelles ou par capture, en fonction des espèces (certaines d'entre elles nécessitent l'examen d'une partie précise de leur anatomie). Les individus indéterminés n'ont pas été mentionnés dans le relevé. Le comportement des individus observés a été renseigné (ponte, tandem, cœur copulatoire, comportement d'appétence sexuel,...).

La détermination des imagos a été réalisée à l'aide de plusieurs ouvrages :

- DIJKSTRA K.-D. B. 2007. Guide des libellules de France et d'Europe. Delachaux & Niestlé, 320 pp.
- GRAND D. & BOUDOT J.-P. 2006. Les Libellules de France, Belgique et Luxembourg. Mèze, Biotope, 480 pp.
- WENDLER, A. & NUß, J.-H. 1994. Libellules. Guide d'identification des libellules de France, d'Europe septentrionale et centrale. Société Française d'Odonatologie (SFO), 130 pp.

- Conditions météorologiques requises

Les conditions météorologiques requises pour la réalisation des relevés imagos sont indiquées dans le tableau ci-dessous, issu du protocole STELI (Tab. XL).

Tab. XL. Condition météorologiques requises pour les relevés « imagos » (issu du protocole STELI élaboré par l'OPIE, le MNHN, la SFO et le CEN NPdC ; www.steli.mnhn.fr/)

		Température			
		<17°C	17°C-25°C	>25°C	>30°C
Nébulosité	>75%	non	oui	oui	oui
	<75%	oui	oui	oui	oui
Pluie		non	non	non	non
Force du vent		non	non	non	non
Heure		10h-16h	10h-16h	10h-17h	9h-18h

En 2016, la température, la force du vent et la nébulosité ont été notées lors des relevés.

- Nombre de campagne de relevés

2016 ayant été une année test pour le protocole, seuls deux passages par site ont été réalisés : un passage au printemps et un en été. Ces passages ont permis d'évaluer l'état écologique du site, son accessibilité et son potentiel odonatologique.

- Fiche de relevés

Aucune fiche de relevé n'a été utilisée en 2016. Les données ont été inscrites directement sur un carnet de terrain.

5.6.2 Analyses et statistiques

Le temps de relevé a varié de 28 minutes pour le plus court à 114 minutes pour le plus long. La durée moyenne d'inventaire a été de 49,2 minutes (+/- 23,2 minutes). 35% des relevés ont été effectués exactement en 30 minutes et 35% ont été réalisées en une heure ou plus. Les 30% de relevés restants ont une durée variable entre 30 minutes et 1h. Cette grande hétérogénéité dans la durée est liée à la variabilité de la surface des sites, et aux différences d'application du protocole STELI (qui ne limite pas la durée maximale d'un relevé).

La longueur moyenne des transects en 2016 est de 163 mètres (+/- 95,8 m). L'écart-type montre des longueurs très hétérogènes. Une longueur fixe permettrait d'améliorer la robustesse statistique et de simplifier l'analyse des données.

Au cours de la campagne de prospections 2016, correspondant à deux passages sur les neuf prévus par le protocole, 245 données d'odonates ont été compilées pour 32 espèces déterminées. En moyenne, 6,61 espèces (+/- 2,81) ont été relevées par passage sur un site, avec un minimum de 2 et un maximum de 14.

5.6.3 Résultats exploratoires

Sur les 32 espèces observées, 11 sont considérées comme typiques et/ou possèdent une répartition majoritairement liée aux lagunes des Landes de Gascogne (ou d'un habitat similaire) :

- *Ceriagrion tenellum*
- *Coenagrion scitulum*
- *Cordulia aenea*
- *Lestes dryas*
- *Lestes sponsa*
- *Lestes virens*
- *Leucorrhinia albifrons*
- *Leucorrhinia caudalis*
- *Leucorrhinia pectoralis*
- *Somatochlora flavomaculata*
- *Libellula quadrimaculata*

Le graphique ci-dessous montre que 5 espèces ont été observées dans au moins 49% des passages. *Anax imperator* est l'espèce la plus fréquemment observée (Fig. 82).

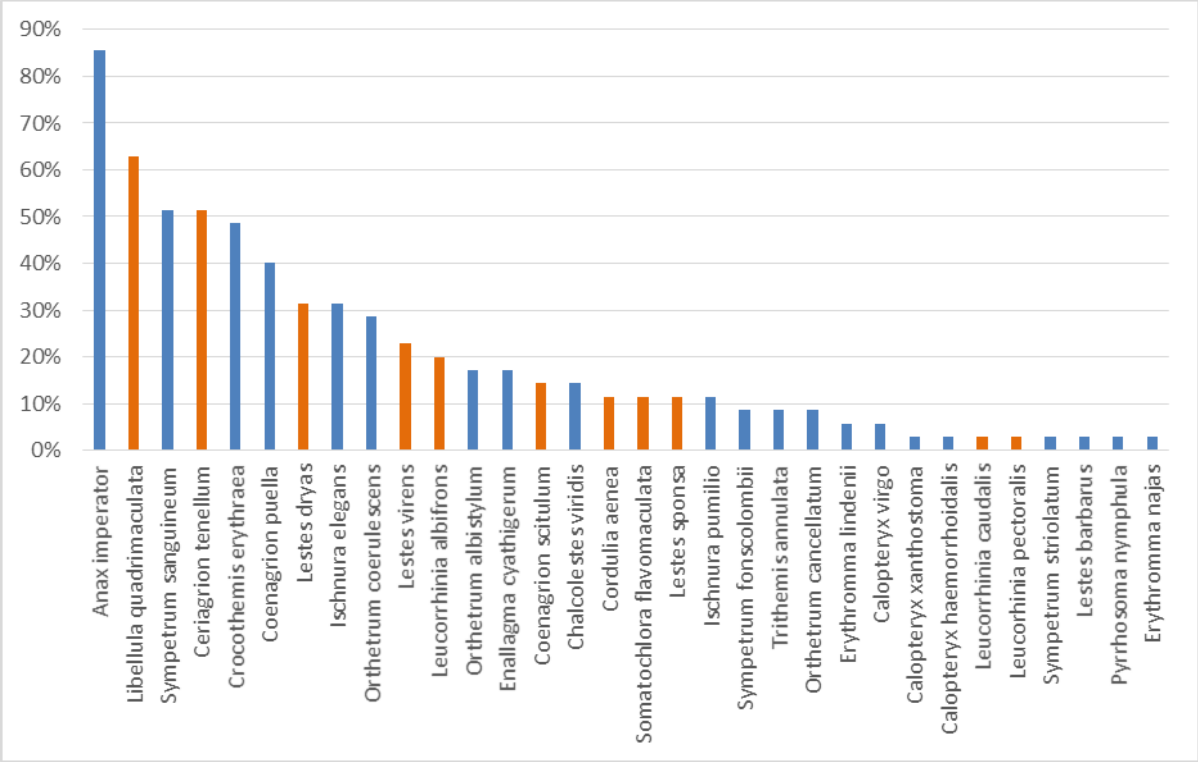


Fig. 82. Occurrence des espèces (en orange : espèce typiques de lagunes)

Leucorrhinia albifrons, considérée comme la Leucorrhine la plus commune en Aquitaine, a été observée lors de 20% des passages (6 sites) tandis que *Leucorrhinia pectoralis* et *Leucorrhinia caudalis* n'ont été observées que lors de 3% des passages (une seule observation sur la lagune de Bourriot-Bergonce).

Parmi les 11 espèces caractéristiques des lagunes, seules *Ceriagrion tenellum* et *Libellula quadrimaculata* sont présentes dans plus de 50% des relevés. Cette faible représentation du cortège des espèces caractéristiques des lagunes s'explique en partie par le faible nombre de passages réalisés en 2016 (2 relevés sur les 9 prévus par le STELI).

Peu de sympétrums et d'aeschnes ont été observés en raison de la période à laquelle ont été réalisés certains passages (la majorité a été réalisée avant le 5 août). De plus, il s'agit d'espèces très mobiles et souvent difficiles à repérer ou à déterminer en vol.

5.6.4 Discussion et perspectives de suivi

L'année 2016 était une année test pour le suivi des odonates dans le cadre du programme « les Sentinelles du Climat ». Pour des raisons techniques et financières, seuls 14 sites pourront être suivis à partir de 2017. La validation finale des 14 sites sera réalisée en 2017 et se base sur plusieurs critères :

- la qualité de l'habitat,
- la présence d'un cortège floristique caractéristique des lagunes (avis du CBNSA),
- l'absence de suivis réalisés par les PNR des Landes de Gascogne,
- l'autorisation du propriétaire pour l'intégration du site dans le programme.

Les sites situés en limite du triangle landais sont conservés malgré l'absence de cortège floristique caractéristique (cas des lagunes n° 13, 25 et 26). La présence en limite d'aire de répartition de cortèges d'odonates caractéristiques des lagunes (cas des leucorrhines par exemple) justifie la priorité de conservation de ces sites dans le programme.

Le critère d'absence de suivis réalisés par le PNR a nécessité le retrait de certaines lagunes présentant pourtant toutes les conditions pour intégrer le programme (cas des lagunes de Saint-Magne, Louchats et de Brocas notamment).

Cette première année de suivi a permis de mettre en évidence des biais liés au protocole STELI non compatibles avec les objectifs du programme sur le suivi des populations d'odonates :

- Temps de relevé variable ;
- Distance des parcours non-définie et donc variable ;
- Caractère facultatif de l'échantillonnage des exuvies.

Ainsi, plusieurs modifications sont proposées ci-dessous pour le suivi des populations d'odonates des lagunes à partir de 2017 :

- La surface des sites prospectés étant très variable, et pour éviter de trop grandes variations entre les sites, une longueur de 50 mètres par transect sera retenue.
- Le cas échéant, lorsque qu'un plan d'eau est de surface importante, plusieurs transects pourront être disposés, distants d'au minimum 100 m. Les transects, placés sur les secteurs les plus favorables à l'observation des odonates (berges bien exposées et en pente douce, présence d'herbiers aquatiques) seront fixes tout au long du programme. Des repères devront être installés sur les sites pour permettre aux observateurs de retrouver les transects.
- Pour augmenter la robustesse des données de terrain et faciliter le traitement des données, les relevés des imagos seront effectués pendant une durée fixe de 30 minutes (+/- 1 minutes) selon le principe des relevés STERF (l'observateur se situe à la limite d'une boîte virtuelle de 5 m de côté avançant avec lui). Les transects devront être placés en bordure du plan d'eau de manière à pouvoir observer 2,5 mètres vers le plan d'eau et 2,5 m sur les berges. Le chronomètre sera arrêté si besoin pour permettre la détermination d'un individu capturé, en limitant au maximum la durée de détermination sur le transect (1 à 2 minutes par individu). Le nombre d'individus sera dénombré précisément jusqu'à 20 puis des classes seront attribuées : de 20 à 50, de 50 à 100, de 100 à 200, plus de 200. Les individus indéterminés ne seront pas mentionnés dans les relevés.
- Les exuvies seront également échantillonnées à partir de 2017. Elles permettent d'obtenir une image de la population larvaire et d'inventorier des espèces difficilement observables à l'état d'imago notamment certains Anisoptères ayant des capacités de déplacement élevées, un caractère territorial pour certains et/ou une période de maturation parfois longue. Cette information est importante pour évaluer plus finement l'évolution d'une population.
- L'échantillonnage des exuvies sera réalisé sur le même transect que le relevé imago. Pour des raisons pratiques, seules les exuvies d'Anisoptères seront collectées et déterminées. Les exuvies de Zygoptères sont beaucoup plus fragiles, moins détectables

et très difficiles à déterminer. Toutes les exuvies d'Anisoptères seront collectées sur une bande de 1 mètre le long du plan d'eau (côté berge). La détermination sera réalisée en laboratoire à l'aide d'une loupe binoculaire.

- Les relevés des imagos seront réalisés avant la collecte des exuvies. En effet, cette dernière perturbe le milieu, causant le dérangement voire la fuite de certains imagos, et biaisant ainsi le relevé des adultes réalisé en suivant.

A partir de 2017, 14 sites pourront être suivis, correspondant à un minimum de 14 transects relevés (soit 700 mètres). Les plus grands sites seront pourvus de plusieurs transects, ce qui pourra augmenter le nombre de transects (Annexe 22).

Les cartes ci-dessous montrent deux exemples de sites dont les transects ont été réduits à 50 mètres. En raison de la plus grande taille du site « Etang de la Surgenne » et de la présence de plusieurs zones favorables pour les odonates, 2 transects y ont été placés tandis qu'un seul transect a été placé sur la lagune de la Matte (Fig. 83).

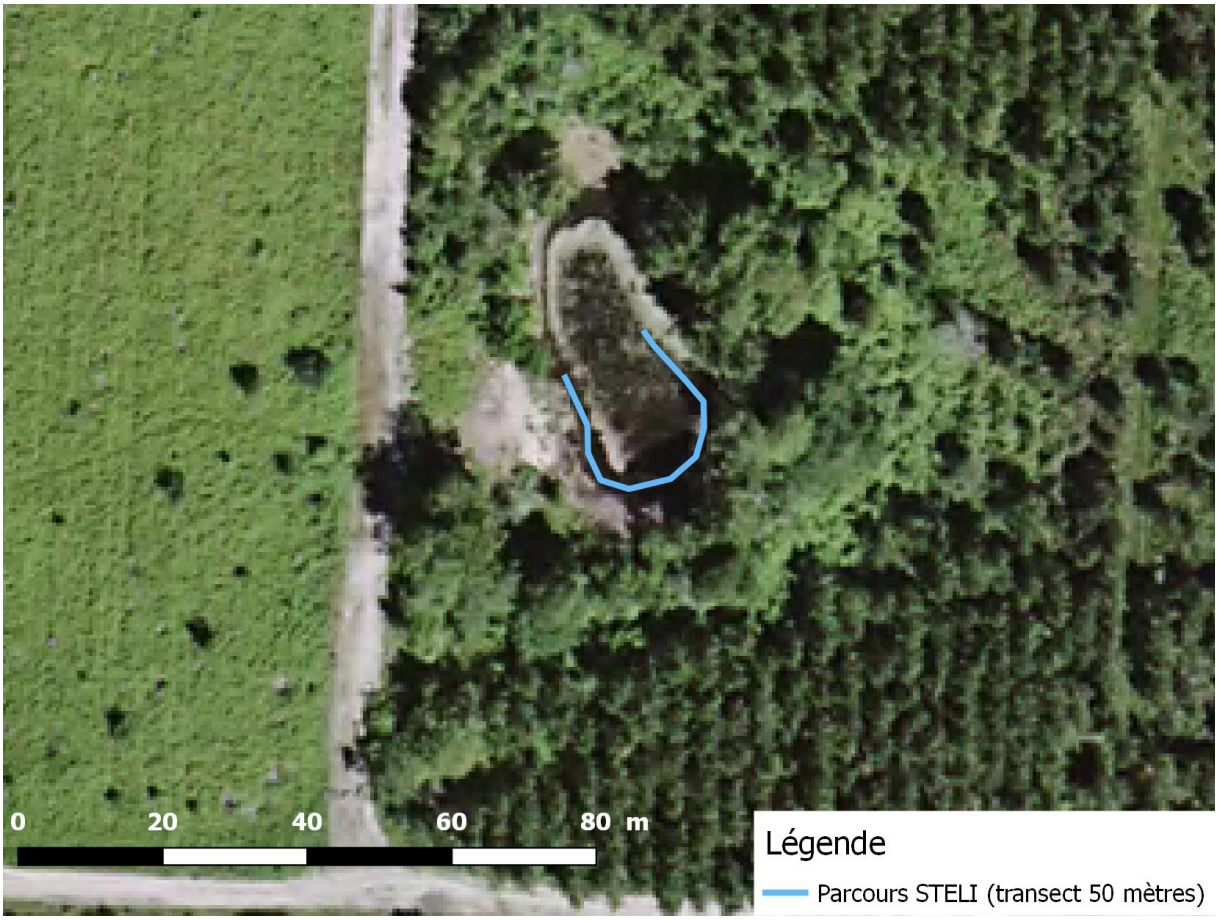


Fig. 83. Situation potentielle du transect de 50 m sur la lagune dans la cadre du suivi des espèces d'odonates sur photographie aérienne : lagune de la Matte (Luxey, 40)

A partir de 2017, les ouvrages suivants seront consultés pour la détermination des exuvies :

- Doucet G. 2016. Clé de détermination des exuvies des Odonates de France. Société française d'odonatologie, 64 pp.
- Heidemann H. & Seidenbusch R. 2002. Larves et exuvies des libellules de France et d'Allemagne (sauf de Corse). Bois-d'Arcy, Société française d'Odonatologie, 416 pp.

Les agents de terrain seront munis d'une autorisation de capture puisque tous les sites abritent des espèces protégées (à commencer par les trois leucorrhines : *Leucorrhinia albifrons, L. caudalis* et *L. pectoralis*). Cette autorisation est nécessaire dans la mesure où l'échantillonnage d'exuvies est prévu, et dans le cas de captures d'adultes d'espèces protégées pour détermination en main.

Les relevés des imagos seront organisés selon la méthode proposée par le STELI (en trois sessions) :

- 3 passages avant le 15 juin ;
- 3 passages entre le 15 juin et le 31 juillet ;
- 3 passages entre le 1 août et la fin de la saison (fin septembre).

En parallèle, les exuvies seront échantillonnées à raison d'une collecte par session. Afin d'éviter le lessivage des exuvies et permettre la collecte d'un maximum d'échantillons, le relevé des exuvies ne devra pas être effectué après un épisode de forte pluie.

Cette répartition temporelle des relevés va permettre de contacter le cortège odonatologique complet de chaque site, prenant en compte à la fois les espèces précoces (leucorrhines, *Brachytron pratense*,...) et les espèces plus tardives (sympétrums, aeschnes, lestes,...).

Une fiche de relevé sera réalisée et mise à disposition des agents de terrain en 2017.

Même si tous les passages n'ont pas été effectués, la campagne de prospection réalisée en 2016 a donc permis des ajustements de fond sur le protocole à mettre en œuvre. Cette première phase a permis également de choisir les sites les plus propices à la mise en place de ces suivis et d'obtenir un réseau de sites cohérent et équitablement réparti sur l'ensemble des Landes de Gascogne.

Le dernier critère de sélection reste la signature d'une convention avec les propriétaires des sites permettant la mise en place des suivis dans le cadre du programme. Le choix définitif des sites sera acté au début de l'année 2017 une fois que tous les sites auront fait l'objet d'une convention.

5.7 Rainette ibérique

Rédaction : Maud Berroneau

La Rainette ibérique est une espèce qui se reproduit dans les milieux humides frais du massif landais, type lagune. En France, elle se cantonne au bassin aquitain. Ses habitats préférentiels sont sujets aux perturbations climatiques comme l'assèchement brutal et la modification de la flore représentative des zones humides du massif landais.

La Rainette méridionale est une espèce d'affinité méditerranéenne, et donc plus thermophile, qui pénètre toutefois sur certaines lagunes où les deux espèces s'observent alors en syntopie.

Le rapport de force entre les deux espèces est très certainement lié aux conditions climatiques locales et pourrait évoluer en fonction du changement climatique.

L'autre hypothèse de l'impact du changement climatique sur la Rainette ibérique est la disparition ou le mouvement de stations remarquables.

L'objectif de cet indicateur est de visualiser la tendance évolutive de la répartition et abondance de la Rainette ibérique en lien avec d'éventuelles variations climatiques, mais aussi d'observe l'évolution du rapport de force entre les deux Rainettes.

5.7.1 Plan d'échantillonnage

- Sélection des sites

La sélection s'est portée sur des sites présents dans l'aire de répartition de la Rainette ibérique (présence avérée ou non de cette dernière), facilitant la mise en évidence d'éventuels mouvements populationnels (massif landais). Ces sites sont parfois occupés par la Rainette méridionale ou non, espèce potentiellement compétitrice.

- Description des sites choisis

Au niveau de la terminologie, pour la Rainette ibérique, un « site » de suivi correspond à une « lagune ».

12 sites ont ainsi été sélectionnés (7 en Gironde, 4 dans les Landes, et 1 en Lot-et-Garonne) à partir de la répartition connue de la Rainette ibérique et avec une homogénéité de répartition selon un gradient nord-sud, est-ouest (Fig. 84, Tab. XLI).

Ces sites coïncident autant que possible avec ceux d'autres suivis en milieu humide, notamment avec les sites de suivi du Lézard vivipare.

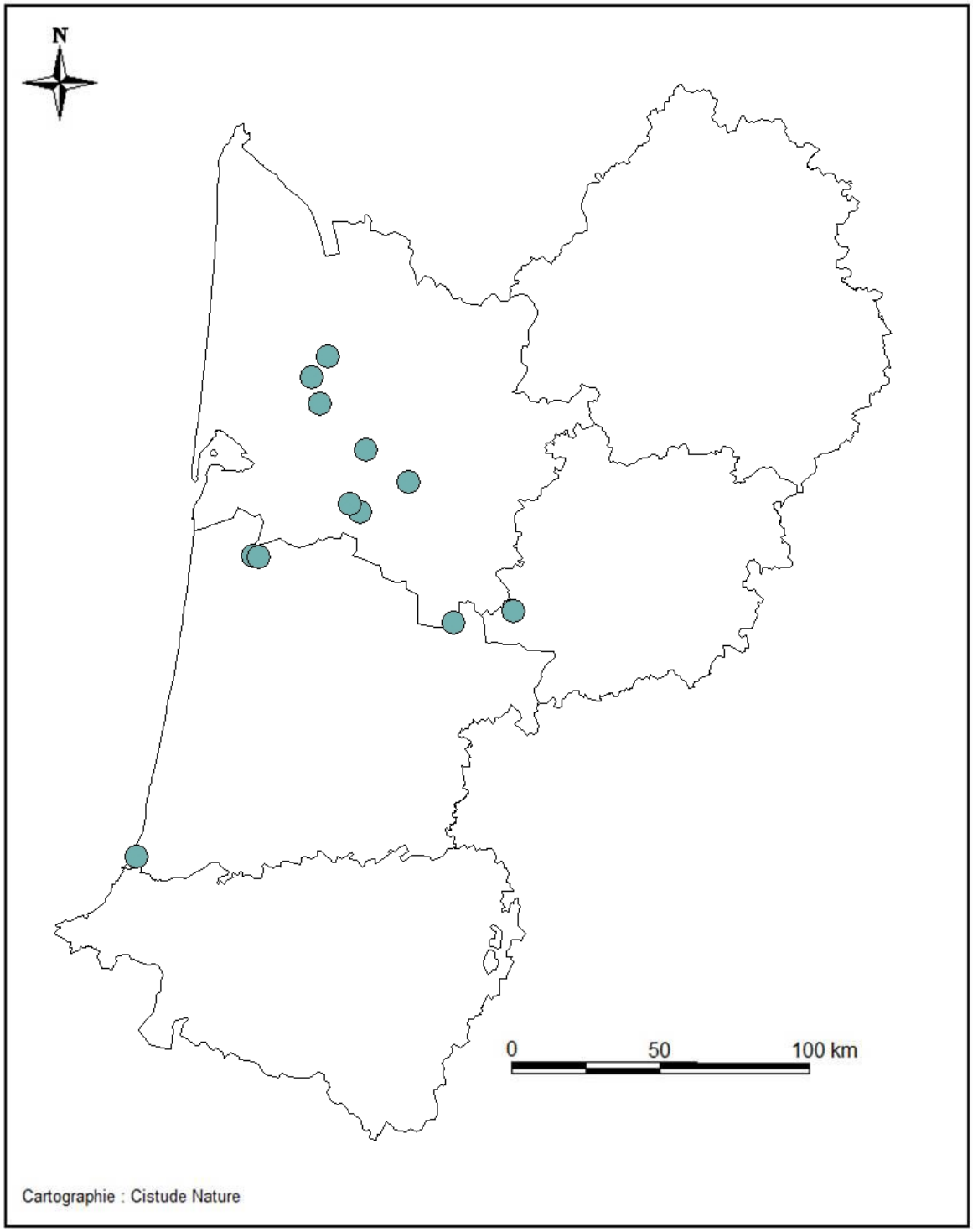


Fig. 84. Situation géographique des sites d'études validés dans la cadre du suivi de la Rainette ibérique

Tab. XLI. Caractéristiques des sites étudiés dans le cadre des suivis "Rainette ibérique"

Département	Dénomination	Type d'habitat	Propriétaire/gestionnaire	Accord	Structure de suivi et nom de l'observateur	Latitude	Longitude
Gironde (33)	Le Pian Médoc	Lagune	-		Cistude Nature - Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	Martillac	Lagune	-		Cistude Nature - Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	Hostens	Lagune	Conseil départemental	oui	Cistude Nature - Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	Saint Magne	Lagune	-		Cistude Nature - Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	Illats	Lagune	-		Cistude Nature - Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	St Jean d'Illac	Lagune	-		Cistude Nature - Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Gironde (33)	Saint-Médard-en-Jalles	Lagune	-		Cistude Nature - Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Landes (40)	Captieux	Lagune	-		Cistude Nature - Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Landes (40)	Tarnos	Lagune	-		Cistude Nature - Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Landes (40)	Lubiosse - Ychoux	Lagune	-		Cistude Nature - Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Landes (40)	Lubiosse - Ychoux	Lagune	-		Cistude Nature - Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]
Lot-et-Garonne (47)	Pindères	Lagune	Commune	oui	Cistude Nature - Maud Berroneau	[redacted]	[redacted]

- **Définition et positionnement des points d'échantillonnage**

Comme explicité ci-dessus, les points d'échantillonnage se font par lagune identifiée. Il s'agit de points d'écoute autour de la lagune. Donc la définition et le positionnement de ces points d'échantillonnages correspondent au tableau précédent (Fig. 85).

Fig. 85. Exemple de lagune de suivi « Rainette ibérique »

- Méthode de relevés et détermination des espèces

Cette étude se base sur un suivi annuel de présence des deux Rainettes sur 12 sites, couplés à des stations météo. L'application du protocole type POP Amphibien (protocole national standardisé – SHF) permettra une estimation fine de la présence ou de l'abondance de chaque espèce, en particulier de la Rainette ibérique. Cette abondance peut être mise en relation avec des facteurs extérieurs (évolution des températures, régime pluviométrique, etc.) et peut être comparée d'une année sur l'autre.

Chaque site est visité 3 fois par an durant la période d'activité des Rainettes (passages de préférence entre mars et mai). Les points d'écoutes des mâles chanteurs sont assurés pendant 20 min sur chaque lagune. A la suite des points d'écoutes, différents relevés sont effectués sur les caractéristiques de la lagune, les autres espèces observées, etc.

- Conditions météorologiques requises

L'écoute des mâles chanteurs de Rainette ibérique s'effectue avec des conditions climatiques particulières durant la saison de reproduction:

- Visite nocturne
- Eviter les nuits trop fraiches (gelées) en début de saison
- Eviter les phases de pleine lune et nuits venteuses

- Nombre de campagne de relevés

L'écoute des mâles chanteurs de Rainette ibérique s'effectue durant la saison de reproduction de mars à mai.

- Fiche de relevés

La récolte de données sera réalisée à l'aide des fiches de relevé standardisées.

Trois fiches de renseignements doivent être remplies pour chaque site et chaque passage. La première fiche « Relevé » renseigne par lagune les observations de l'espèce, les indices de présence pour les trois passages. La deuxième fiche « Descriptif site » permet un descriptif précis de la lagune et de ses alentours pour les trois passages. Enfin, la fiche « Récapitulatif site » liste l'ensemble des lagunes à prospecter.

Notice explicative aux fiches à renseigner

- *Fiche Relevé*

– Localisation / aide localisation : coordonnées GPS des quatre extrémités de la placette. Il peut également être noté toute remarque facilitant le bon repérage du site.

Météo :

– T° : valeur maximale indiquée par le thermomètre/anémomètre (en degré Celsius).

– Vent : valeur maximale indiquée par le thermomètre/anémomètre (en m/s) sur une minute.

– Nuage : la couverture nuageuse doit être indiquée selon 5 coefficients ($1 \leq 20\%$; $20\% < 2 \leq 40\%$; $40\% < 3 \leq 60\%$; $60\% < 4 \leq 80\%$; $5 > 80\%$).

Nature du contact avec la Rainette ibérique :

– Obs chant: nombre d'individus chanteurs différents observés.

– Autre : nombre de mues dénombrées (observations directes, pontes, etc.).

Nature de l'habitat :

Description de l'habitat utilisé par les individus (aquatique, rivulaire, etc.).

– Remarque : pour indiquer tout type d'information supplémentaire.

Observation d'autres espèces :

– Rainette méridionale (chanteurs ou non, nombre, etc.)

– autres espèces remarquables

- *Fiche Descriptif site*

– Localisation / aide localisation : cf. ci-dessus.

– Date / Observateur : date et nom des observateurs lors des trois passages.

– Position : emplacement de la lagune.

– Strates de végétation : pourcentage et hauteur des différentes strates de végétation au sein du site.

– Nature habitat : présence / absence et nombre des différents abris disponibles pour les Rainette ibérique.

- *Fiche Récapitulatif site*

– Coordonnées GPS : indiquent les quatre extrémités Nord-Ouest, Nord-Est, Sud-Est et Sud-Ouest de la lagune suivie.

– Commentaires : toutes informations permettant de faciliter le repérage de la lagune.

5.7.2 Analyses et statistiques

Les données seront analysées par modèle N-mélange, à l'aide du logiciel R et du package unmarked.

5.7.3 Résultats exploratoires

En 2016, les sites ont été visités et sélectionnés en dehors de la période de reproduction de la Rainette ibérique (juillet à septembre).

Aucun relevé selon le protocole précédemment présenté n'a pu être fait. Ainsi, aucun résultat exploratoire n'est apporté pour 2016.

5.7.4 Discussion et perspectives de suivi

Le suivi devra être assuré dans le temps pour produire des indices annuels d'abondance et de répartition pour comparaison sur le long terme.

Les analyses devront porter sur la mise en place d'une méthode efficace permettant de vérifier les corrélations entre l'occurrence/abondance de la Rainette ibérique et la variation climatique des sites (assèchement, modification de la flore, etc.). Les observations devront également tendre à répondre au deuxième questionnement sur la pénétration possible de la Rainette méridionale au cœur du massif landais, indicatrice d'un changement du milieu et de son microclimat (Fig. 86).

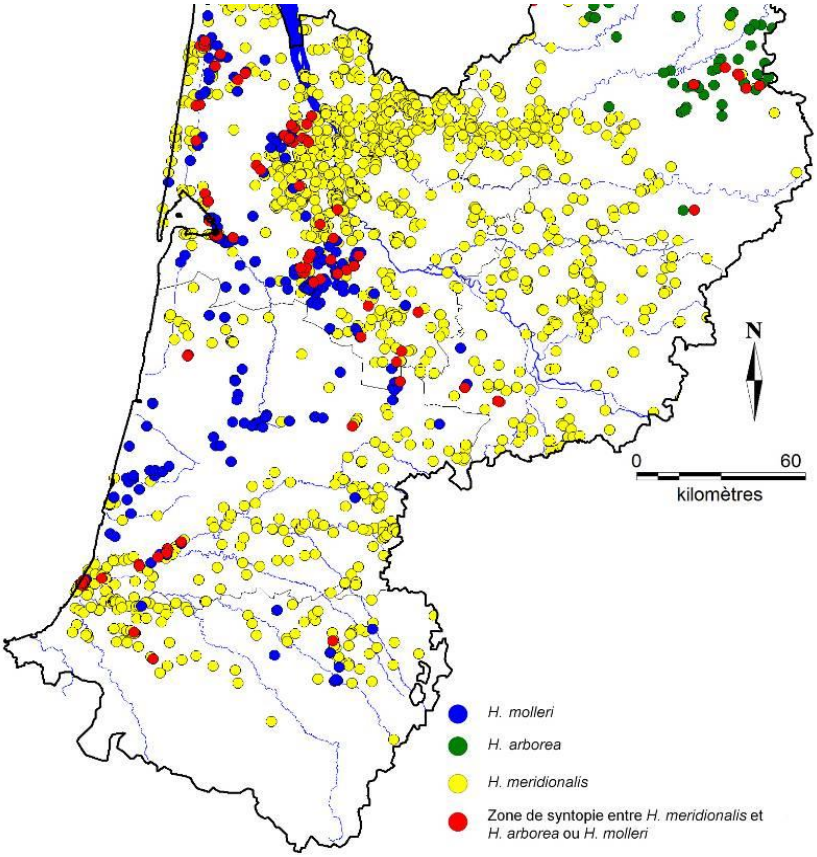


Fig. 86. carte répartition actuelle des Rainettes.

5.8 Végétation des étangs arrière-littoraux

Rédaction : Kévin Romeyer, Anthony Le Fouler, Grégory Caze

La multitude de végétations qui compose les rives des étangs arrière-littoraux aquitain hébergent une flore particulière avec de nombreuses espèces patrimoniales (*Lobelia dortmanna*, *Isoetes boryana*, *Caropsis verticillatto-inundata*, *Littorella uniflora*) dont certaines d'affinités boréales en limite d'aire sud-occidentale (*Rhynchopora fusca, Utricularia intermedia, Drosera intermedia*). Cela vient du fait que ces étangs sont isolés de la mer par un imposant cordon dunaire ; ils sont donc alimentés exclusivement par les eaux des bassins versants. Issues du plateau sableux du triangle landais, ces eaux acides et oligotrophes favorisent le développement de communautés végétales très originales. Ces végétations vivaces sont adaptées à des sols pauvres en nutriments et aux fluctuations des niveaux d'eaux qui déterminent leur agencement en ceinture le long d'un gradient topographique plus ou moins étendu. On retrouve ainsi des communautés purement aquatiques (immergées toute l'année), terrestres (toujours émergées) et amphibies (immergées seulement une partie de l'année). Toutefois, ces dernières étant très sensibles aux modifications de régime hydrique (absence de marnage) et à l'eutrophisation, elles sont en forte régression voire disparues dans certaines zones. De plus, dans le contexte du changement climatique avec des sécheresses et canicules plus intenses, ces végétations amphibies et aquatiques pourraient disparaître ou se raréfier au profit des végétations strictement terrestres et moins oligotrophiles.

5.8.1 Plan d'échantillonnage

- Sélection des sites

Dans le cadre du schéma pluriannuel de suivi des habitats d'intérêts communautaires (HIC) de la région Aquitaine mis en place par le CBN Sud-Atlantique (Le Fouler & Caze, 2012), les rives des étangs font l'objet d'un suivi régulier pour l'évaluation d'état de conservation à travers le réseau Natura 2000 (Le Fouler, 2012).

Au total, il existe 19 étangs arrière-littoraux (Fig. 87) dont 16 étant intégrés dans un périmètre Natura 2000 sur 6 sites différents. L'ensemble des étangs ne pouvant être suivi, un échantillon de 8 étangs a été sélectionné selon les critères suivants :

- Présence dans un périmètre Natura 2000 ;
- Présence des habitats d'intérêt communautaire à évaluer ;
- Bonne représentativité de ces habitats (surface, état).

Les étangs étant parfois de très grande superficie et relativement hétérogènes d'une rive à l'autre, plusieurs dispositifs de suivi ont dû être mis en place pour un même étang. Les critères sur leur positionnement sont explicités plus loin.

Les suivis des végétations de rives d'étangs dans le cadre du programme Sentinelles du climat se reposent essentiellement sur le réseau Natura 2000 afin de mutualiser les dispositifs mis en place (Fig. 88). Toutefois, pour une meilleure détection et compréhension des effets du

changement climatique sur ces habitats, il convient d'enrichir ce réseau avec de nouveaux dispositifs sur d'autres rives d'étangs déjà suivis voire sur des étangs non-suivis actuellement. Cela permettra notamment d'avoir une vision régionale exhaustive sur les végétations qui composent ces étangs et ainsi de détecter les secteurs de plus grande sensibilité face au changement climatique.

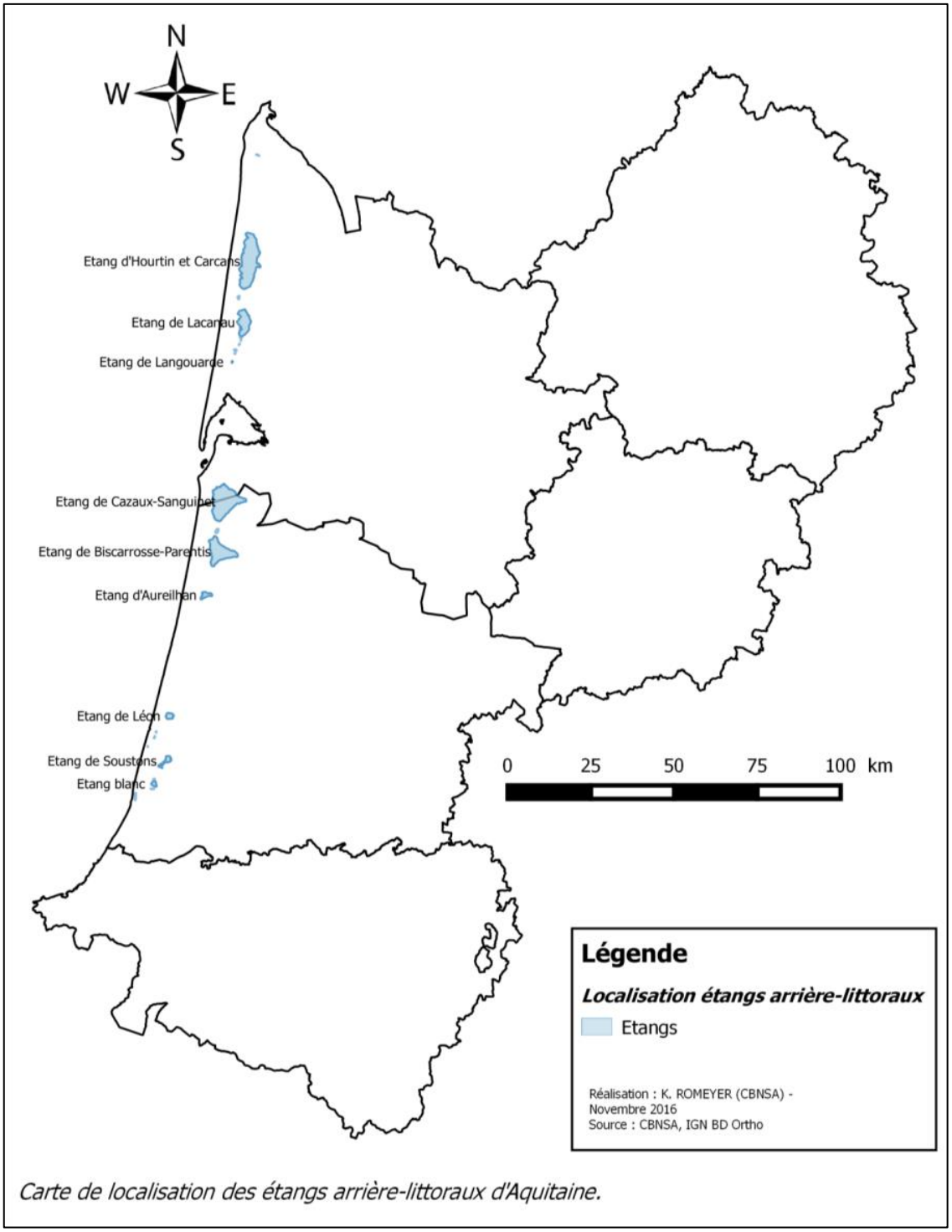


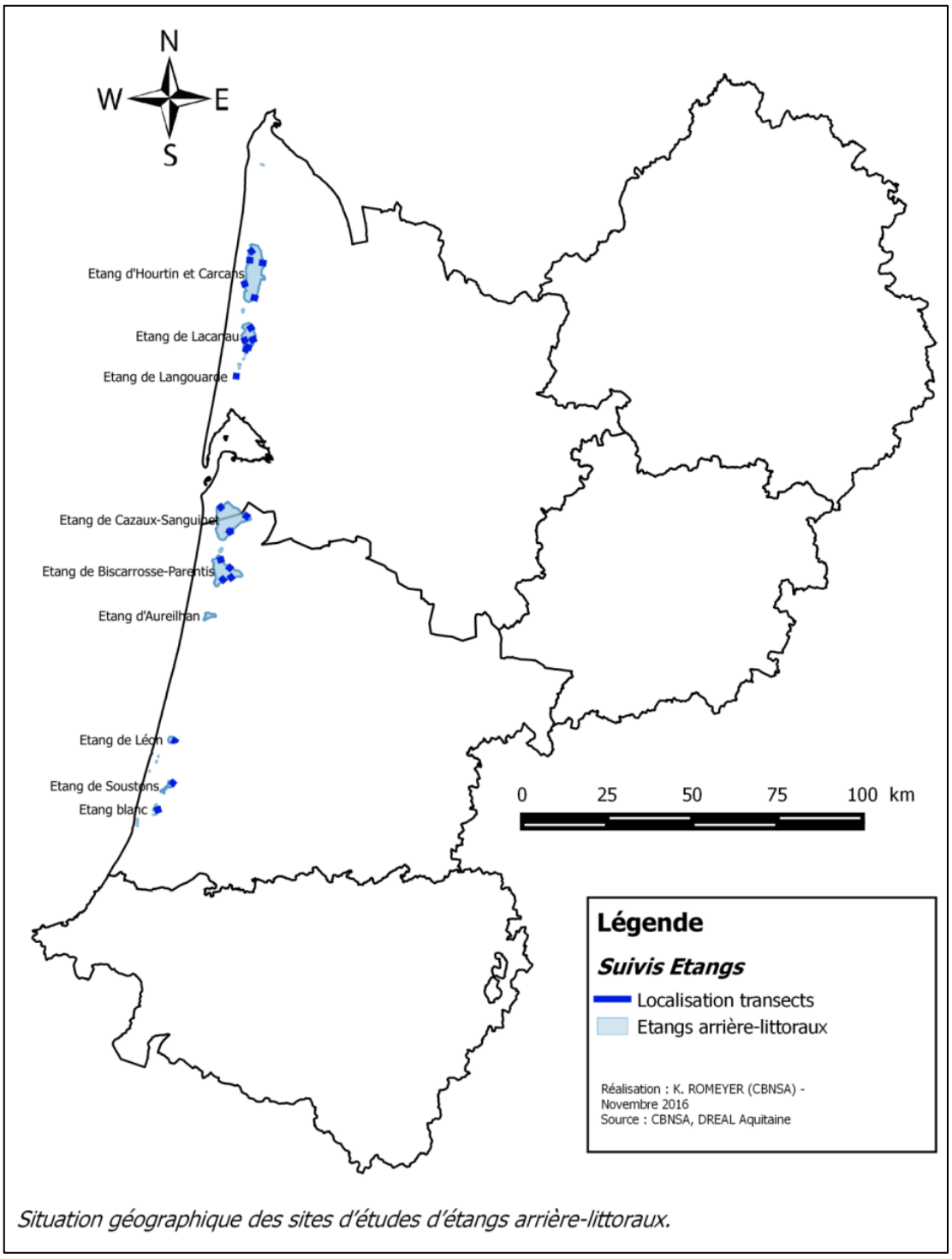
Fig. 87. Carte de localisation des étangs arrière-littoraux en Aquitaine

L'identification des nouveaux sites à matérialiser et suivre en termes de végétations s'effectuera en 2018. Elle devrait s'appuyer notamment sur la présence de communautés

amphibies (*Elodo-Sparganion erecti*), aquatiques (*Hydrocharition morsus-ranae* et *Potamion pectinati* (Koch 1926) Libbert 1931) et de gazons subaquatiques d'intérêt patrimonial *(Lobelion dortmannae* (Vanden Berghen 1964) Tüxen & Dierssen in Dierssen 1972).

Les différents critères de sélection pour chacun des sites d'étang suivis et la mise en place de transect seront précisés dans un futur rapport.

- Description des sites choisis



Situation géographique des sites d'études d'étangs arrière-littoraux.

Fig. 88. Situation géographique des sites d'études validés d'étangs arrière-littoraux.

Les caractéristiques de chaque site étudié de rives d'étangs (commune, superficie, statut, propriétaire, structure de suivi) seront détaillées dans un futur rapport.

- Définition et positionnement des points d'échantillonnage

Le suivi des étangs en lien avec les évolutions climatiques dans le cadre des Sentinelles du climat reprend les mêmes principes d'échantillonnage que pour l'évaluation de l'état de conservation dans le cadre du suivi des HIC pour Natura 2000 (LE FOULER, 2012) ; c'est-à-dire un système de transect orienté perpendiculairement au rivage et aux ceintures de végétations et lu au moyen de quadrats de 4m de côté et de relevés phytosociologiques.

Ce type de dispositif permet à la fois une étude diachronique des végétations rivulaires, pour suivre dans le temps et dans l'espace leur dynamique évolutive ; et une étude synchronique pour décrire l'organisation spatiale des groupements dans l'espace.

La répartition spatiale des communautés végétales étant surtout expliquée par les gradients topographique et hydrique, le transect est orienté de la zone de bas-niveau (toujours immergée) vers le rivage complètement exondé en répondant aux critères suivants:

- Echantillonner la diversité phytocénotique : le transect doit prendre en compte les différentes situations écologiques majoritairement rencontrées sur l'étang;
- Choisir le transect le plus long possible (pente faible) pour apprécier la végétation dans son expression optimale ;
- Eviter les situations atypiques : les zones suivies doivent être relativement indicatrices du fonctionnement écologique de l'étang.

Dans l'objectif d'un suivi à moyen/long terme (plusieurs décennies) et afin d'assurer la relocalisation précise et la pérennité du dispositif, le transect est délimité par 2 piquets fixes en bois imputrescible (ex : robinier) en évitant les zones soumis à contraintes (coupe, passage d'engins, niveau d'eau trop élevé).

La limite inférieure est fixée de manière à prendre en compte l'intégralité des groupements de bas-niveau (roselières, groupements amphibies) et dans la mesure du possible les groupements aquatiques sous-jacents. La limite supérieure est arrêtée dès l'apparition des premiers ligneux hauts ou à la sortie de la zone amphibie et l'apparition des communautés végétales mésophiles non soumises à immersion temporaire (Fig. 89). Pour ne pas attirer l'attention et éviter toute dégradation du dispositif ou dommages aux usagers de l'étang, les piquets doivent être enterrés profondément et ne dépasser que de quelques dizaines de centimètre la surface du sol. Le géoréférencement du transect est déterminé sur le terrain par les coordonnées GPS de ses repères fixes. Le temps de la lecture, le transect est matérialisé par une corde doublé d'un décamètre tendu entre les deux piquets, au ras du sol. Les quadrats sont quant à eux matérialisés par des piquets temporaires reliés par une corde ou rubalise.

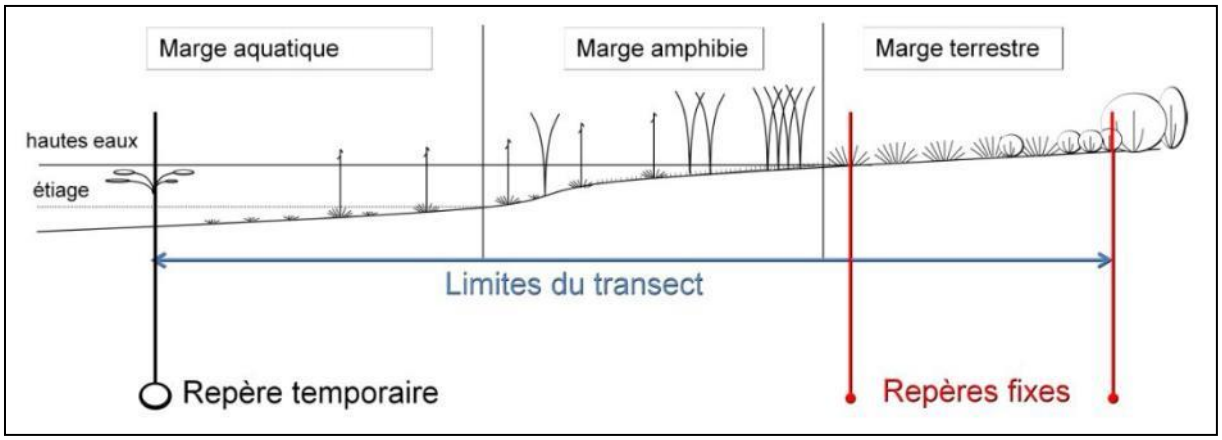
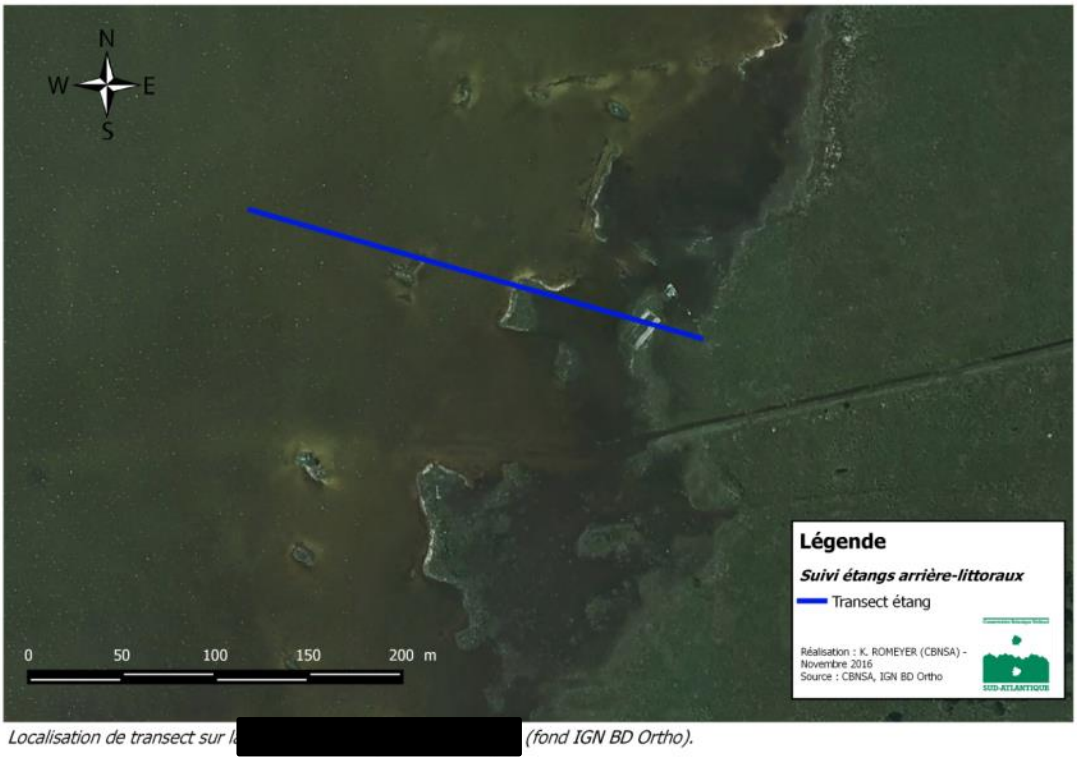


Fig. 89. Schéma de positionnement du transect sur les rives d'étangs.

La durée de mise en place et de relocalisation du transect et des quadrats est estimée autour de 1h. La durée de lecture des quadrats et des relevés phytosociologiques le long du transect n'est pas limitée et peut être estimée autour de 3h.

Les caractéristiques de chaque transect d'étang (dénomination, longueur, coordonnées GPS) ainsi que les cartes de localisation précises de chaque transect seront détaillées dans un futur rapport. Un exemple de situation est présenté ci-après (Fig. 90). Les cartes de localisation des transects sur chaque étang sont présentées en Annexe 23.



Localisation de transect sur l[redacted] (fond IGN BD Ortho).

Fig. 90. Exemple de situation de transect sur une rive d'étang arrière-littoraux (photographie aérienne).

- Méthodes de relevés et détermination des espèces

Dans le cadre du programme Sentinelles du climat, comme pour l'évaluation de l'état de conservation Natura 2000, le suivi des végétations rivulaires d'étangs arrières-littoraux s'opère selon la méthode des transects. Deux protocoles complémentaires sont utilisés sur un même transect pour avoir une vision globale du fonctionnement des étangs et détecter de façon fine les variations floristiques du milieu :

- Transect de relevés phytosociologiques ;
- Transect de quadrats de fréquence disposés à intervalles réguliers.

Selon la méthode phytosociologique sigmatiste, des relevés sont réalisés le long du transect dans les zones d'expression optimale des communautés végétales, y compris celles des communautés d'annuelles qui se superposent aux communautés de plantes vivaces, ainsi qu'aux limites inférieures et supérieures de chacune d'elles. Cela permet notamment de connaitre l'écologie et les liens dynamiques des différentes communautés et l'évolution de l'emprise de celles-ci le long du transect : une information capitale pour estimer, par extrapolation, l'évolution des surfaces d'habitats sur les étangs.

Le long du même transect, la flore et les végétations sont suivies à travers des quadrats de fréquence de 4m de côté subdivisés en quadrats élémentaires de 1m de côté (Fig. 91). Le nombre de quadrats par transect est adapté aux caractéristiques de la rive (diversité de communautés végétales, longueur de la zone de marnage). Ils sont répartis le long du transect à intervalles réguliers (Fig. 92). Cet intervalle (n), mesuré à partir du centre du quadrat, est variable en fonction de la longueur du transect et du nombre de quadrats choisis. En moyenne, un intervalle de 8m entre 2 quadrats est préconisé. Une fois défini, cet intervalle ne doit en aucun cas varier entre les différentes lectures. Le premier quadrat est disposé au pied du repère fixe le plus élevé (rivage de l'étang), et orienté vers la zone de bas-niveau. La position des autres quadrats sera déduite par celle du premier à l'aide du décamètre.

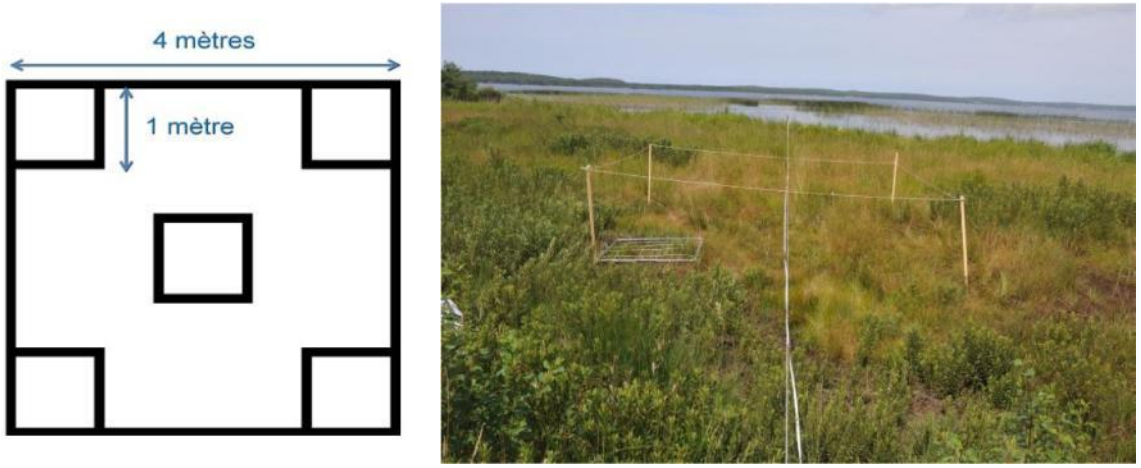


Fig. 91. Schéma d'organisation (à gauche) et illustration (à droite) des quadrats élémentaires au sein du quadrat de fréquence pour les végétations d'étangs.

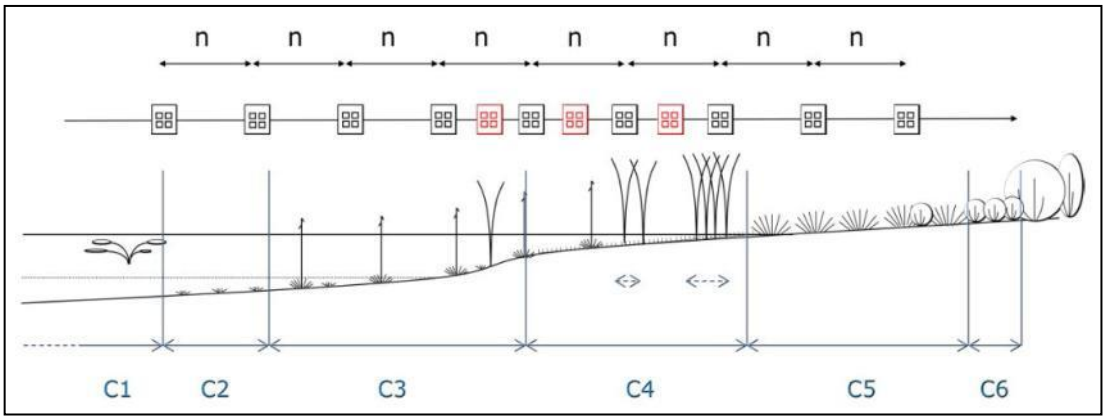


Fig. 92. Schéma de positionnement des quadrats de fréquence le long du transect sur une rive d'étang (en noir : quadrats fixes ; en rouge : quadrats complémentaires ; C1 à C6 : communautés végétales).

Pour chacun des quadrats de fréquence, le recouvrement des strates (précision 5%), la hauteur de biomasse (précision 5 cm) et les caractéristiques abiotiques (niveau d'eau, surface de sol nu, nature du substrat) sont notées et un relevé exhaustif de la flore en présence/absence est réalisé au sein de 5 quadrats élémentaires placés de façon précise (Fig. 91). En plus, un relevé complémentaire est réalisé, en présence/absence, à l'échelle du quadrat de fréquence pour noter les espèces non contactées dans les 5 quadrats élémentaires. Cette méthode présente l'avantage de pouvoir s'abstenir d'une estimation des coefficients de recouvrement, une variable sujette au biais d'interprétation des données engendré par la diversité des observateurs et empêchant la détection de changements subtils dans la composition floristique du tapis végétal étudié.

La prise de photos pour chaque relevé phytosociologique et chaque quadrat est conseillée pour une aide à l'interprétation et garder une vision du site lors des différentes lectures.

La détermination des espèces végétales non-identifiées peut s'effectuer directement sur le terrain à l'aide d'une flore et d'une loupe (x10 minimum). Dans le cas de critères délicats à appréhender *in situ*, l'identification se fera ultérieurement en laboratoire, avec un matériel adéquat (loupe binoculaire, microscope, etc.), sur des échantillons prélevés si possible hors de la zone d'étude. Concernant les espèces rares ou protégées, la détermination devra se faire autant que possible sur photos ou *in situ* sans prélèvement.

Pour l'étude des étangs arrières-littoraux, le champ d'investigation taxonomique concerne les spermatophytes et ptéridophytes mais aussi les sphaignes, les autres bryophytes et lichens sont exclus car trop complexes à appréhender. Le référentiel taxonomique suivi est la version la plus récente de TaxRef (version 9 actuellement (Gargominy *et al.*, 2015). Les flores utilisées sont diverses : Flora Gallica (Tison *et al.*, 2014a), Flore du Pays Basque et des régions limitrophes (Aizpuru *et al.*, 1999), Flore de France méditerranéenne continentale (Tison *et al.*, 2014b), Flore descriptive et illustrée de la France, de la Corse et des contrées limitrophes (Tomes 1 à 3) (Coste, 1901 ; Coste & Flahault, 1903 ; Coste & Flahault, 1906), Les fougères et plantes alliées de France et d'Europe occidentale (Prelli & Boudrie, 2001), Handbook of European Sphagna (Daniels & Eddy, 1990) et Mosses and liverworts of Britain and Ireland (Atherton *et al.*, 2010).

Pour la mise en place et la lecture des végétations rivulaires des étangs arrière-littoraux, le matériel requis est le suivant :

- 2 piquets en bois imputrescible (ex : robinier) ;
- Piquets en bois fin (6 minimum) ;
- Cordes tressées ou rubalise (150m minimum) ;
- Quadrat élémentaire de 1m² ;
- Décamètre ruban (60 m voire 100 m) ;
- Appareil GPS (GPS submétrique si possible) ;
- Masse et marteau ;
- Aquascope ;
- Appareil photo ;
- Scie égoïne ;
- Poches et flacons pour prélèvements des échantillons

- Période optimale de suivi

Les végétations des rives d'étangs connaissent leur optimum phénologique assez tardivement entre début août et fin septembre ; c'est-à-dire la période durant laquelle la majorité du cortège floristique est en floraison. Afin de noter et pouvoir identifier le maximum d'espèces, les inventaires et suivis doivent s'effectuer durant cette période (Le Fouler, 2012). En cas d'année particulièrement sèche, une lecture dès le mois de juillet est envisageable.

- Nombre de campagnes de relevés

Une seule campagne de relevés est réalisée pour chaque année de suivi. En effet, la quasi-totalité du cortège floristique des rives d'étangs étant observable dans le cas d'une lecture pendant la période phénologique optimale, la réalisation de plusieurs campagnes n'offre qu'un intérêt limité.

Comme pour les lagunes, les végétations des rives d'étangs et leur agencement résultent d'un blocage dynamique dû à la période d'immersion prolongée ; par définition, elles sont donc très peu dynamiques en absence de perturbations d'origine anthropiques directes (marnage important, eutrophisation). Néanmoins, elles peuvent être impactées en cas d'aléas climatiques extrêmes (forte sécheresse, canicule, etc.) répétés plusieurs années de suite. Pour ces raisons, le délai entre chaque campagne de suivis est fixé à 3 ans. En fonction des premières analyses et retours d'expérience, ce délai pourra être rehaussé. En effet, les impacts du changement climatique sur ces milieux intervenant à une échelle de temps bien plus large, des suivis trop rapprochés ont peu d'intérêt.

- Fiches de relevés

Pour le suivi des étangs, une fiche de renseignements par transect est conçue (Annexe 24). Elle reprend les différentes informations à renseigner :

- Caractéristiques générales de la rive (substrat, niveau d'eau, atteintes)
- Localisation et caractéristiques du transect
- Proportion des différentes communautés végétales (largeur)
- Relevés floristiques et informations physionomiques par quadrat

En plus, une fiche pour les quadrats de fréquences est renseignée (Annexe 25).

5.8.2 Discussion et perspectives de suivi

Les protocoles de suivis explicités plus haut étant au départ calibrés pour évaluer l'état de conservation des habitats, des compléments ou modifications pourront être adaptés pour mieux répondre à la problématique du changement climatique. Toutefois, ces protocoles semblent assez précis car intégrant plusieurs échelles spatiales et temporelles et permettant la détection de variations floristiques fines.

La mise en place et la première lecture des dispositifs de suivi de la flore et des végétations des étangs arrières-littoraux sur les nouveaux sites dans le cadre du programme Sentinelles du climat sont prévues pour l'été 2018. Les dispositifs déjà en place pour le suivi des HIC et mutualisés avec le programme Sentinelles feront également l'objet d'une lecture en 2018 afin d'avoir des données synchrones sur ces habitats.

A l'inverse des lagunes, le protocole descriptif, consistant en la réalisation d'un inventaire floristique exhaustif sur l'emprise de la pièce d'eau couplé à un relevé symphytosociologique permettant de proportionner les différentes communautés, ne peut être mis en pratique dans le cas des étangs. En effet, la surface trop importante de ces habitats ne permet pas une analyse de terrain fiable dans le temps imparti. En revanche, une cartographie paysagère à partir de la photo-interprétation d'images aériennes couplée à des images lidar pour les niveaux topographiques pourrait s'avérer intéressante mais demande une réflexion approfondie et des tests sur le terrain.

Dans le cas des végétations d'étangs arrière-littoraux, les analyses et la modélisation des effets du changement climatique porteront sur plusieurs aspects. Tout d'abord, la vitesse de glissement des communautés végétales des ceintures externes vers les bas-niveaux topographiques, revenant à évaluer les différences de largeur occupée par chaque communauté. Ensuite, la régression des espèces strictement aquatiques et amphibies au profit d'espèces terrestres. Enfin, l'avancée des stades phénologiques et notamment de la floraison de certaines espèces voire du cortège.

6. Indicateurs biologiques des écosystèmes forestiers

6.1 Végétation de hetraies planitaires

Rédaction : Kévin Romeyer, Anthony Le Fouler, Grégory Caze

Les forêts à hêtre de plaine forment des habitats intéressants à suivre par rapport au changement climatique car particulièrement sensibles à des épisodes de sécheresses et de canicules plus intenses (LEBOURGEOIS *et al.*, 2005 ; PIEDALLU *et al.*, 2009 ; MARAGE & GEGOUT, 2010 ; BERTRAND, 2012). En effet, le hêtre et la flore qui l'accompagne trouvent leur optimum dans les régions plus froides et plus arrosées telles que le nord et l'est de la France et les massifs montagneux. Les hêtraies sont donc relictuelles de climat plus frais en Nouvelle-Aquitaine. Elles sont très localisées et se développent à la faveur de conditions atmosphériques plus fraîches sur des versants exposés au nord ou en fond de vallon. Ces forêts abritent une flore particulière d'affinités montagnardes avec de nombreuses espèces rares au niveau régional (*Carex digitata, Euphorbia hyberna*). Toutefois, très sensibles aux épisodes de sécheresse et de canicule répétés ou aux pratiques sylvicoles trop productivistes, les hêtraies de plaine ont fortement régressé ces dernières décennies. A l'avenir, elles pourraient disparaître ou se raréfier au profit de végétations forestières plus sèches et plus thermophiles à travers un remplacement d'espèces (BERTRAND, 2012).

6.1.1 Plan d'échantillonnage

- Sélection des sites

Actuellement, aucune végétation forestière ne fait l'objet de suivis par le CBN Sud-Atlantique. D'autre part, il n'existe pas de réseau de suivis fins des forêts à hêtre spécifiquement en Aquitaine, en dehors d'une veille en forêts publiques (domaniales ou communales) par l'Office National des Forêts. En 2016, un programme de recherche-action multi-partenarial (piloté par le laboratoire BIOGECO) sur la hêtraie relictuelle de la vallée du Ciron (Bernos-Beaulac, Gironde) a débuté, visant à mieux comprendre les caractéristiques écologiques d'établissement et de maintien de cette population originale de hêtre datée de 40 000 ans (LAFONTAINE *et al.*, 2014). Dans ce cadre, un suivi du peuplement forestier (croissance, phénologie, fructification) et des conditions météorologiques (humidité / température) ainsi qu'un suivi floristique et phytocoenotique seront réalisés. De même, une hêtraie du piémont pyrénéen à Ancé (Pyrénées-Atlantiques) fait l'objet d'un suivi depuis 1995 dans le cadre de RENECOFOR (REseau National de suivi des ECOsystèmes FORestiers) (ULRICH, 1995) qui compte 102 placettes.

Le programme Sentinelles du climat va donc permettre la mise en place de dispositifs et le développement du réseau de suivis à l'échelle régionale sur ces hêtraies relictuelles. Compte tenu de la fragmentation importante de ces forêts en Aquitaine et du temps imparti pour l'élaboration et la lecture de ce réseau, 10 placettes de suivis sont prévues dans des peuplements bien exprimés et assez étendus.

Si le hêtre est assez disséminé en Aquitaine (Fig. 93), il forme rarement des peuplements étendus et bien structurés. De tels peuplements ne se retrouvent qu'à la faveur de conditions locales favorables : pluviosité et/ou humidité atmosphérique importante.

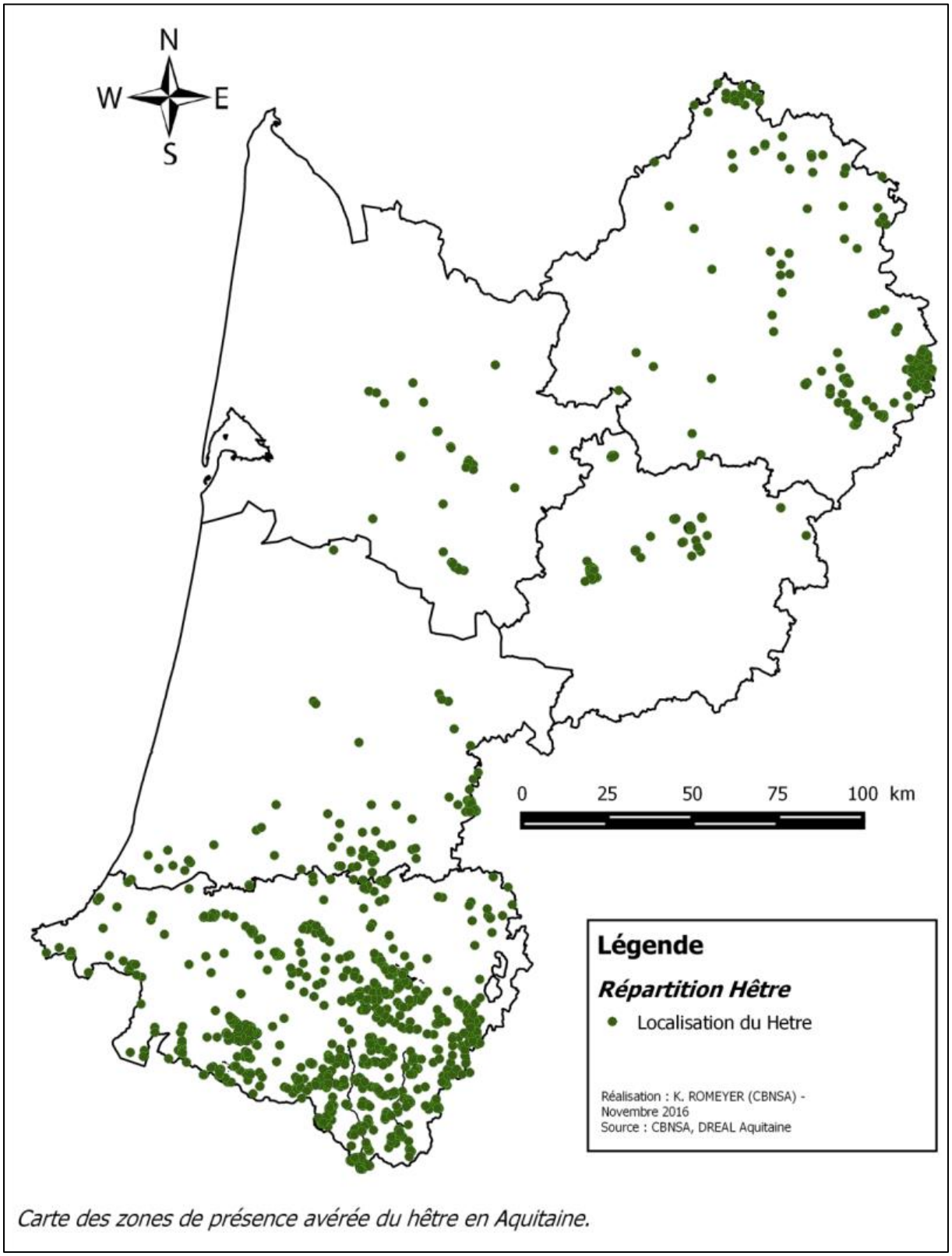


Fig. 93. Carte des zones de présence avérée du hêtre en Aquitaine.

L'identification des sites s'est donc appuyée essentiellement sur les zones de présence du hêtre (Fig. 93) via la base données OFSA et la connaissance de terrain des partenaires et gestionnaires. Ensuite, l'étude de la bibliographie (LAPRAZ, 1963 ; ROISIN, 1967 ; BESANÇON *et al.*, 1971 ; COMPS *et al.*, 1980a ; COMPS *et al.*, 1980b ; SAVOIE, 1982 ; BOTINEAU *et al.*, 1985 ; COMPS *et al.*, 1986 ; E SILVA, 2010 ; RENAUX *et al.*, 2015) a permis de connaître les variations floristiques des communautés ainsi que leur répartition respective. Ces 2 approches ont servis à dégager des secteurs d'intérêt (Fig. 94). La sélection des sites pour la mise en place de suivis s'opère selon les critères suivants :

- représentativité du territoire ;
- variabilité des communautés ;
- surface continue et homogène de peuplement forestier (minimum à définir);
- accessibilité du site (maîtrise foncière, droit d'accès et d'instrumentalisation).

Ensuite, l'utilisation d'indices d'état permet de sélectionner les habitats les plus favorables pour la mise en place d'un suivi à long terme. Ces indices sont les suivants :

- Structuration forestière, basée sur la présence et le recouvrement de différentes classes d'âge des essences forestières (adultes, jeunes arbres, arbustes, juvéniles) ;
- Maturité du peuplement, basée sur la présence du bois mort et de gros bois ;
- Occupation par les espèces typiques des communautés à hêtre ;
- Gestion homogène dans le temps et dans l'espace ;
- Niveau de perturbations : eutrophisation, dégradations par faune (affouissement, écorçage, abroutissement, etc.)

A la fin de l'année 2016, 5 sites sont clairement identifiés mais aucun n'a encore fait l'objet d'une mise en place de dispositif. Il s'agit des sites suivants :

- Vallée du Ciron à Bernos-Beaulac (33) ;
- Forêt de Roquefort (40) ;
- Bois de Cazères (40) ;
- Forêt de Borrèze (24) ;
- Forêt communale du Mas d'Agenais (47).

Ensuite, 3 sites dans le piémont pyrénéen et en Lot-et-Garonne ont été présélectionnés mais des prospections de terrain et des recherches sur leur statut foncier et leur gestion seront nécessaires pour assurer leur matérialisation :

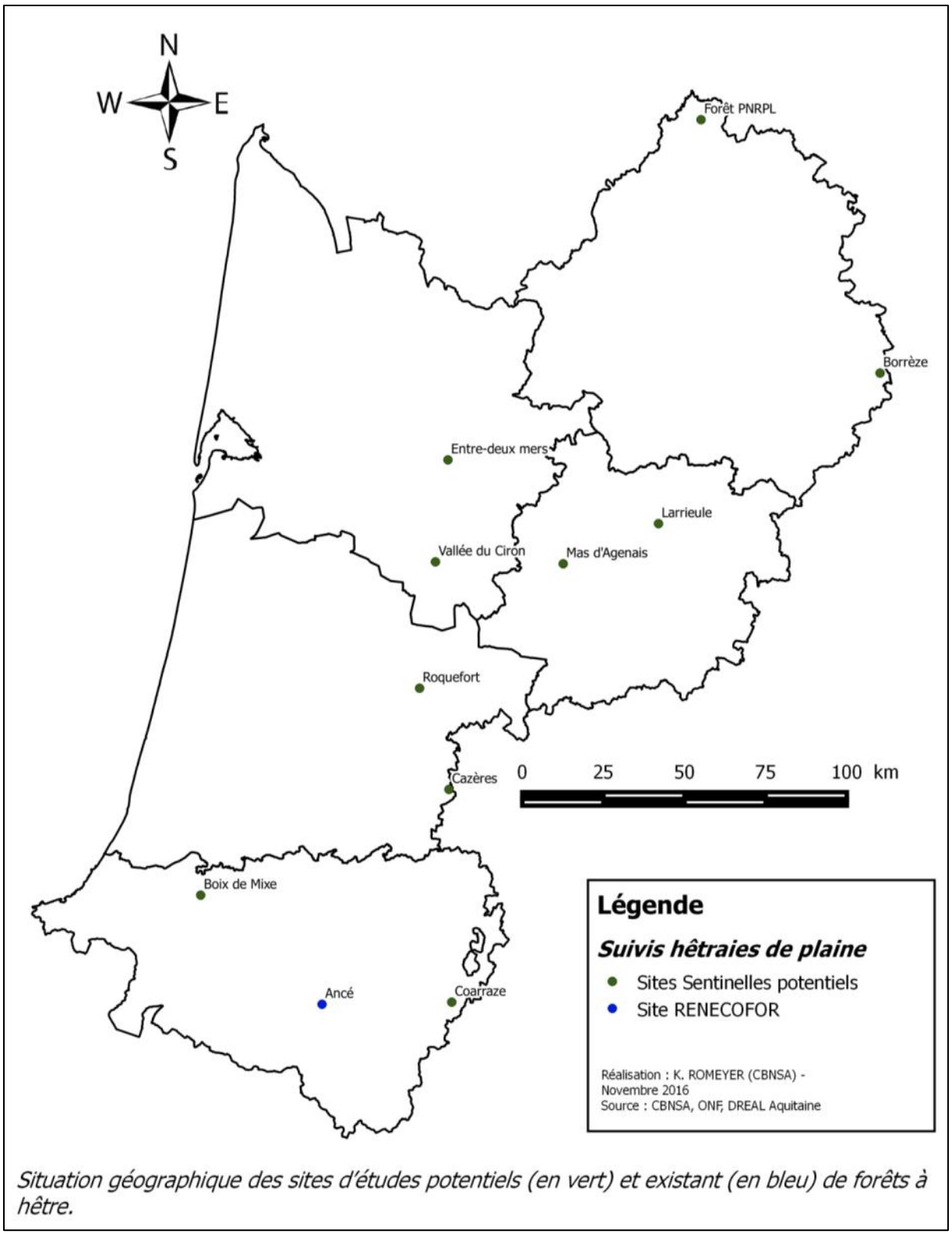
- Forêt de Coarraze (64) ;
- Bois de Mixe à Bidache (64) ;
- Forêt de Larrieule à Montastruc (47).

Enfin, il reste 2 sites à identifier parmi les secteurs suivants :

- Entre-deux mers en Gironde ;
- Nord de la Dordogne sur le territoire du PNR Périgord-Limousin.

Des prospections de terrain réalisées dans ces zones en 2017, dans le cadre de l'étude typologique des communautés forestières à hêtre du programme Sentinelles, permettra d'identifier les sites d'intérêt pour la mise en place de dispositifs.

- Description des sites choisis



Situation géographique des sites d'études potentiels (en vert) et existant (en bleu) de forêts à hêtre.

Fig. 94. Situation géographique des sites d'études potentiels de forêts à hêtre.

Les caractéristiques de chaque site de hêtraie étudié (commune, superficie, statut, propriétaire, structures de suivi) seront détaillées dans un futur rapport.

- Définition et positionnement des points d'échantillonnage

Le suivi des forêts à hêtre en lien avec les évolutions climatiques dans le cadre des Sentinelles du climat reprendra les mêmes principes d'échantillonnage que pour les suivis du réseau RENECOFOR (ULRICH, 1995), avec quelques ajustements. L'objectif est ici d'assurer la compatibilité des protocoles et des données collectées entre ces 2 programmes de suivis.

Ces forêts étant généralement homogènes au niveau topographique, c'est un système d'échelles emboîtées qui sera utiliser car permettant des analyses complémentaires et une vision représentative des sites du point de vue floristique et fonctionnelle :

- échelle du complexe forestier par une placette de 60m de côté.
- échelle de la communauté végétale par 4 bandes de 50m de long et 2m de large.

La surface de 3600m² d'une placette forestière semble être le meilleur compromis pour apprécier l'évolution structurelle, floristique et fonctionnelle sans pour autant être trop grande et empêcher l'observateur d'avoir une vision représentative de l'écosystème étudié.

Le positionnement d'une placette forestière est défini après visite d'un site et identification des zones où la communauté de hêtraie est bien représentée et estimée en bon état de conservation. Elle est placée de sorte à éviter les effets de lisières avec les communautés végétales adjacentes ou des zones perturbées (bords de chemin, talus routier). Le géoréférencement de la placette est également déterminé sur le terrain avec un GPS (GPS submétrique si possible) par les coordonnées de ses 4 sommets. Le niveau d'imprécision engendré par celui-ci est considéré comme acceptable compte-tenu de la grande taille de la placette forestière. Le temps de la lecture, celle-ci est matérialisée par des piquets temporaires aux 4 sommets éventuellement reliés par une rubalise.

L'aire minimale pour l'étude des communautés forestières étant estimée entre de 150 et 800m² selon les auteurs et le type de forêt, la surface totale de 400m² des bandes apparaît adéquate étant donné l'utilisation complémentaire des données collectées sur la placette forestière.

Le positionnement de ces 4 bandes se fait à l'intérieur de la placette dans une zone représentative et bien exprimée du sous-bois (Fig. 95). La disposition des bandes les unes par rapport aux autres n'est pas encore calée actuellement. Leur géoréférencement est déterminé sur le terrain par les coordonnées de ses 4 sommets. Dans l'objectif d'un suivi à moyen/long terme (plusieurs décennies) et afin d'assurer la relocalisation précise et la pérennité du dispositif, chaque bande est matérialisée aux extrémités par 2 tiges métalliques (acier ou inox) enterrées et affleurant à la surface du sol. Un détecteur de champs magnétiques est nécessaire pour retrouver la position des tiges. Lorsque cela est possible, des mesures de distances et de cap à la boussole sont notées par rapport à des repères fixes qui ne risquent pas de bouger avant la prochaine lecture. Le temps de la lecture, les bandes sont matérialisées par des piquets temporaires aux 4 sommets et reliés par une corde ou rubalise.

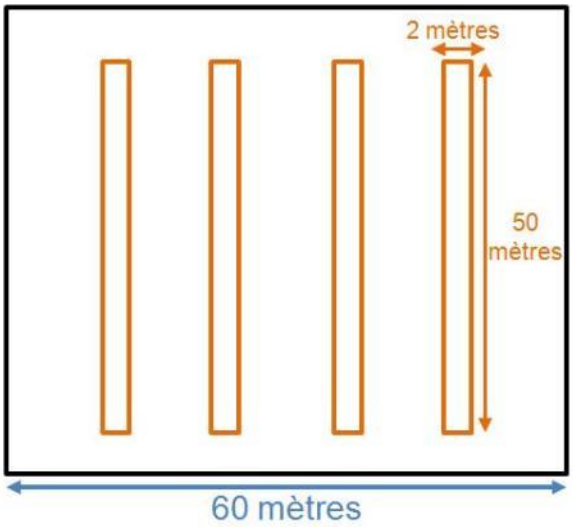


Fig. 95. Schéma d'organisation théorique des bandes au sein de la placette forestière de hêtraie.

La durée de mise en place et de relocalisation des bandes et de la placette forestière sur un site est estimée autour de 1h. La durée de lecture des 4 bandes et de la placette n'est pas limitée et peut être estimée entre 2 et 3h.

Les caractéristiques de chaque placette forestière (dénomination, surface, coordonnées GPS) ainsi que les cartes de localisation et d'organisation pour chacune d'elle seront détaillées dans un futur rapport.

- Méthodes de relevés et détermination des espèces

Le protocole de suivi des hêtraies n'est pas clairement défini mais devrait se baser sur celui de RENECOFOR (ULRICH, 1995), largement éprouvé et avec lequel il apparaît nécessaire d'avoir une compatibilité pour permettre des comparaisons avec d'autres placettes de ce réseau.

A l'échelle de la placette forestière, le but est de suivre l'évolution de la structure et de la croissance du peuplement, de la composition floristique, de la régénération du hêtre ainsi que des conditions pédoclimatiques. Pour mener ce travail, c'est la phytosociologie sigmatiste qui est retenue, associée à des mesures dendrométriques, pédologiques et de conditions abiotiques (sonde humidité/température et sonde édaphique).

Le relevé phytosociologique consiste en la réalisation de relevés floristiques exhaustifs effectués sur une surface de végétation physionomiquement, écologiquement (exposition, pente, substrat, luminosité, etc.) et floristiquement la plus homogène possible. La surface optimale ou aire minimale est un compromis entre une surface suffisamment homogène et une surface représentative du type de milieu. Des coefficients dits d'abondance-dominance de Braun-Blanquet sont attribués à chaque espèce pour indiquer son recouvrement au sein de chaque strate de la placette. Enfin, la date, l'observateur, la localisation (point GPS, lieu-dit), les caractères généraux de la station (pente, exposition, altitude, topographie, substrat, etc.) et de la formation végétale inventoriée (trophie, physionomie, etc.), accompagnés d'une description brève (ex : hêtraie-chênaie acidiphile bien structurée à sous-bois épars) sont renseignés (voir bordereau en Annexe 4).

Les mesures dendrométriques s'effectueront sur les variables de hauteur dominante des différentes strates, de circonférence et de surface terrière. Les protocoles pour la collecte de

ces données seront détaillés dans un prochain rapport, après que des tests sur le terrain soient réalisés avec l'appui de services compétents. Il en va de même pour le matériel requis.

Un carottage du sol à la tarière est prévu afin de mesurer la profondeur des différents horizons, leur texture et leur granulométrie ; et également de déterminer le type d'humus et le taux de matière organique. Là encore, le protocole sera détaillé ultérieurement, après réalisation de tests sur le terrain et avec l'appui de services compétents.

A l'échelle des bandes, le but est de suivre l'évolution de la structure et de la composition de la communauté de sous-bois à un niveau fin de précision. Pour cela, un relevé exhaustif de la flore est réalisé en présence/absence au sein de chaque bande avec notation de la hauteur moyenne et du recouvrement des différentes strates présentes. En plus, un relevé complémentaire est réalisé, également en présence/absence, selon la méthode des points-contacts au centre de chaque bande (Fig. 96). Cette méthode consiste à pointer tous les 25cm, à l'aide d'une tige, les espèces présentes le long d'un transect de 50m matérialisé par un décamètre. Cela présente l'avantage de pouvoir s'abstenir d'une estimation des coefficients de recouvrement, une variable sujette au biais d'interprétation des données engendré par la diversité des observateurs et empêchant la détection de changements subtils dans la composition floristique du tapis végétal étudié. En effet, cette méthode est largement éprouvée et utilisée dans de nombreux travaux universitaires de suivi de végétation; de plus elle semble particulièrement pertinente pour estimer des recouvrements d'espèces (GODINEZ-ALVAREZ *et al.*, 2009).

Ainsi, 200 points-contacts sont effectués sur chacune des bandes soit 800 sur l'ensemble.

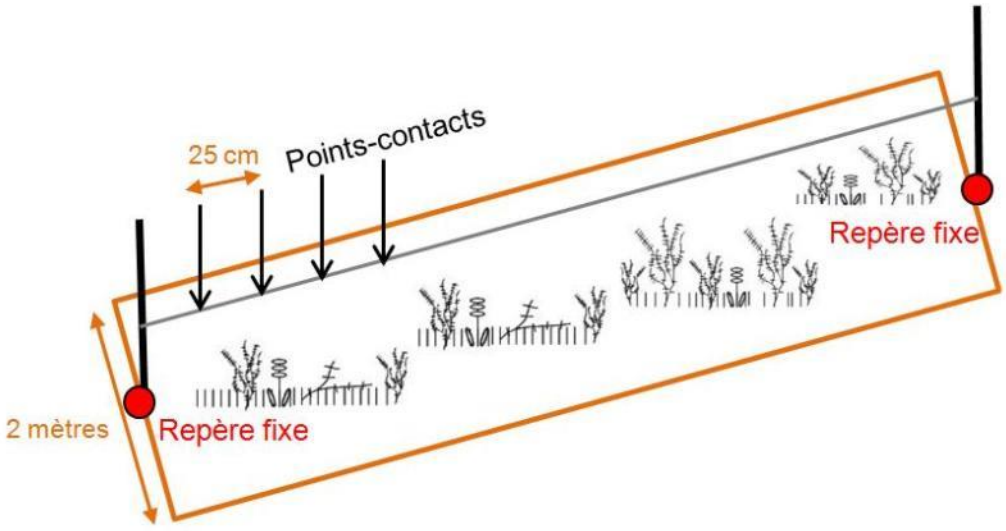


Fig. 96. Schéma illustrant la méthode des points-contacts le long d'une bande

La détermination des espèces végétales non-identifiées peut s'effectuer directement sur le terrain à l'aide d'une flore et d'une loupe (x10 minimum). Dans le cas de critères délicats à appréhender *in situ*, l'identification se fera ultérieurement en laboratoire, avec un matériel adéquat (loupe binoculaire, microscope, etc.), sur des échantillons prélevés hors de la zone d'étude. Concernant les espèces rares ou protégées, la détermination devra se faire autant que possible sur photos ou *in situ* sans prélèvement.

Pour l'étude des forêts à hêtre en Aquitaine, le champ d'investigation taxonomique concerne les spermatophytes, ptéridophytes et bryophytes, les lichens sont exclus car trop complexes à appréhender. Le référentiel taxonomique suivi est la version la plus récente de TaxRef (actuellement version 9, (GARGOMINY *et al.*, 2015). Les flores utilisées sont diverses : Flora Gallica (TISON *et al.*, 2014a), Flore de Dordogne (BEDE *et al.*, 2014), Flore du Pays Basque et des régions limitrophes (AIZPURU *et al.*, 1999), Flore forestière française Tomes 1–3 (RAMEAU *et al.*, 1989 ; RAMEAU *et al.*, 1993 ; RAMEAU *et al.*, 2008), Flore descriptive et illustrée de la France, de la Corse et des contrées limitrophes (Tomes 1 à 3) (COSTE, 1901 ; COSTE & FLAHAULT, 1903 ; COSTE & FLAHAULT, 1906), Les fougères et plantes alliées de France et d'Europe occidentale (PRELLI & BOUDRIE, 2001) et Mosses and liverworts of Britain and Ireland (ATHERTON *et al.*, 2010).

Pour la mise en place et la lecture d'une placette de hêtraie, le matériel requis est provisoirement le suivant :

- Tiges en métal (acier ou inox) pour les 4 bandes (2 par bande) ;
- Appareil GPS (GPS submétrique si possible) ;
- Piquets fins en bois (8 minimum) ;
- Corde tressée ou rubalise (6 x 100m minimum) ;
- Détecteur de champs magnétiques ;
- Marteau ;
- Tarière à têtes pour sol pierreux et pour sol mélangé ;
- Décamètre (50m) ;
- Boussole ;
- Dendromètre ;
- Perche télescopique 8m ;
- Appareil photo.

• Période optimale de suivi

Les forêts à hêtre d'Aquitaine regroupent différentes communautés dont les optimums phénologiques divergent quelques peu en fonction du substrat, de l'exposition et du climat. Ainsi, le sous-bois des hêtraies sèches sur calcaire connaîtra son optimum de développement entre fin avril et fin juin ; tandis que cela sera plutôt entre fin mai et fin juillet pour les hêtraies sur sol acide et sous climat pluvieux. Afin de noter et pouvoir identifier le maximum d'espèces, les inventaires et suivis doivent s'effectuer durant la période adaptée comme l'atteste diverses études (BESANÇON *et al.*, 1971 ; COMPS *et al.*, 1980a ; COMPS *et al.*, 1980b).

• Nombre de campagnes de relevés

Une seule campagne de relevés, réalisée lors de la période optimale du type de forêt, est envisagée pour chaque année de suivi. En effet, la grande majorité des espèces composant ces forêts étant observables lors de la période optimale, la réalisation de plusieurs campagnes n'offre qu'un intérêt limité.

Les végétations forestières étant à inertie forte, elles sont par définition stables sans perturbations anthropiques (coupe, débroussaillement du sous-bois) ou aléas climatiques extrêmes (tempête, incendie). Dans le cas du changement climatique avec une modification de conditions hydriques (pluviosité, humidité atmosphérique) et de température (canicule),

elles peuvent pourtant être particulièrement sensibles avec notamment des dépérissements et l'apparition d'une flore plus héliophile et opportuniste. Ainsi, le délai entre les 2 premières campagnes de suivis est fixé à 3 ans (2017 et 2020). Ensuite, il serait intéressant de calibrer le suivi de ce réseau de hêtraies sur les campagnes de suivis RENECOFOR soit tous les 5 ans à partir de 2020 ; cela permettra des lectures synchrones et donc des comparaisons à plus large échelle. Les impacts du changement climatique sur ces habitats intervenant à une échelle de temps assez large (MARAGE & GEGOUT, 2010 ; BERTRAND, 2012), des suivis trop rapprochés ont peu d'intérêt.

- Fiches de relevés

Pour le suivi des forêts, une fiche de renseignement par site sera conçue. Elle reprendra les différentes informations à renseigner :

- Métadonnées et informations générales sur la placette
- Localisation et caractéristiques des bandes
- Relevés floristiques et informations physionomiques par bande
- Variables descriptives de structure (hauteur, circonférence, surface terrière)
- Relevés en points-contacts par bande

6.1.2 Discussion et perspectives de suivi

En 2016, peu de temps était accordé à l'identification de sites et à une réflexion poussée sur les protocoles de suivi à mettre en place.

L'année 2017 servira à la mise en place et la première lecture des dispositifs de suivi de la flore et des végétations de hêtraies de plaine sur une majorité de sites dans le cadre du programme Sentinelles du climat. De plus, elle représentera la phase de test des protocoles de suivis explicités plus haut pour voir s'ils sont adaptés pour répondre à la problématique des effets du changement climatique sur les hêtraies. Des compléments ou modifications pourront ainsi être réalisés en fonction des retours d'expérience de terrain et d'analyses exploratoires.

Cette année 2017 sera également l'occasion de prospecter les différentes communautés forestières à hêtre et cibler les zones d'intérêt. Ces prospections s'inscrivent dans le cadre d'une étude typologique des hêtraies, menée par le CBN Sud–Atlantique au cours du programme Sentinelles, visant une meilleure connaissance de la flore et de l'écologie de ces communautés. De plus, cette étude offrira des données complémentaires aux suivis sur placettes fixes à travers un échantillonnage important et représentatif de la répartition et de la variabilité des communautés.

D'autre part, l'existence d'un réseau de suivi de landes et tourbières en Aquitaine développé dans le cadre d'autres programmes et par d'autres structures (Natura 2000, PNR Landes de Gascogne, Conseil Départemental des Landes, ONF, CEN Aquitaine, etc.) forme un appui intéressant en termes historique. En effet, l'intégration des données floristiques acquises à travers ce réseau de suivis pour des analyses et modélisation apporterait une robustesse plus importante aux résultats. Cette démarche devra toutefois être approfondie par rapport à la compatibilité des protocoles, et discutée avec les gestionnaires des suivis.

Dans le cas des végétations forestières à hêtre, les analyses statistiques et la modélisation des effets du changement climatique porteront sur plusieurs aspects. Tout d'abord, le remplacement d'espèces d'affinités montagnardes par des espèces plus thermophiles et d'ambiances moins fraîches. Ensuite, les difficultés de régénération, de développement et de reproduction des espèces sensibles, notamment du hêtre, pourront être quantifiées. Enfin, le décalage des stades phénologiques, notamment pour le hêtre, pourra être évalué.

7. Indicateurs biologiques des écosystèmes montagnards

7.1 Végétations de montagne

Rédaction : Kévin Romeyer, Anthony Le Fouler, Grégory Caze

Les végétations de montagnes en France pourraient être impactées par les évolutions climatiques attendues comme l'atteste de très nombreuses études (GRUBER, 1991 ; THEURILLAT *et al.*, 1998 ; THEURILLAT & GUISAN, 2001 ; PIEDALLU *et al.*, 2009 ; VITASSE, 2009 ; LENOIR & GEGOUT, 2010 ; ENGLER *et al.*, 2011). Dans ce contexte, la mise en place d'un suivi floristique au sein d'un habitat montagnard particulièrement sensible aux modifications climatiques apparaît incontournable.

7.1.1 habitats potentiels

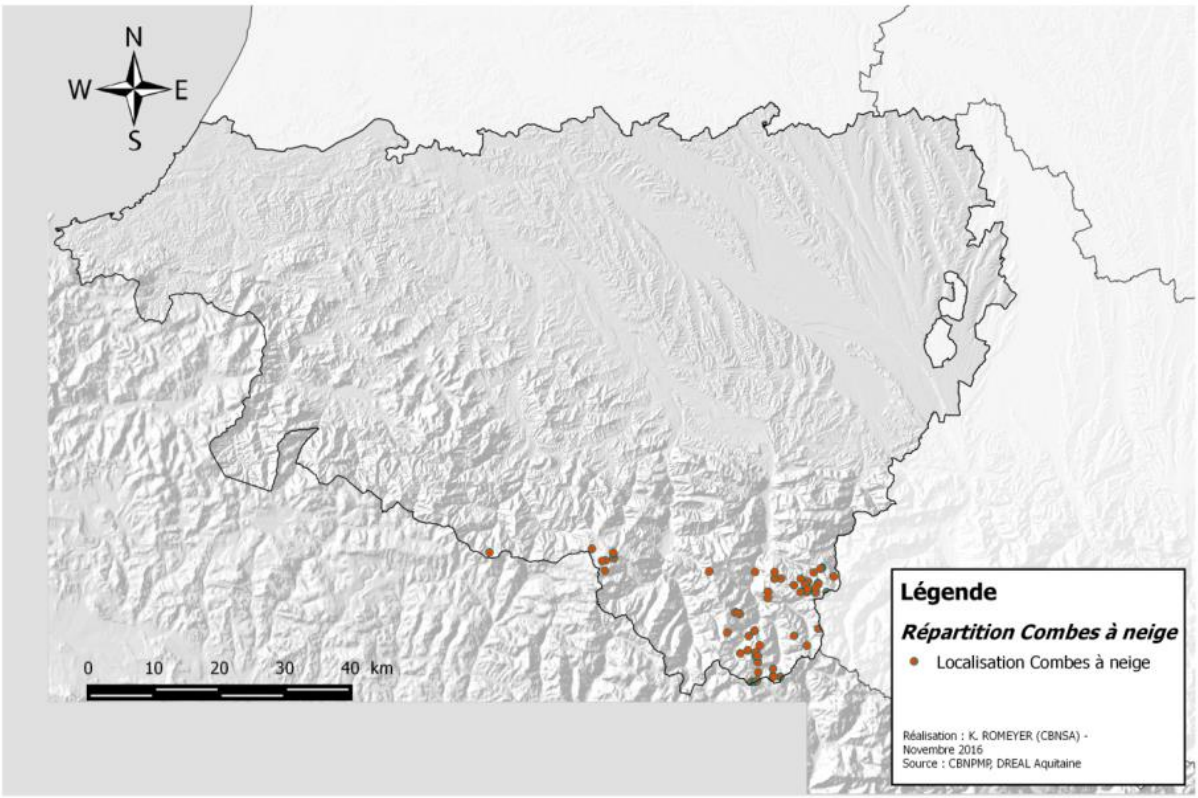
Actuellement, le choix n'est pas arrêté et les réflexions et orientations se portent sur 3 habitats potentiels détaillés ci-après.

- les végétations de combes à neige

Les végétations de combes à neige sont intéressantes à suivre par rapport au changement climatique car liées à la couverture neigeuse hivernale et donc particulièrement sensibles à l'élévation des températures en altitude. Du fait de leur isolement en haute montagne et l'absence de pressions anthropiques directes, le facteur climatique est donc facile à isoler ici. En Nouvelle-Aquitaine, ces végétations sont relativement rares et localisées mais abritent une flore toute à fait originale avec de nombreuses espèces rares au niveau régional et même national (*Salix herbacea, Soldanella alpina, Salix reticulata*).

Dans le cadre de l'Observatoire Pyrénéen des Changements Climatiques (OPCC), plusieurs sites (14) de végétations de combes à neige sur substrats siliceux font l'objet de suivis par le CBN des Pyrénées et de Midi-Pyrénées et ses partenaires depuis 2010. D'autre part, ces végétations vont également être suivies dans le massif des Alpes françaises ; l'avantage d'un renforcement des suivis de celles-ci à travers le programme Sentinelles serait la mutualisation des dispositifs et la possibilité d'exploitation d'un lot de données avec un historique important. Cela permettrait des analyses et comparaisons à l'échelle de la chaîne pyrénéenne voire nationale. De plus, la possibilité d'étudier ces végétations sur substrats calcaires en Pyrénées-Atlantiques formerait un complément intéressant en termes écologiques et floristiques.

Si l'intérêt de suivre un tel habitat est indéniable, il existe tout de même des inconvénients. Tout d'abord, l'accessibilité des sites est rendue difficile compte-tenu du terrain accidenté en haute montagne. Ensuite, la période optimale pour la réalisation de suivis est assez courte et dépendante des conditions météorologiques et d'enneigement de la saison. Enfin, le nombre de sites favorables en Pyrénées-Atlantiques est relativement limité (Fig. 97).



Situation géographique des zones potentielles de suivi des végétations de combes à neige en Pyrénées-Atlantiques (à partir de 4 espèces caractéristiques).

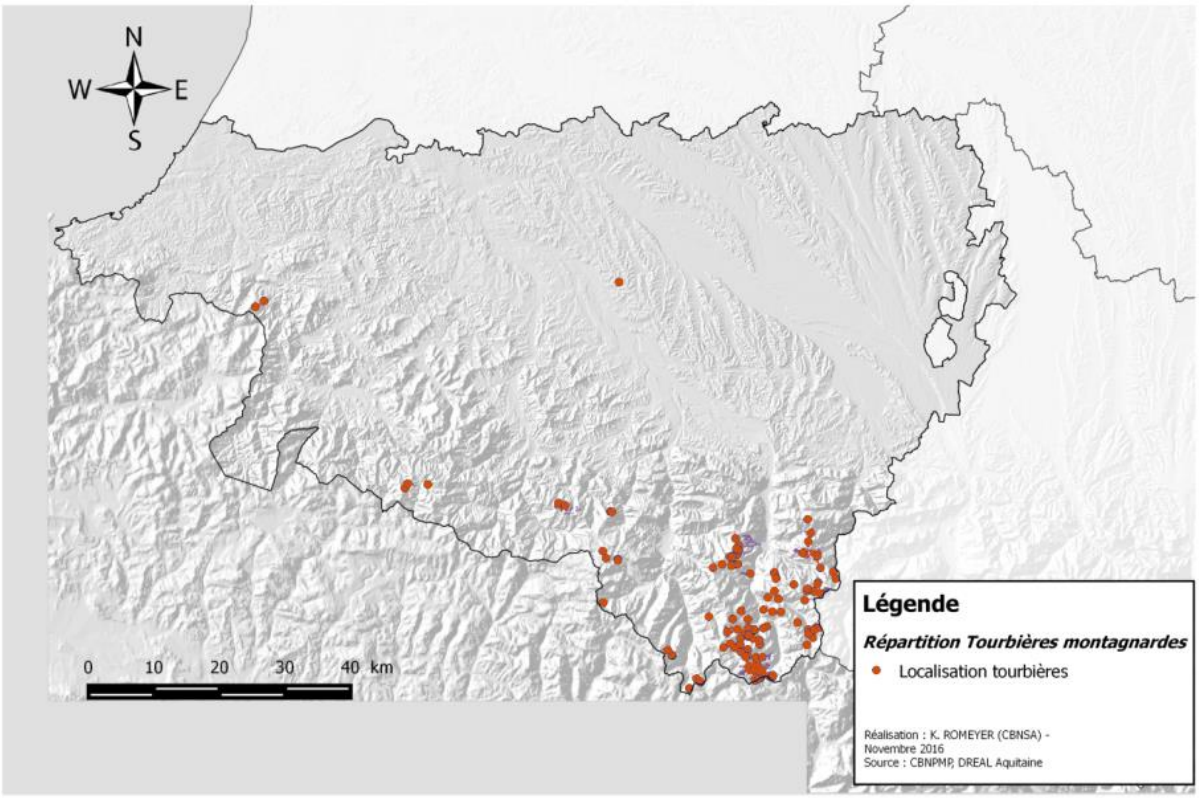
Fig. 97. Situation géographique des zones potentielles de suivi des végétations de combes à neige en Pyrénées-Atlantiques.

- Les végétations de tourbières montagnardes

Les tourbières et bas-marais de montagne forment également des habitats intéressants à suivre par rapport au changement climatique car particulièrement sensibles à des épisodes de sécheresses et de canicules plus intenses. En effet, les contraintes liées aux eaux acides et pauvres ainsi qu'à l'accumulation de matière organique sans décomposition permettent le développement d'une flore rare d'affinités boréales (*Swertia perennis*, *Vaccinium uliginosum, Pinguicula grandiflora*) apparaissant menacée dans un tel contexte.

Dans le cadre de l'OPCC2 et du POCTEFA 2014-2020 (Programme opérationnel de coopération territoriale Espagne, France, Andorre), les tourbières de la chaîne pyrénéenne font l'objet d'un suivi par rapport aux impacts du changement climatique. Un renforcement des suivis de tourbières en montagne à travers le programme Sentinelles présenterait l'avantage d'une mutualisation des dispositifs et des données collectées entre programmes. En plus, cela apparaît complémentaire avec le réseau de suivis développé en plaine sur ces mêmes habitats. Ces végétations originales sont assez bien représentées dans le département des Pyrénées-Atlantiques (Fig. 98).

La mise en place de suivis de ces végétations à fort intérêt patrimonial se heurte toutefois à un inconvénient majeur en Pyrénées-Atlantiques : la difficulté de trouver des sites en bon état de conservation et non ou peu pâturés (L. Olicard – CBNPMP, com. pers.). Cela représente une condition essentielle afin de mesurer réellement les impacts du changement climatique et non ceux du pâturage.



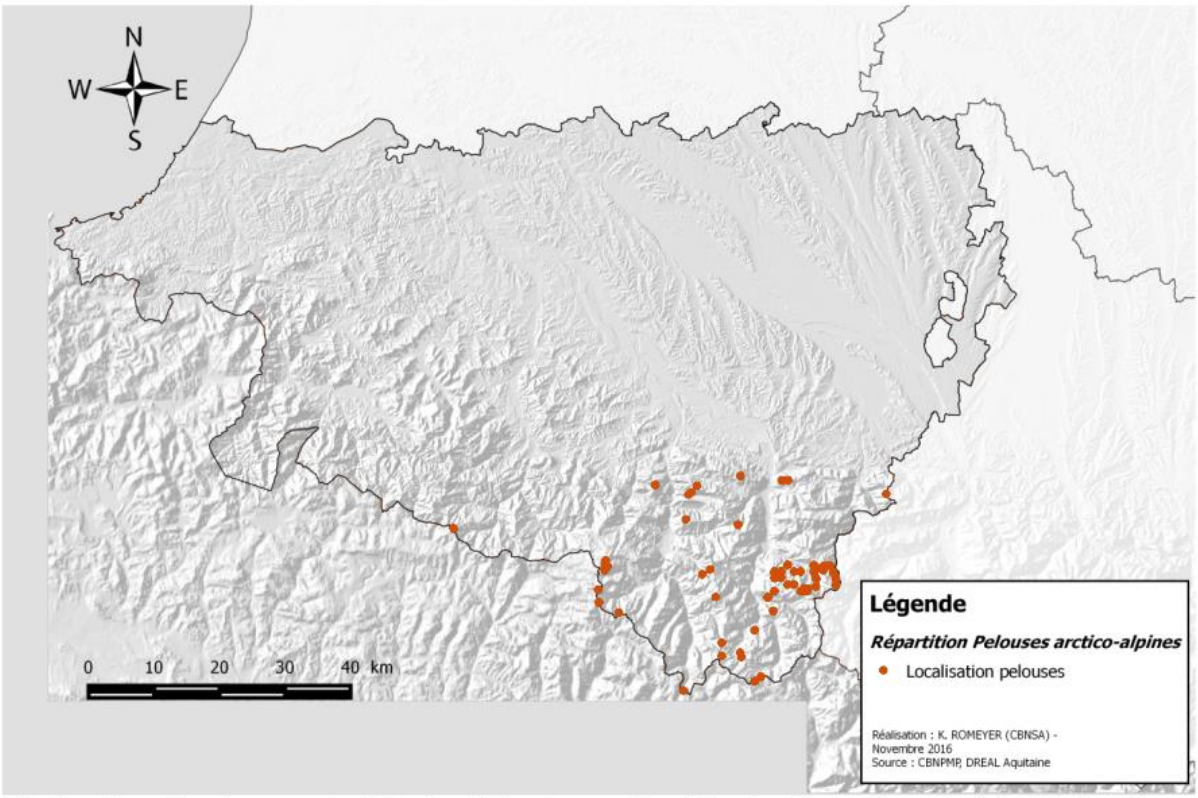
Situation géographique des zones potentielles de suivi des tourbières montagnardes en Pyrénées-Atlantiques (à partir de 3 espèces caractéristiques).

Fig. 98. Situation géographique des zones potentielles de suivi de tourbières de montagne en Pyrénées-Atlantiques.

- **Les pelouses arctico-alpines de crêtes ventées**

Comme pour les végétations de combes à neige, les pelouses arctico-alpines de crêtes ventées sont intéressantes à suivre du fait de l'absence de pressions anthropiques directes, qui permet l'isolement du facteur climatique. La flore qui compose ces pelouses est adaptée à des conditions extrêmes de températures (écarts très important entre été et hiver et le jour et la nuit) et de vent ; cela en fait une flore très originale et localisée (*Leontodopium nivale*, *Oxytropis neglecta*).

Actuellement, il n'existe aucun réseau de suivi pour ce type d'habitat. Les sites favorables (Fig. 99) seraient potentiellement assez nombreux en Pyrénées-Atlantiques (L. Olicard – CBNPMP, com. pers.). Toutefois, leur accessibilité est là encore rendue difficile compte-tenu du terrain accidenté en haute montagne. De plus, la période optimale pour la réalisation de suivis est assez courte et dépendante des conditions météorologiques.



Situation géographique des zones potentielles de suivi des pelouses arctico-alpines des crêtes ventées en Pyrénées-Atlantiques (à partir de 3 espèces caractéristiques).

Fig. 99. Situation géographique des zones potentielles de suivi de pelouses arctico-alpines de crêtes ventées en Pyrénées-Atlantiques.

7.1.2 Discussion et perspectives de suivi

En 2016, très peu de temps était accordé à l'identification d'habitats montagnards à suivre au niveau floristique et phytocoenotique.

La mise en place et la première lecture des dispositifs de suivi de la flore et des végétations montagnardes dans le cadre du programme Sentinelles du climat s'effectueront en fonction des contraintes et planning de partenaires privilégiés, si possible dès 2017.

La définition des méthodologies de suivi pour ces végétations s'opèrera en concertation avec les structures concernées et sera explicitée ultérieurement.

D'autre part, les différents stades phénologiques, et notamment la floraison, des espèces végétales pouvant être fortement influencées par les conditions météorologiques d'une année sur l'autre (MENZEL & FABIAN, 1999 ; SHERRY *et al.*, 2007 ; BERTIN, 2008 ; VITASSE, 2009 ; VITASSE *et al.*, 2011), un suivi de la phénologie et de l'abondance de certaines espèces de pelouses et landes alpines est envisagé.

La mise en place d'un tel suivi répond à plusieurs objectifs ; le premier serait d'apporter des éléments explicatifs des variations de cortèges de Lépidoptères et de bourdons montagnards, en plus des conditions météorologiques directes, et ainsi mieux contextualiser les données de suivi de ces groupes taxonomiques. Le second intérêt porte sur la connaissance plus fine de l'autécologie des espèces végétales choisies, en lien avec le changement climatique.

L'année 2017 servira à l'élaboration d'une liste d'espèces végétales intéressantes à suivre ainsi qu'à la définition de protocoles simples permettant de récolter les données sur leur phénologie et leur abondance. Ces données pourront alors être reliées aux données de suivi des Lépidoptères ainsi qu'aux données météorologiques enregistrées localement.

7.2 Parnassius apollo et cortège lépidoptérique associé

Rédaction : Mathieu Molières

Des études sur des populations d'Apollon, espèce emblématique des montagnes, menées en France (Alpes, Massif central) et en Espagne (Sierra de Guadarrama) notamment ont mis en évidence une évolution de certaines populations (régression, disparition). Bien que le lien direct ne puisse être clairement mis en évidence, l'impact des changements climatiques sur une espèce strictement inféodée aux milieux montagnards et sub-alpins pourrait être une des causes majeures de ces variations.

L'objectif est donc de suivre l'évolution de plusieurs populations d'Apollon et des cortèges de lépidoptères pyrénéens associés afin d'évaluer la dynamique de cette espèce, et des cortèges associés, sur les contreforts ouest de la chaîne pyrénéenne où très peu d'études ont été menées.

7.2.1 Plan d'échantillonnage

- Sélection des sites

Un total de 5 sites à suivre avait initialement été défini. Compte-tenu des connaissances actuellement en notre possession, les secteurs favorables à *Parnassius apollo* en Aquitaine se répartissent entre la vallée d'Aspe et la vallée d'Ossau, dans le département des Pyrénées-Atlantiques.

Ce sont donc au cœur de ces deux vallées que les prospections ont été organisées sur la base de données bibliographiques issues principalement de la plate-forme associative « Faune Aquitaine » (faune-aquitaine.org) et amendées par des données ponctuelles de naturalistes.

Une demande de données a été réalisée auprès du PNP des Pyrénées. Pour l'heure aucune donnée n'a été encore transmise.

Au cours de l'été 2016 plusieurs secteurs ont été prospectés (5 en vallée d'Aspe et 6 en vallée d'Ossau) en prenant en compte différents critères :

- présence d'une population de *Parnassius apollo* (observation simultanée d'au moins trois individus)

- site présentant une superficie minimale d'habitats favorables (pelouses caillouteuses thermophiles exposées ouest, sud-ouest ou sud avec présence de plantes hôtes (*Sedum spp* .) et plantes nectarifères (*Cirsium spp., Carduus spp., …*), l'objectif étant de mettre en place un ou plusieurs transects de 200 mètres linéaires,

- accessibilité de la zone (moins d'une heure de marche pour accéder au site),

- obtenir un échantillonnage de sites variés en altitude et en contexte géographique (piémont, cœur de chaîne, fond de vallée, adret…),

Le résultat des prospections est présenté sur la carte (Fig. 100) **et** dans le tableau suivant (Tab. XLII**)**.

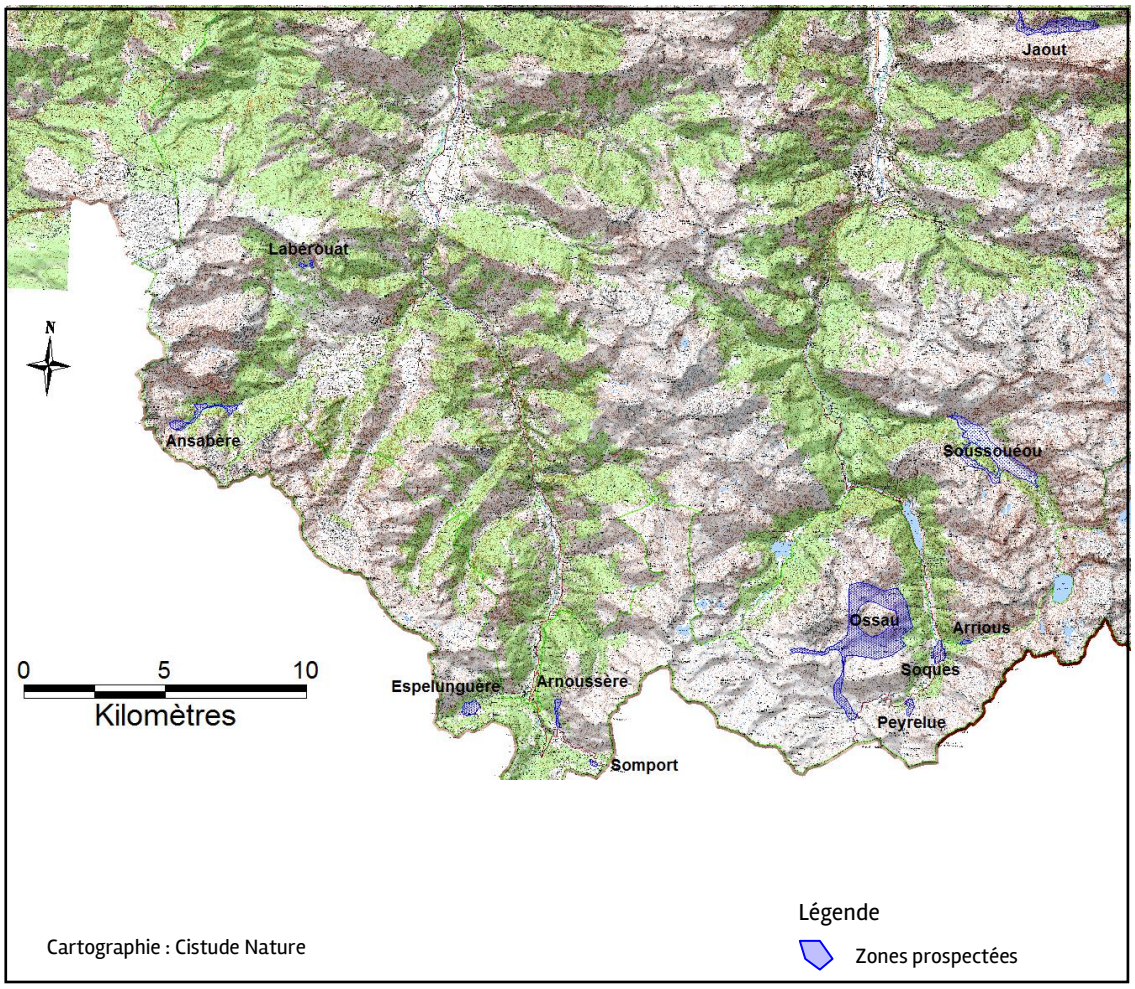


Fig. 100. Situation géographique des zones prospectées

Ces prospections ont eu lieu entre le 2 et le 25 août 2016[4], période théorique des pics de vol de *P. apollo*. Chaque secteur a fait l'objet d'au moins un passage.

[4] Une prospection précoce le 27 juin a été réalisée sur le site de Jaout

Tab. XLII. Critères de sélection des sites

Nom du site	Vallée	Commune	Date(s) de prospections	Source	Altitude moyenne	Critères +	Critères -
Labérouat	Aspe	Lescun	23/08/16	Faune Aquitaine	1450m	Plantes nectarifères nombreuses, zone très accessible.	Aucune observation d'Apollon, superficie d'habitats favorables réduite, peu de plantes hôtes,
Ansabère	Aspe	Lescun	23/08/16	Donnée naturaliste	De 1200m à 1600m	Superficie d'habitats favorables satisfaisante, présence de plantes hôtes et nectarifères, un secteur relativement accessible (1250m).	Aucune observation d'Apollon.
Espélunguère	Aspe	Borce	25/08/16	Faune Aquitaine	1400m	Superficie d'habitats favorables satisfaisante, présence de plantes hôtes et nectarifères, zone accessible.	Aucune observation d'Apollon.
Arnoussère	Aspe	Urdos	22/08/16	Faune Aquitaine	De 1450m à 1550m	Superficie d'habitats favorables satisfaisante, présence de plantes hôtes et nectarifères, zone relativement accessible.	Observation d'un seul individu
Somport	Aspe	Urdos	22/08/16	Faune Aquitaine	1600m	Zone très accessible	Aucune observation d'Apollon, superficie d'habitats favorables réduite, peu de plantes hôtes et nectarifères,
Jaout (Lagouare)	Ossau	Louvie-Juzon	27/06/16 02/08/16 16/08/16	Faune Aquitaine	1450m	Observation d'une dizaine d'Apollons, superficie d'habitats favorables satisfaisante, présence de plantes hôtes et nectarifères, zone très accessible.	-
Soussouéou	Ossau	Laruns	08/08/16	Faune Aquitaine + données naturalistes	De 1400m à 1800m	Observation d'une dizaine d'Apollons, superficie d'habitats favorables importante (2 sites à 1400m et 1800m), présence de plantes hôtes et nectarifères.	Site difficilement accessible (de 2à 3h de marche)
Arrious	Ossau	Laruns	02/08/16	Faune Aquitaine	De 1600m à 1750m	Observation de 5 Apollons, superficie d'habitats favorables satisfaisante, présence de plantes hôtes et nectarifères, zone relativement accessible.	-
Soques	Ossau	Laruns	03/08/16	Faune Aquitaine	1400m	Superficie d'habitats favorables satisfaisante, présence de plantes hôtes et nectarifères, zone très accessible.	Observation d'un seul individu
Peyrelue	Ossau	Laruns	03/08/16	Faune Aquitaine	De 1650m à 1800m	Superficie d'habitats favorables satisfaisante, présence de plantes hôtes et nectarifères, zone accessible.	Observation de 2 Apollons
Ossau (Pombie)	Ossau	Laruns	03/08/16	Faune Aquitaine + données naturalistes	De 1700m à 2000m	Observations de 5 Apollons, superficie d'habitats favorables importante, présence de plantes hôtes et nectarifères.	Zone moyennement accessible (1 heure de marche)

- Description des sites choisis

Suite à cette première phase de prospection, 3 sites présentant l'ensemble des critères requis ont été validés. Ils se situent tous en Vallée d'Ossau. Trois autres sites (2 en vallée d'Ossau et 1 en vallée d'Aspe) dont les caractéristiques sont relativement favorables ont été conservés en « réserve » (Fig. 101, Tab. XLIII).

L'objectif des 5 sites initiaux n'ayant pu être atteint en 2016, des prospections complémentaires auront lieu en 2017 et seront axées principalement en vallée d'Aspe.

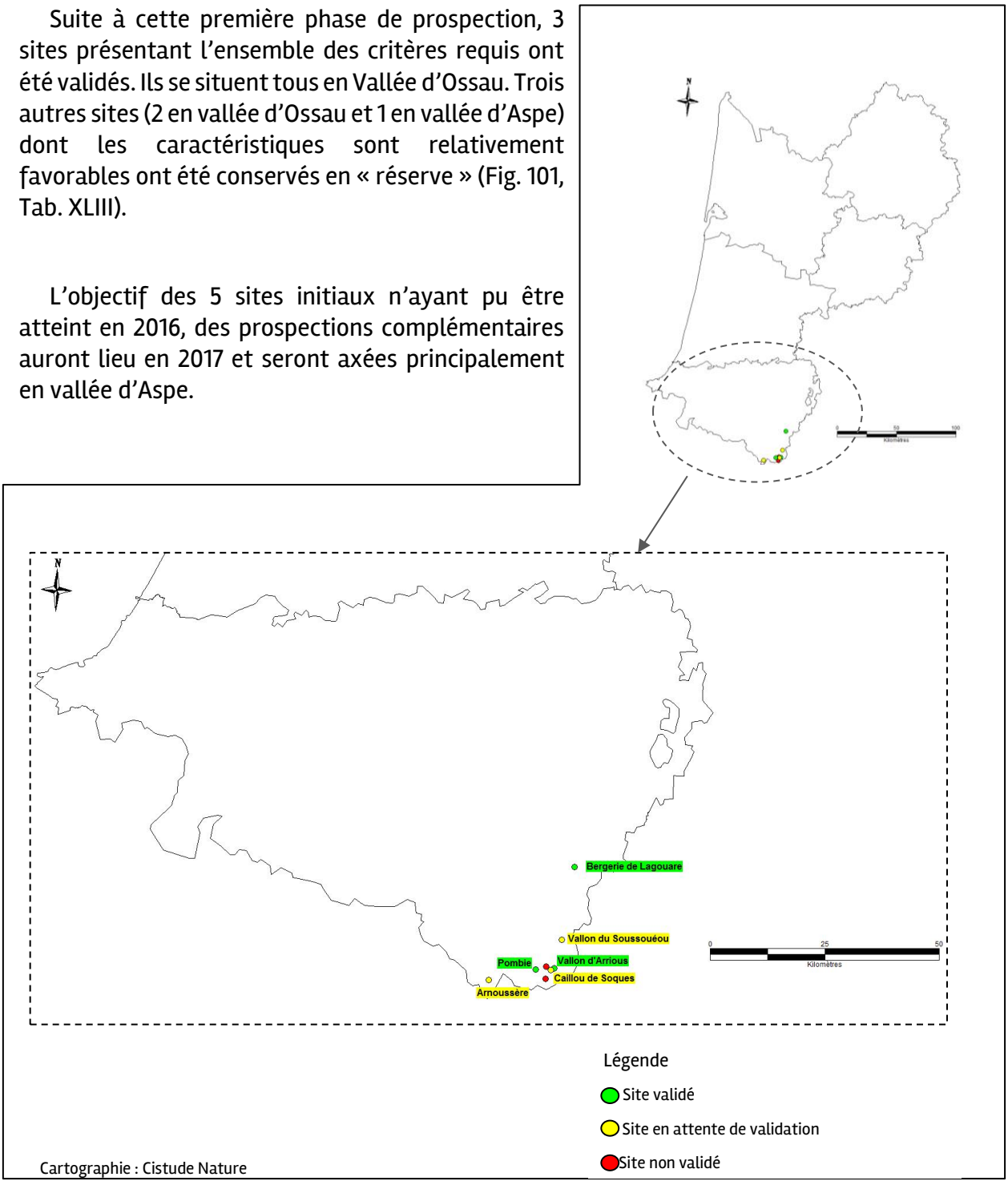
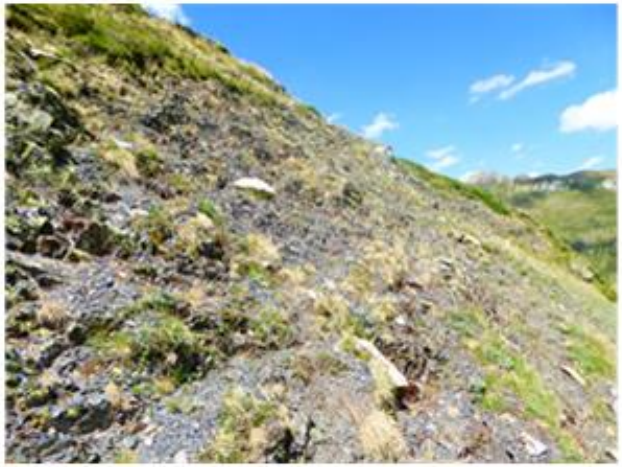


Fig. 101. Situation géographique des sites d'études validés ou en attente de validation des pelouses montagnardes à Parnassius apollo et cortège lépidoptérique associé.

Tab. XLIII. Caractéristiques des sites sélectionnés pour le suivi des pelouses montagnardes à Parnassius apollo et cortège lépidoptérique associé

Commune (département)	Dénomination	Type d'habitat	Superficie prospectées et validées	Statut, nom et code	Propriétaire Gestionnaire	Accord	Structure de suivi et nom de l'observateur
Louvie-Juzon (64)	Bergerie de Lagouare	Pelouses montagnardes	3 ha	Parc National des Pyrénées- Aire optimale d'adhésion (commune non membre) ZNIEFF 1 – Pic de Males Ores (N° 720008887) Natura 2000 – Massif du Moulle de Jaout (code : FR7200742)	Commune de Louvie-Juzon	Non	Cistude Nature Mathieu Molières
Laruns (64)	Vallon d'Arrious	Pelouses montagnardes	1 ha	Parc national des Pyrénées – Zone cœur ZNIEFF 1 -Versant Ouest du Lurien, de Soques et de Peyrelue (N° 720012966) ZNIEFF 2 – Vallée d'Ossau (N° 720009049) Natura 2000 – Massif du Ger et du Lurien (code: FR7200743)	Commune de Laruns	Non	Cistude Nature Mathieu Molières
Laruns (64)	Pombie	Pelouses montagnardes	2 ha	Parc National des Pyrénées – Zone cœur ZNIEFF 1 – Massif du pic du Midi d'Ossau (N° 720008869) ZNIEFF 2 – Vallée d'Ossau (N° 720009049) Natura 2000 – Massif de Sesques et de l'Ossau (code : FR7200744)	Commune de Laruns	Non	Cistude Nature Mathieu Molières

Site de la bergerie de Lagouare



Aperçu du site de Pombie

- Définition et positionnement des points d'échantillonnage

L'année 2016 a permis de tester le protocole de suivi sur deux sites, le vallon du Soussouéou et la bergerie de Lagouare.

Le choix du positionnement et du nombre de transect sera défini par site en fonction de la superficie de l'habitat favorable à l'Apollon et de préférence situé dans les secteurs à plus fortes densités d'imagos. Dans la mesure du possible, ils devront être positionnés perpendiculairement à la pente en suivant au mieux les courbes de niveau (Tab. XLIV).

Ce protocole a été testé sur deux sites en 2016.

Tab. XLIV. Caractéristiques des transects test des pelouses montagnardes à Parnassius apollo et cortège lépidoptérique associé

Dénomination du site	Numéro du transect	Longueur (en m)	Altitude (en m)	Point GPS de départ	Point GPS d'arrivée
Bergerie de Lagouare	T1	185	1450m	[redacted]	[redacted]
	T2	185	1450m	[redacted]	[redacted]
Vallon du Soussouéou	T1	280m	1800m	[redacted]	[redacted]

La mise en place expérimentale de ces 3 transects devait servir à tester le protocole dans les conditions particulières du milieu montagnard. Initialement, la longueur des transects était définie sur la base d'une marche à 3 km/h durant 10 min ce qui explique, en fonction des difficultés de progression et de la densité d'imagos, la variabilité des longueurs (Fig. 102–Fig. 107).

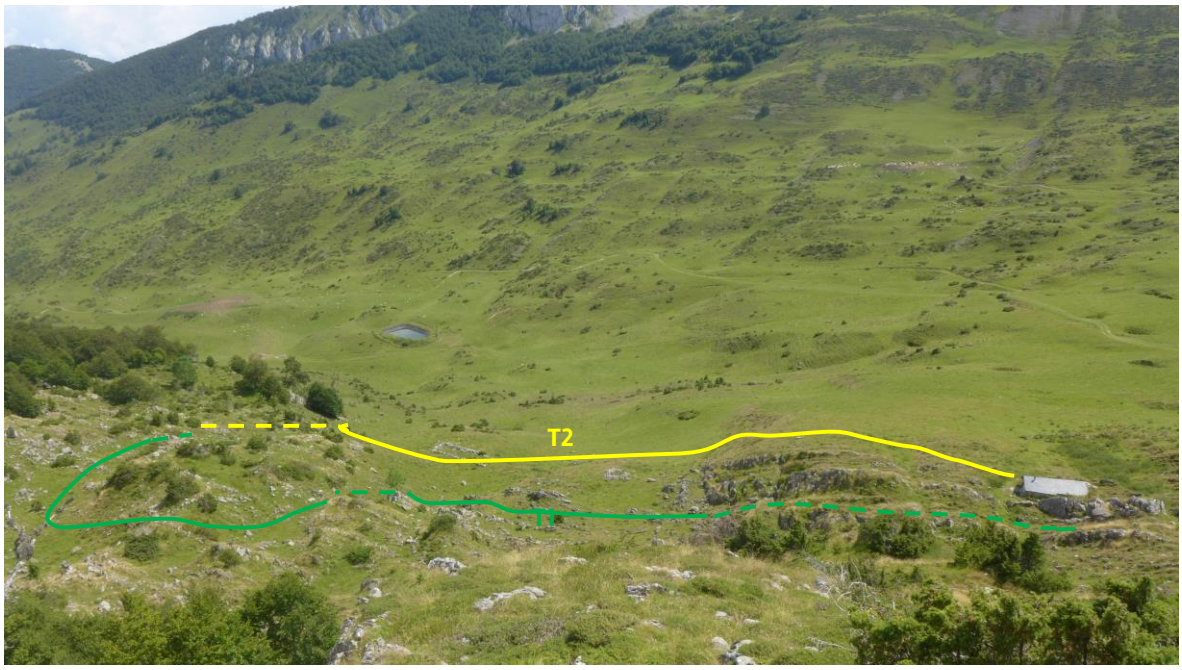


Fig. 102. Positionnement des transects.

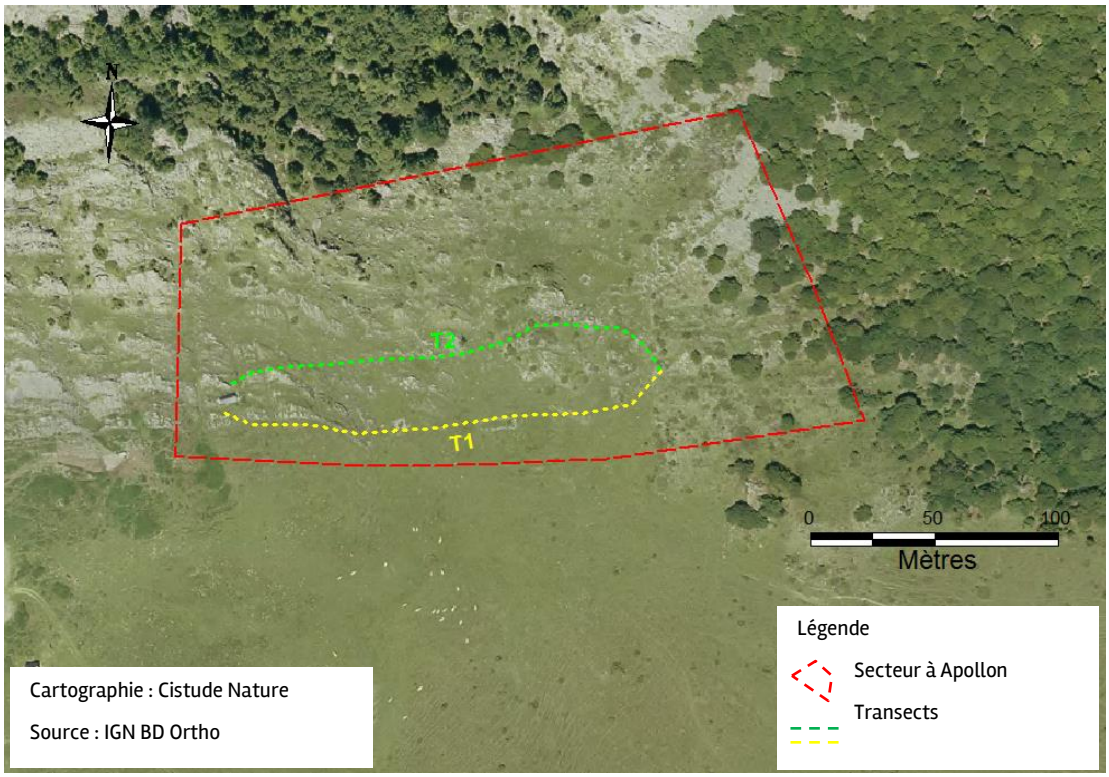


Fig. 103. Situation des transects du site [redacted] sur photographie aérienne.

[redacted]

Fig. 104. Situation des transects du site [redacted] sur carte topographique.

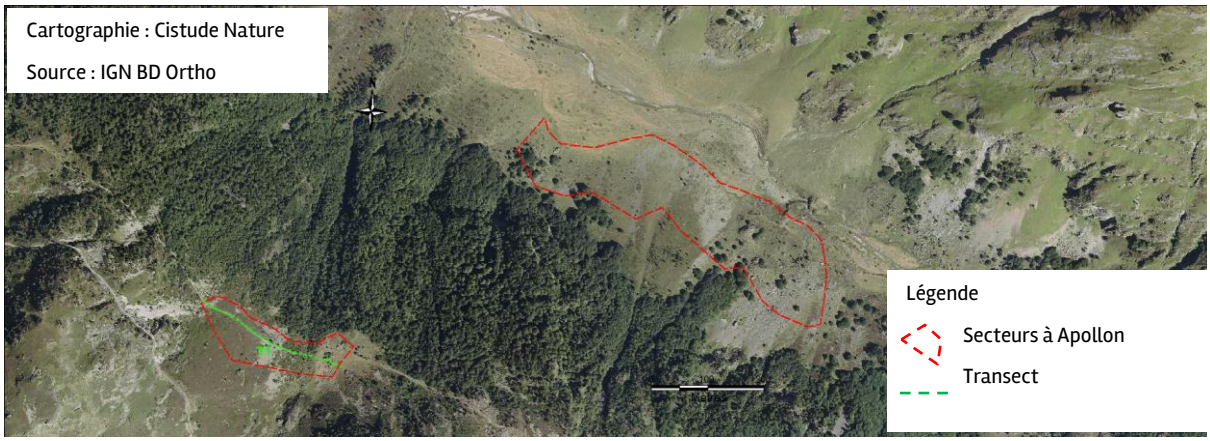


Fig. 105. Situation du transect du site [redacted] photographie aérienne.

Fig. 106. Situation du transect du site [redacted] carte topographique.

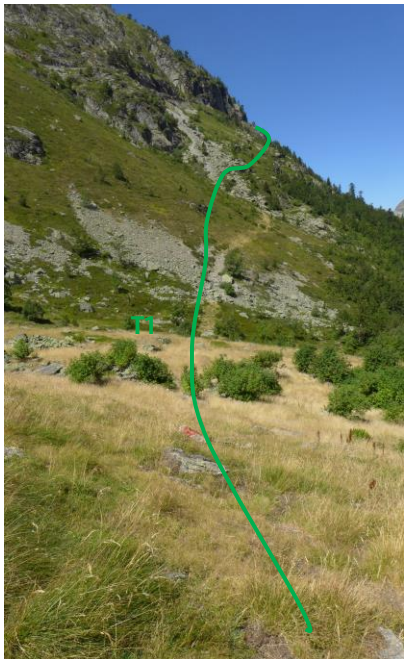


Fig. 107. Positionnement du transect.

- Méthode de relevés et détermination des espèces

Ce protocole est inspiré du protocole STERF (Suivi temporel des rhopalocères de France).

Ce protocole est basé sur des comptages réguliers d'imagos le long de transects préalablement définis.

L'observateur parcourt le transect, dont la longueur varie en fonction du milieu étudié, en 10 min (± 1 min) en identifiant et comptabilisant l'ensemble des imagos présents au sein d'une boite imaginaire de 5m³ (Fig. 108). La longueur de transect est fixée à 200 mètres pour les milieux montagnards. L'observateur devra être le même du début à la fin du suivi afin de limiter les biais.

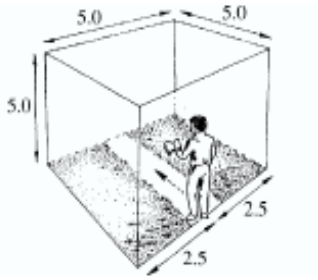


Fig. 108. Boite imaginaire de 5m3 (MANIL & HENRY, 2007).

La détermination se fait à vue. Pour les espèces à détermination délicate il est possible de capturer l'individu pour une détermination rapide en main. Si la détermination est plus délicate le ou les individu(s) seront placés dans une boite pour une détermination postérieure (après le transect).

Si l'espèce n'a pu être déterminée, elle pourra faire l'objet d'un prélèvement (hors espèce protégée) pour une analyse en laboratoire.

Dans le cas d'individus d'espèces non identifiées et non capturées, l'observateur note, essaiera dans la mesure du possible de noter la famille ou le genre. Sinon, l'individu sera noté «indéterminé ».

- Conditions météorologiques requises

Ces relevés sont réalisés sous des conditions météorologiques favorables :

- présence d'une couverture nuageuse d'au maximum 75% et sans pluie;
- vent inférieur à 6 sur l'échelle de Beaufort;
- température d'au moins 13°C pour un temps ensoleillé ou d'au moins 17°C pour un temps nuageux.
- Les suivis sont réalisés jusqu'à une température de 35°C maximum.

- Nombre de campagne de relevés

Chaque transect sera relevé 4 fois/an de début juillet à début septembre soit environ toutes les 3 semaines.

7.2.2 Analyses et statistiques

- Résultats 2016

– **Prospections**

Basées sur des données bibliographiques peu nombreuses et très certainement lacunaires, les prospections ont cependant permis d'observer la relative abondance de l'Apollon en vallée d'Ossau où ces milieux de prédilection abondent à partir de 1400m d'altitude. L'espèce a été observée sur les 5 sites prospectés avec des abondances variables.

Les secteurs où les observations ont été les plus nombreuses sont le site de la bergerie de Lagouare, à proximité du col de Jaout, et le vallon du Soussouéou où plusieurs populations sont présentes à différentes altitudes. Ce dernier n'a pour l'instant pas été retenu car difficilement accessible à pied. Cependant, l'obtention d'une autorisation auprès du Parc National pour utiliser les pistes pastorales pourraient permettre d'accéder à la zone en voiture.

Concernant la vallée d'Aspe, les prospections plus tardives ont été nettement moins fructueuses. Sur les 5 sites prospectés, l'espèce n'a été observée que sur un seul site. Globalement son habitat de prédilection semble nettement moins abondant qu'en vallée d'Ossau à altitude comparable, l'influence atlantique se faisant nettement plus sentir.

Il est possible que les dates de prospections soient à l'origine de ces résultats, même si globalement les sites prospectés présentaient peu de surfaces d'habitats favorables. Des prospections complémentaires seront réalisées en 2017 afin de trouver des sites présentant les critères requis. L'acquisition de données bibliographiques supplémentaires, actuellement en cours, permettra de cibler ces prospections. La sortie du pré-atlas des rhopalocères et zygènes d'Aquitaine apporte des données complémentaires avec notamment une donnée de *Parnassius apollo* à l'est de la vallée d'Aspe qu'il serait intéressant d'intégrer au suivi (GOURVIL *et al.*, 2016).

– Test protocole

Le protocole STERF tel que présenté plus haut a été testé sur deux sites avec 3 transects relevés.

- *Site de la bergerie de Lagouare*

Sur ce site, un inventaire par prospection aléatoire a été réalisé en préalable du relevé de transect. Il a consisté en une identification à vue ou avec capture au filet de tous les individus présents sur le site d'étude. Les 30 minutes de prospections ont permis d'identifier 12 espèces (Tab. XLV). On peut noter, sur ce site situé en limite nord de la chaîne et à 1400 m d'altitude, le peu d'espèces strictement montagnardes au sein du cortège avec seulement deux espèces, l'Apollon et le Moiré des fétuques.

Tab. XLV. Inventaire des lépidoptères de montagne par prospection aléatoire.

Nb d'ind. obs.	Nom vernaculaire	Nom latin	Protection nationale	Conventions de Berne	Directive HFF	Liste rouge nationale	Liste rouge européenne	Liste rouge mondiale	CITES	Total indiv
5	Apollon	*Parnassius Apollo*	Art. 2	An II	An IV	LC	NT	VU	Cites Annexe A	1
>3	Argus bleu / Azuré de la Bugrane	*Polyommatus icarus*				LC	LC	NE		1
>20	Argus bleu-nacré	*Lysandra coridon*				LC	LC	LC		1
>2	Fadet commun (Procris)	*Coenonympha pamphilus*				LC	LC	NE		1
>3	Grand nacré	*Argynnis aglaja*				LC	LC	NE		1
1	Moiré des fétuques	*Erebia Meolans*				LC	LC	LC		1
>2	Némusien	*Lasiommata maera*				LC	LC	NE		1
1	Petite tortue	*Aglais urticae*				LC	LC	NE		1
1	Piéride de la rave	*Pieris rapae*				LC	LC	NE		1
1	Piéride du chou	*Pieris brassicae*				LC	LC	NE		1
>2	Souci	*Colias crocea*				LC	LC	NE		1
1	Vulcain	*Vanessa atalanta*				LC	LC	NE		1

A la suite de cet inventaire, et après avoir respecté une pause de 30 minutes afin de limiter l'impact du dérangement, les deux transects ont été relevés.

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-après (Tab. XLVI).

Tab. XLVI. Comptage des lépidoptères de montagne selon la méthode de transect STERF.

Site :	Col de Jaut (Bergerie de Lagouare)
Météo :	Ciel nuageux (25<n<50%), vent faible à modéré, 24°C
Observateur :	MM
Date :	16/08/2016
Temps d'observation :	T1 (5min20) /T2 (7min30)
Observations :	

Espèces	Numéro		
	T1	T2	T3
Apollon		2 (+2HT)	
Argus bleu-nacré	1	7	
Procris		4	
Argus bleu		1	
Némusien/Ariane		2	
Souci		1	
Grand Nacré	2	1	
Vulcain		1	
Total	3	19	

On peut remarquer la bonne représentativité du cortège sur le transect 2 avec 8 espèces contactées sur les 12 observées lors de l'inventaire (67%).

A contrario, le transect 1, situé en bas de pente, ne semble présenté que peu d'intérêt avec seulement 2 espèces contactées en faible effectif qui plus est.

Durant les relevés de ces transects les individus de *Parnassius apollo* ont également été comptés hors « boîte ». Ce test a permis d'augmenter le nombre de contact avec 2 individus comptabilisé hors transect (HT). Ces données supplémentaires pourraient permettre d'évaluer plus finement la dynamique des populations.

- *Site de la vallée du Soussouéou*

Site non retenu pour cause d'accessibilité difficile, il a toutefois fait l'objet d'un test en 2016. La fiche de relevé est présentée ci-après (Tab. XLVII).

Tab. XLVII. Fiche de relevé des lépidoptères de montagne.

Site :	Soussouéou (cabane de Séous)
Météo :	Ciel nuageux (25<n<50%), vent faible à modéré, 24°C
Observateur :	MM
Date :	08/08/2016
Temps d'observation :	8 min30
Observations :	

Espèces	**Numéro**		
	T1	**T2**	**T3**
Apollon	3		
Argus bleu-nacré	5		
Tabac d'Espagne	2		
Némusien/Ariane	1		
Nacré subalpin	1		
Cuivré de la verge d'or	2		
Moiré lustré (arverne)	3		
Total	17		

Situé à 1800m, le site accueille un cortège nettement plus montagnard avec 4 des 7 espèces observées typiques de ces milieux : l'Apollon, le Cuivré de la verge d'or, Le Nacré subalpin et le Moiré lustré.

- *Conclusion*

Ces tests ont permis de confirmer l'efficacité du protocole STERF sur le cortège lépidoptérique montagnard.

En revanche, ce protocole simple n'apportera pas les données nécessaires à un suivi efficient des populations de *Parnassius apollo*.

Une adaptation de celui-ci et/ou des suivis complémentaires pourraient alors être mis en place (voir partie suivante).

Comme attendu, les principales difficultés rencontrées au cours de ces tests sont :

- les espèces à détermination délicate, avec notamment certains hespéridés, les espèces du genre *Erebia* et un cas d'*Aricia* observé à 1600m d'altitude (distinction a priori impossible entre *Aricia agestis* et *A. artaxerxes* sur des critères externes).

- la topographie qui peut obliger à certains détours pour éviter des obstacles (rochers, ruisseaux...) le long des transects.

- l'accessibilité des sites avec dans certains cas plus d'une heure de marche avant de rejoindre le site suivi.

7.2.3 Discussion et perspectives de suivi

Cette année de mise en place du suivi a permis d'acquérir quelques certitudes mais beaucoup d'interrogations demeurent encore. Une synthèse est proposée dans le tableau suivant (Tab. XLVIII).

Tab. XLVIII. Eléments de synthèse des éléments acquis en 2016, des questionnements et des perspectives pour 2017.

Eléments acquis	Questionnements	Perspectives 2017
Prospection		
Les prospections ont mis en évidence la relative abondance de l'espèce en vallée d'Ossau et une répartition plus restreinte en vallée d'Aspe.	Une donnée issue du pré-atlas des rhopalocères et zygènes d'Aquitaine indique sa présence plus à l'ouest de la vallée d'Aspe. Quelle est la répartition actuelle de l'espèce à l'ouest de la chaîne ?	Amender la base de données bibliographiques (PNP, OAFS, réseau naturaliste...)
Les prospections ont permis d'identifier les types d'habitats utilisés par l'espèce.	Sur le site de la bergerie de Lagouare, elle semble se cantonner sur une partie du site délaissant une grande surface d'habitat favorable. Quels sont les facteurs influençant sa répartition précise ? Les populations pyrénéennes de Parnassius apollo ont-elles une écologie particulière ?	Etudier l'écologie de l'espèce via une recherche bibliographique, des échanges avec les spécialistes français et européens, une étude de terrain.
Trois sites validés en vallée d'Ossau	Le nombre de 5 sites à suivre semble insuffisant pour obtenir une quantité de données satisfaisantes pour évaluer l'évolution des cortèges. Peut-on augmenter le nombre de sites à suivre ?	Poursuite des prospections en vallée d'Aspe et plus à l'ouest. Intégrer le site de la vallée du Soussouéou en obtenant une autorisation de circulation sur les pistes pastorales.
Protocole		
Protocole STERF adapté et validé pour suivre l'évolution d'un cortège.	Protocole insuffisant pour recueillir suffisamment de données sur l'évolution d'une population de Parnassius apollo. Quel suivi complémentaire peut-on mettre en place ?	Test de suivis complémentaires pour Parnassius apollo (voir ci-après).

7.2.3.1 Test de protocoles pour le suivi des populations de Parnassius apollo

Le premier des critères à prendre en compte est celui du temps. Ces suivis complémentaires doivent s'intégrer aux suivis des cortèges qui sont ou seront mis en place et ne pas trop alourdir le protocole actuel.

Afin d'optimiser le recueil de données sur les populations de *P. apollo*, deux suivis complémentaires vont être testés.

Le premier, déjà testé en 2016, consiste à prendre en compte les individus de *P. apollo* le long du transect en dehors de la boîte virtuelle de 5 m^3. Le test réalisé en 2016 sur le site de Lagouare a permis de doubler le nombre de contacts. Peu chronophage et facile à mettre en place, ce suivi complémentaire permet d'acquérir des données supplémentaires qui pourraient permettre d'améliorer le traitement statistique.

Le deuxième consisterait à positionner des points d'observation où l'observateur procéderait à un dénombrement des imagos de *P. apollo* durant 5 minutes (Fig. 109) à l'aide d'une paire de jumelles. Cette méthode peu chronophage, inspirée du STOC EPS[5], permettrait d'acquérir des données sur des secteurs situés en dehors des transects.

Les points d'observation devront être positionnés en bas de pente de façon à pouvoir surveiller des secteurs d'habitats favorables à l'espèce.

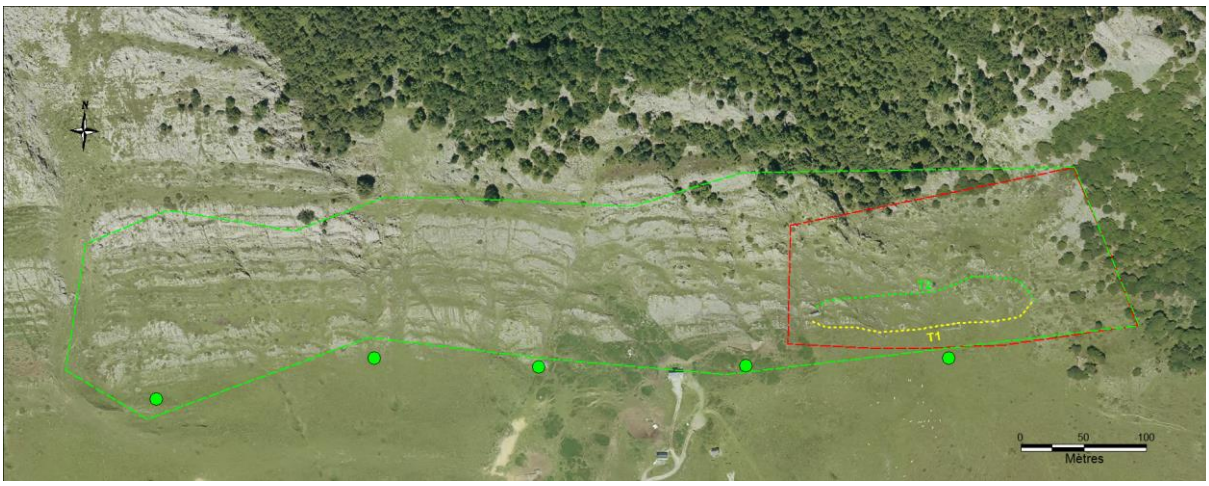


Fig. 109. Exemple de suivi STOC-EPS sur le site de Lagouare.

[5] Suivi Temporel des Oiseaux Communs – Echantillonnages Ponctuels Simples

7.3 Cortège des bourdons

Rédaction : David Genoud

Les bourdons sont des espèces reliques glaciaires. Il s'agit d'un groupe taxonomique qui réagit à l'évolution des températures mais à des degrés divers selon les taxons. Certains taxons acceptent des conditions thermiques chaudes (espèces de plaine), mais d'autres sont strictement alpines, boréales ou montagnardes (à partir de 1700m d'altitude, par exemple pour *Bombus mendax* dans les Pyrénées). Avec l'augmentation des températures prévues, les espèces de plaine devraient migrer vers les zones de moyennes montagnes tandis que les secondes ne pourront pas indéfiniment augmenter leur aire de répartition vers des altitudes plus élevées (RASMONT *et al.*, 2015). Dans ce contexte, les espèces de plaine, présentant souvent des traits fonctionnels généralistes (langues souvent courtes ou moyennes, forte densité de colonie, colonies plus populeuses), pourraient rentrer en compétition avec les espèces de montagne à densité plus faible et aux fortes exigences nutritives.

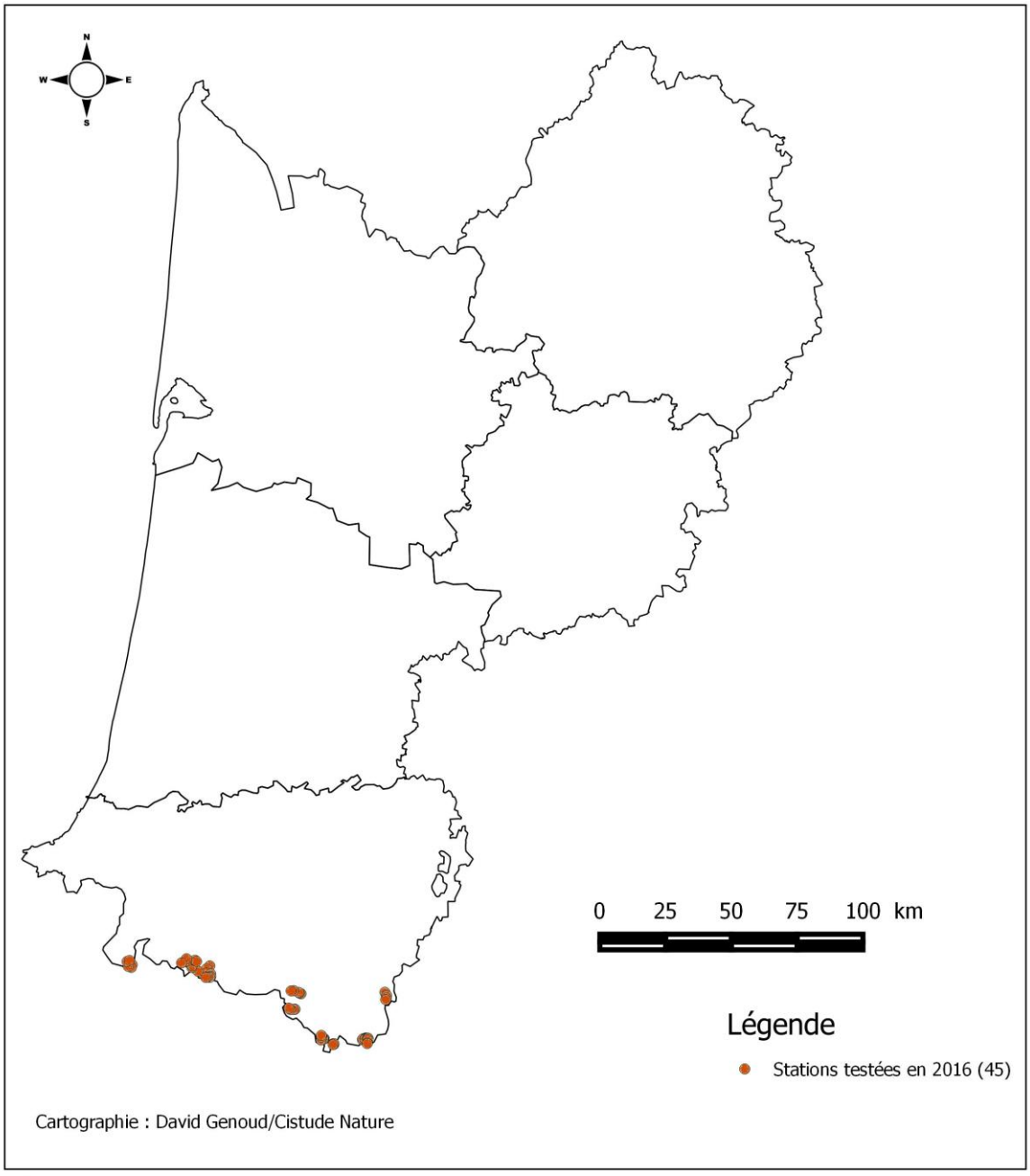
7.3.1 Plan d'échantillonnage

- Sélection des sites

Pour évaluer l'effet du réchauffement climatique sur les cortèges et populations de bourdons il convenait alors de cibler un échantillonnage varié de stations aux étages montagnards et alpins (900 – 2000 m.). Cet échantillonnage a été réévalué sur une tranche altitudinale de 800 à 2500 m. pour observer une plus large évolution du cortège et aussi peut-être une meilleure réponse aux facteurs climatiques locaux en intégrant dans l'analyse la variabilité de la réponse à la fois au gradient altitudinal et au gradient climatique transversale de la chaine des Pyrénées (influence océanique à l'ouest vs influence alpine à l'est).

Le choix des stations est conditionné par (Fig. 110, Tab. XLIX):

- L'accessibilité,
- La possibilité de proposer, dans un rayon de 2h30 de marche « aller », un gradient altitudinal satisfaisant,
- Des milieux réellement attractifs au moins à une période de passage dans l'année pour les bourdons (patchs fleuris), sans chercher une homogénéité particulière. (différents types de formation sur la station),
- Une stabilité « espérée » des habitats semi-naturels,
- Une répartition depuis l'ouest montagnard jusqu'au cœur alpin chaque secteur distinct représentant une sous-unité d'analyse de l'évolution taxonomique, climatique, eco-morphologique à long terme.



Sites d'études de suivis des bourdons montagnards

Fig. 110. Situation géographique des zones prospectées de l'habitat montagnard dans la cadre du suivi des espèces « bourdons ».

Tab. XLIX. Critères de sélection des sites de l'habitat montagnard dans la cadre du suivi des espèces « bourdons »

N° site	Dénomination	Critère 1	Critère 2	Critère(s) de sélection initial	Critère(s) de non sélection	altitude	Station météo	remarques
57	Lindux5 – Hayra	Altitude	Diversité floristique milieu ouvert	Diversité floristique		867	oui	
55	Lindux3-Burdincurutcheta	Habitats	Données historiques	Habitats et données		1054	oui	Cortège landicole cible
54	Lindux2-Lindux parking	Altitude	Diversité floristique	Diversité floristique		1168	oui	
53	Lindux1-Achistoy	Habitat	Données historiques	Habitats et données		1189	non	Cortège landicole cible
56	Lindux4-col d'Auzarai	Altitude	Données historiques	Habitats et données		962	non	Pas d'échantillonnage en 2016 Cortège landicole cible Pas de suivi en 2017
49	Occabé5-Tourbière Achilondo	Habitats	conservation	ZH-Tourbière	Peu fleurie, pas de bourdons en 2016 Site excentré Doublon Sourzay	988	non	1 échantillonnage en 2016 Abandonné en 2017
46	Occabé4-Sourzay	Habitats	Données historiques	ZH-Tourbière		1131	oui	Cortège landicole cible
44	Occabé3 – sommet d'Occabé	Altitude		Sommet	Site excentré Peu fleurie	1457	non	1 échantillonnage en 2016 Abandonné en 2017
43	Occabé2-(col d') Horaaté	Habitats	Données historiques Altitudes	Habitats et données		1311	oui	Cortège landicole cible
42	Occabé1-Orgaté	Altitude	Données historiques	Données historiques		936	oui	

N° site	Dénomination	Critère 1	Critère 2	Critère(s) de sélection initial	Critère(s) de non sélection	altitude	Station météo	remarques
NULL	Iraty5-lande basse Chalet Forestier de soule	Données historiques	Altitude	Lande à Ericacées Suivi cortège landicole cible	Micro-milieu Franchissement rivière parfois impossible Station recouvrant 2 tranches altitudinales	1000	non	Abandonnée en 2017
41	Iraty4-Mürkhüilleta	Exposition		Exposition et habitats		1180	oui	Abandonnée en 2017 Suivi complémentaire apiformes
37	Iraty3 – Ibarrondoa	Accès	Habitats	Habitats		1340	oui	
36	Iraty2-Odeizügagna	Altitude		Flore (Cirsium eriophorum)		1525	oui	
34	Iraty1-Rocher d'Organbidexka	Altitude	Données historiques	Données historiques		1395	oui	Cortège landicole cible
18	Azun5-Pas d'Azun	Altitude	Habitats	Habitats		1865	oui	Cortège landicole cible
19	Azun4- Cabane du Cap de la Baitch	Altitude	Habitats	Altitude		1670	non	
17	Azun3-Cabane d'Ardinet	Altitude		Altitude		1533	oui	Abandonné en 2017
16	Azun2-l'Abérouat Couloir avalanche	Diversité floristique	Altitude Accessibilité	Diversité floristique (dont Eryngium bourgatii)		1477	oui	
15	Azun1-Bois d'Arce	Altitude		Altitude		1311	non	

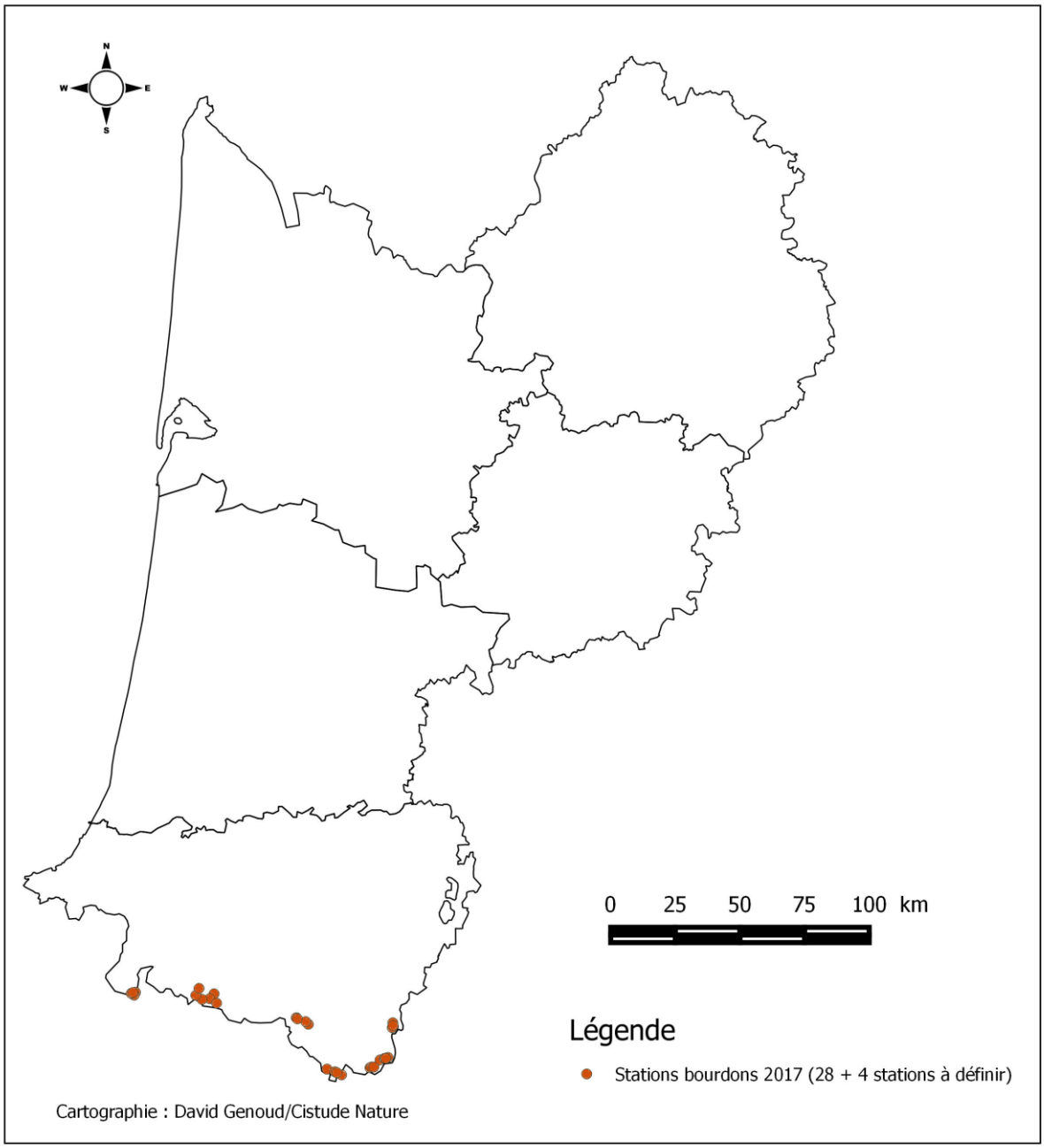
N° site	Dénomination	Critère 1	Critère 2	Critère(s) de sélection initial	Critère(s) de non sélection	altitude	Station météo	remarques
14	Ansabère4	Accessibilité			Pas une meilleure accessibilité que l'Abérouat/Azun	1548	non	Visité en 2016 — non retenu
13	Ansabère3	Accessibilité			Pas une meilleure accessibilité que l'Abérouat/Azun	1366	non	Visité dge-en 2016 — non retenu
12	Ansabère2	Accessibilité			Pas une meilleure accessibilité que l'Abérouat/Azun	1231	non	Visité en 2016 — non retenu
11	Ansabère1	Accessibilité			Pas une meilleure accessibilité que l'Abérouat/Azun	1187	non	Visité en 2016 — non retenu
7	Aspe5-Col du Somport	Altitude	Accessibilité Habitats	Habitats et accessibilité		1635	oui	Cortège landicole cible
10	Aspe4-Peyrenère	Habitats	Accessibilité	Habitats et accessibilité		1448	oui	
8	Aspe3-Anglus	Habitats	Accessibilité	Intérêt printanier (prairie mésophile variée et attractive au printemps)		1275	non	
1	Aspe2-Cabane de Thézy	Accessibilité	Données historiques		Présence estivale de 80 ruches à moins de 100 m. Dominance Fougère-Aigle	1221	non	Abandonné en 2017
4	Aspe1-Amont Passerelle d'Espélunguère	Flore	Habitats	Intérêt floristique (Aconitum spp.)		1420	oui	
20	Ossau-Pourtalet5-Cabane de l'Araille	Altitude	Accessibilité		Trop fréquenté, Peu fleurie Report sur Ossau-Pourtalet4	1777	Oui (Suivi Marmotte)	Abandonné en 2017

N° site	Dénomination	Critère 1	Critère 2	Critère(s) de sélection initial	Critère(s) de non sélection	altitude	Station météo	remarques
21	Ossau-Pourtalet4-bas couloir de l'Araille	Accessibilité		Idem 5 mais plus intéressant		1746	non	
23	Ossau-Pourtalet3-ZH de Tourmont	Habitat		Idem 2 mais plus intéressant		1687	non	
22	Ossau-Pourtalet2-Cabanne de Tourmont	Accessibilité	Altitude		Reposoir à végétation instable Report sur Ossau -Pourtalet3	1647	non	Abandonné en 2017 Suivi complémentaire apiformes
25	Ossau-Pourtalet1-Pont de Peyrelue	Habitat	Accessibilité	Diversité floristique, habitats		1594	oui	
NULL A établir	Arrrious5- au-dessus du lac	Altitude	Habitat	Altitude		2302	oui	
NULL A établir	Arrious4-Replat intermédiaire d'Arrious	Habitat	Altitude	Habitat et altitude		2084	non	Cortège landicole cible
NULL A établir	Arrious3-Cabane d'Arrious Amont	Habitat Flore	Altitude	Habitat, diversité floristique		1970	oui	

N° site	Dénomination	Critère 1	Critère 2	Critère(s) de sélection initial	Critère(s) de non sélection	altitude	Station météo	remarques
NULL A établir	Arrious2-pâtures d'Arrious	Altitude	Flore		Doublon tranche altitudinale Faible diversité floristique	1720	non	Abandonné en 2017
NULL A établir	Arrious1-ZH RD ru d'Arrious	Altitude	Flore Habitat	Habitat, diversité floristique		1640	oui	
33	Anglas5-Lac	Altitude		Altitude, diversité floristique (Rhododendron, Eryngium bourgatii)		2059	oui	
32	Anglas4-Sous Cascade d'Anglas	Habitat		Landes à Ericacées		1805	non	Cortège landicole cible
NULL A établir	Anglas3-- Cabane de Coste de Goua	Habitat		Landes à Ericacées		1714	non	Cortège landicole cible
31	Anglas2-Sur Plaa de Batch	Habitat		Landes à Ericacées		1585	oui	Cortège landicole cible
30	Anglas1-reposoir de Saxe-Cardet	Altitude	Diversité floristique		Reposoir, avec flore nitrophile et altitude hétérogène entre deux tranches	1395	oui	Possible suppression en 2017

- Description des sites choisis

28 stations ont été sélectionnées et 4 stations sont à définir (Fig. 111, Tab. L)



Sites d'études de suivis des bourdons montagnards

Fig. 111. Situation géographique des sites d'études validés de l'habitat montagnard dans la cadre du suivi des espèces « bourdons ».

Tab. L. Caractéristiques des sites de l'habitat montagnard dans la cadre du suivi des espèces « bourdons »

Dép.	Commune	Dénomination	Statut	Code statut	Propriétaire Gestionnaire	Accord	Station météo 2016	Structure de suivi et nom de l'observateur
64	Aldudes	Lindux5 – Hayra	N2000	FR7212012	_	Non	oui	David Genoud
64	Aldudes	Lindux3-Burdincurutcheta	N2000	FR7212012	_	Non	oui	David Genoud
64	Aldudes	Lindux2-Lindux parking	N2000	FR7212012	_	Non	oui	David Genoud
64	Aldudes	Lindux1-Achistoy	N2000	FR7212012	_	Non	non	David Genoud
64	Lecumberry	Occabé4-Sourzay	N2000	FR7212015	CG64/CEN	Oui	oui	David Genoud
64	Lecumberry	Occabé2-(col d'Horaaté)	N2000	FR7212015	_	Non	oui	David Genoud
64	Lecumberry	Occabé1-Orgaté	N2000	FR7212015	_	Non	oui	David Genoud
64	Larrau	Iraty4-Mürkhüilleta (RCA)	N2000	FR7212015	_	Non	oui	David Genoud
64	Larrau	Iraty3 -Ibarrondoa	N2000	FR7212015	_	Oui	oui	David Genoud
64	Larrau	Iraty2-Odeizügagna	N2000	FR7212015	_	Non	oui	David Genoud
64	Larrau	Iraty1-Rocher d'Organbidexka	N2000	FR7212015	_	Non	oui	David Genoud
64	Lées-Athas	Azun5-Pas d'Azun	N2000	FR7212008	_	Non	oui	David Genoud
64	Lées-Athas	Azun4- Cabane du Cap de la Baitch	N2000 ?		_	Non	non	David Genoud
64	Lées-Athas	Azun3-Cabane d'Ardinet (RCA)	N2000 ?		_	Non	oui	David Genoud
64	Lescun	Azun2-l'Abérouat Couloir avalanche	N2000 ?		_	Non	oui	David Genoud
64	Lescun	Azun1-Bois d'Arce	N2000 ?		_	Non	non	David Genoud
64	Urdos	Aspe5-Col du Somport	PNP/N 2000	FR7210087	_	Oui	oui	David Genoud
64	Urdos	Aspe4-Peyrenère	PNP/N 2000	FR7210087	_	Oui	oui	David Genoud
64	Urdos	Aspe3-Anglus	PNP/N 2000	FR7210087	_	Non	non	David Genoud
64	Etsaut	Aspe1-Amont Passerelle d'Espélunguère	PNP/N 2000	FR7210087	_	Oui	oui	David Genoud
64	Laruns	Ossau-Pourtalet4-bas couloir de l'Araille	PNP/N 2000	FR7210087	_	Oui	oui	David Genoud

Dép.	Commune	Dénomination	Statut	Code statut	Propriétaire Gestionnaire	Accord	Station météo 2016	Structure de suivi et nom de l'observateur
64	Laruns	Ossau-Pourtalet3-ZH de Tourmont	PNP/N 2000	FR7210087	_	Oui	non	David Genoud
64	Laruns	Ossau-Pourtalet2-Cabanne de Tourmont (RCA)	PNP/N 2000	FR7210087	_	Oui	non	David Genoud
64	Laruns	Ossau-Pourtalet1-Pont de Peyrelue	PNP/N 2000	FR7210087	_	Oui	oui	David Genoud
64	Laruns	Arrrious5- au-dessus du lac	PNP/N 2000	FR7210087	_	Oui	oui	David Genoud
64	Laruns	Arrious4-Replat intermédiaire d'Arrious	PNP/N 2000	FR7210087	_	Oui	non	David Genoud
64	Laruns	Arrious3-Cabane d'Arrious Amont	PNP/N 2000	FR7210087	_	Oui	oui	David Genoud
64	Laruns	Arrious1-ZH RD ru d'Arrious	PNP/N 2000	FR7210087	_	Oui	oui	David Genoud
64	Eaux-Bonnes	Anglas5-Lac	N2000	FR7210087	_	Non	oui	David Genoud
64	Eaux-Bonnes	Anglas4-Sous Cascade d'Anglas	N2000 ?		_	Non	non	David Genoud
64	Eaux-Bonnes	Anglas3--Cabane de Coste de Goua	N2000 ?			Non	non	David Genoud
64		Anglas2-Sur Plaa de Batch	N2000 ?			non	oui	David Genoud

- **Définition et positionnement des points d'échantillonnage**

Les stations d'échantillonnage sont définies selon leur attractivité printanière et automnale dominante et ce selon la présence de formations végétales susceptibles d'apporter une ressource conséquente aux bourdons (Landes à Myrtille *(Vaccinium myrtillus) et Vaccinum spp.,* Landes à Rhododendron *(Rhododendron ferrugineum),* landes à Callune (*Calluna vulgaris*), mégaphorbiaies, reposoirs à bétails à *Cirsium eriophorum*,...). Ces stations se situent sur un transect de cheminement (marche ou véhicule) d'altitude variable selon les massifs. Ce transect regroupe 4 ou 5 stations étagées entre 800 et 2500 m. d'altitude (selon le gradient altitudinale proposé par le massif) (Fig. 112, Fig. 113, Tab. LI).

Chaque station est par la suite prospectée **à raison de 4 passages de 20 minutes sur la période de vol des bourdons** (avril-septembre) en essayant le plus possible d'échantillonner toutes les stations à toutes les altitudes aux périodes sans neige (fin mai – début septembre). Seules les stations de hautes altitudes (+ de 2000 m.) ne peuvent être échantillonnées (présence du manteau neigeux) lors du 1er passage qui a lieu fin mai-début juin.

Tab. LI. Caractéristiques des stations de l'habitat montagnard dans la cadre du suivi des espèces « bourdons »

Dénomination du site	surface (en m²)	Altitude (en m)	habitat	pente/exposition
Lindux5 - Hayra	1000	867	Lisière pré-bois pâturés	nord
Lindux3-Burdincurutcheta	1000	1054	Lande atlantique à Ajoncs et Ericacées	est
Lindux2-Lindux parking	750	1168	Lisière pré-bois pâturés	_
Lindux1-Achistoy	250	1189	Pelouse à Nard et Landes atlantiques à Ajoncs et Ericacées	sud
Occabé4-Sourzay	1500	1131	Lande tourbeuse à Ajonc nain et Ericacées	est
Occabé2-(col d') Horaaté	1500	1311	Lande atlantique à Calluna vulgaris et ajoncs	sud
Occabé1-Orgaté	1500	936	Lande mésophile-thermophile à asphodèles, Ericacées et fougère-aigle	sud
Iraty4-Mürkhüilleta (RCA)	150	1180	Lande xero-thermophile à asphodèles et Genista hispanica occidentalis	sud
Iraty3 -Ibarrondoa	2500	1340	Pâturage nitrophile à Cirisum eriophorum Callune et Daphne laureola	ouest
Iraty2-Odeizügagna	1500	1525	Reposoir à Cirsium eriophorum	ouest
Iraty1-Rocher d'Organbidexka	1500	1395	Lande atlantique à Ajoncs et Calluna vulgaris	Sud-ouest
Azun5-Pas d'Azun	1000	1865	Lande montagnarde à Arctostaphylos uva-ursi	_
Azun4- Cabane du Cap de la Baitch	1000	1670	Pelouse pâturée à Ajonc	sud
Azun3-Cabane d'Ardinet (RCA)	250	1533	Pelouse pâturée (non définie)	sud
Azun2-l'Abérouat Couloir avalanche	1000	1477	Eboulis à Eryngium bourgatii, Cirsium eriophorum	sud
Azun1-Bois d'Arce	1000	1311	Lisière pré-bois humides à Cirsium et Rubus sp.	sud
Aspe5-Col du Somport	1000	1635	Landes à Ericacées	_
Aspe4-Peyrenère	1000	1448	Pelouse à nard et gazon écorché à Sedum et pâturage mésophile	sud
Aspe3-Anglus	1500	1275	Pâturage mésophile pauvre à Cirsium eriophorum	_
Aspe1-Amont Passerelle d'Espélunguère	1500	1420	Pelouse à fétuque et mégaphorbiaie à Mentha et Aconitum sp.	Sud-est
Ossau-Pourtalet4-bas couloir de l'Araille	1500	1746	Pelouse rudéralisée (reposoir occasionnel)	nord

Dénomination du site	surface (en m²)	Altitude (en m)	habitat	pente/exposition
Ossau-Pourtalet3-ZH de Tourmont	2500	1687	Pelouse et tourbière de pente à Bartsia alpina et Swertia perennis	Nord-ouest
Ossau-Pourtalet2-Cabanne de Tourmont (RCA)	350	1647	Reposoir à Sysimbre des Pyrénées	_
Ossau-Pourtalet1-Pont de Peyrelue	1000	1594	Pelouse montagnarde maigre (non définie)	ouest
Arrrious5- au-dessus du lac	1500	2302	Pelouse montagnarde (non définie)	sud sud-est
Arrious4-Replat intermédiaire d'Arrious	1500	2084	Pelouse et landes montagnarde à Rhododendron et Callune	nord
Arrious3-Cabane d'Arrious Amont	1000	1970	Landes écorché à Callune, linaire alpine	sud
Arrious1-ZH RD ru d'Arrious	1000	1640	Tourbière de pente dégradée à Cirsium spp., Succisa pratensis	sud
Anglas5-Lac	1250	2059	Pelouse et éboulis à Rhododendron et Eryngium bourgatii	Sud sud-est
Anglas4-Sous Cascade d'Anglas	1500	1805	Pelouse à nard et lande à Ericacées	est
Anglas3--Cabane de Coste de Goua	1000	1714	Landes à Ericacées (Vaccinum myrtillus & Calluna vulgaris) & Rhododendron	est
Anglas2-Sur Plaa de Batch	1000	1585	Landes à Ericacées (Vaccinum myrtillus & Calluna vulgaris)	est

Fig. 112. Un exemple de situation des transects de l'habitat montagnard dans la cadre du suivi des espèces « bourdons » sur photographie aérienne.

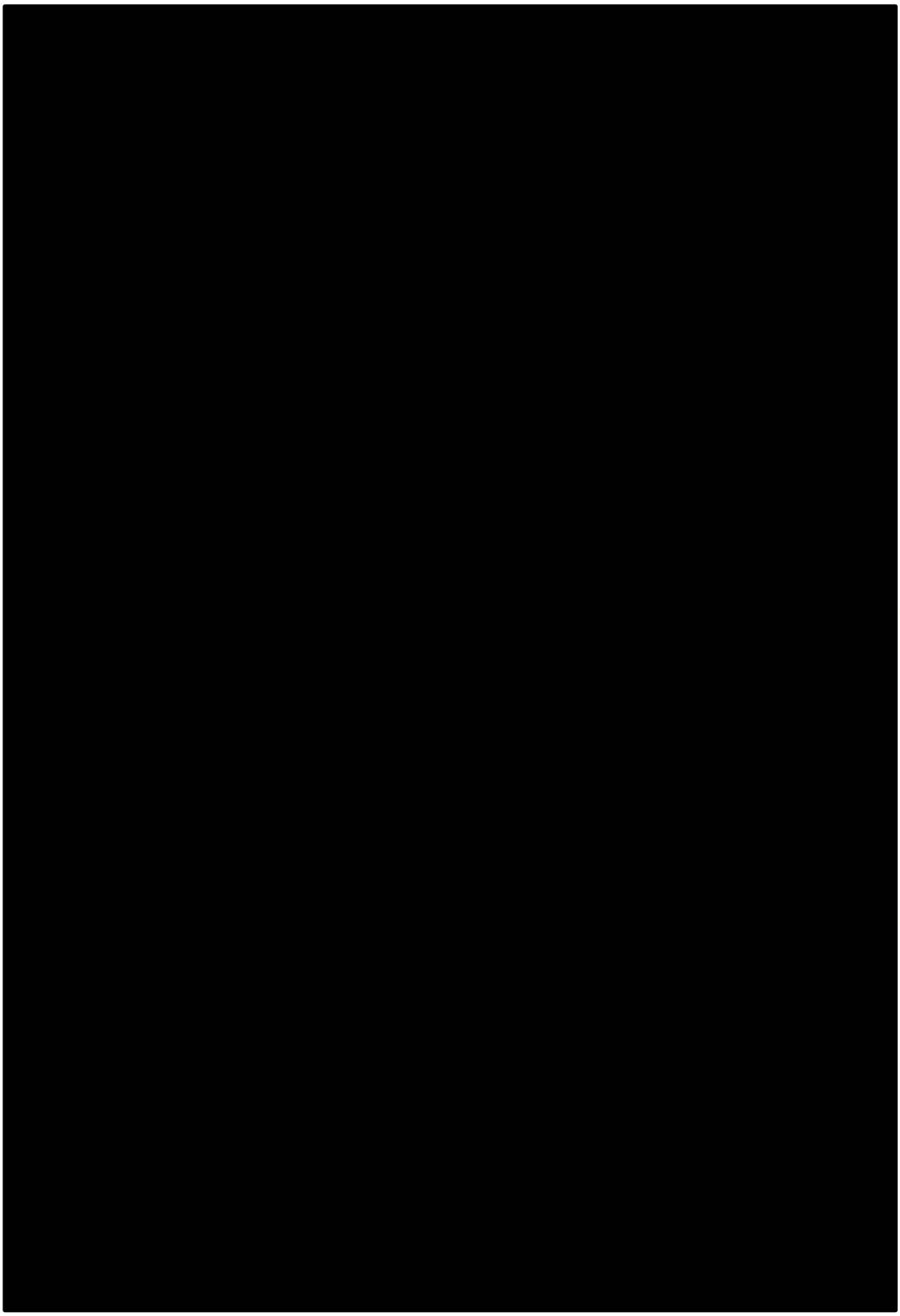


Fig. 113. Un exemple de situation des transects de l'habitat montagnard dans la cadre du suivi des espèces « bourdons » sur carte topographique.

- Méthode de relevés et détermination des espèces

Chaque spécimen contacté est capturé au filet ou directement dans un pilulier par un seul observateur au cours de l'étude (avec un taux d'échec variable selon l'heure et les facteurs climatiques (vent principalement) et conservé en pilulier de râpure de liège imbibé d'Acétate d'Éthyle (pour conserver une grande souplesse et bon état physique) pour identification ultérieure en laboratoire sous binoculaire (caste, espèce) et mesures biométriques (longueur de l'aile, longueur de langue, longueur inter-scutellaire, longueur totale). Les différentes espèces de bourdons peuvent présenter une grande similarité de pattern/habitus tout en possédant une écologie et des traits fonctionnels très différents. De plus il s'agit d'aculéates (hyménoptères à aiguillons) au venin à composition assez similaire à celui de l'Abeille domestique *Apis mellifera* (nombreux composés allergènes) pouvant provoquer des douleurs violentes et des chocs anaphylactiques. L'identification comme les mesures morphologiques passent par une capture létale et une conservation obligatoire.

La plante butinée, l'habitat et la flore exploitée, sont relevés.

La méthode, dont le temps d'échantillonnage normalisé à d'autres études (François *et al.*, à paraitre) est défini pour 20 minutes brutes avec arrêt du chronomètre ou ajout d'un temps supplémentaire par spécimen collecté (15 secondes pour mettre un spécimen en pilulier).

La placette est parcourue de manière homogène (vitesse de déplacement 2-4 km/h selon présence de fleurs et de bourdons).

Au total 39 placettes ont été définies sur le territoire d'étude soit 13 heures d'échantillonnage pour chaque passage et 52 heures d'échantillonnage sur la saison auxquels il faut ajouter les marches d'approches et de retour, les transits entre les différents secteurs et vallées, les préparatifs et le reconditionnement du matériel biologique pour chaque demi-journée d'échantillonnage (5 placettes), la gestion des stations météorologiques en place (maintenance, collecte des enregistrements). Chaque session d'échantillonnage (passage) nécessitent 5 jours complets d'intervention sur le terrain.

- Conditions météorologiques requises

Les bourdons volent dès 8°c de température. Le matin dès que le jour pointe les premiers individus s'activent sur les fleurs jusqu'au crépuscule. Le jour l'activité des bourdons est importante tant que les températures n'excèdent pas 25-28 °C (Loken, 1973 ; Michener, 2007 ; von Hagen & Aichhorn, 2014 ; Rasmont *et al.*, 2015). Ils supportent un vent modéré voire fort mais ce dernier limite davantage leur déplacement. Le déplacement est alors souvent plus rasant, rapide et saccadé et peu contrôlé, notamment au décollage. Dans ces situations ventées leur détectabilité et la capturabilité deviennent beaucoup plus aléatoires. Températures trop élevées et vent fort sont donc à éviter lors de l'échantillonnage ainsi que les conditions trop humides (pluie/brouillard/bruine) (Tab. LII).

Au cœur de l'été la tranche d'activité des bourdons s'étale de 6 h 30 du matin à plus de 20 h 30 avec une période d'activité moins marquée aux heures chaudes. Pour s'adapter aux contraintes d'accès (marche aller-retour) la période journalière d'échantillonnage a été définie entre 8 h 30/9 h 00 (selon l'exposition, l'ensoleillement, la température) et 19 h 00.

Tab. LII. Conditions météorologiques requises pour les suivis

		Température			
		< 12°C	12°C -16 °c	16°C - 27 °c	>28 °c
Nébulosité	beau	+	++	+++	-/+
	couvert (75 - 100 %	+	+	++	+
Pluie		-	-	-	-
Vitesse du vent	<20 km/h	+	++	+++	-/+
	>20-25 km/h	-	-	-	-
Horaire		8h – 17 h	8 h – 17 h	6h 30 – 21 h 30	6 h 30 – 11 h 00 18 h 30 – 21 h 30

- Nombre de campagne de relevés

Le nombre de campagne d'échantillonnage a été fixé à 4 sur la période préalablement définie. La question de réduire à 3 passages a été discuté mais cette réduction parait peu compatible avec un échantillonnage approprié (échange et comm. pers. Colin FONTAINE, MNHN-CNRS), afin de conserver un bon monitoring du pattern phénologique de chaque espèce. Ce nombre de 4 passages est donc un minimum pour assurer une bonne représentativité phénologique de tous les taxons.

- Fiche de relevés

En 2016 lors des échantillonnages-test les heures de début de relevé ont été systématiquement consignées sur un carnet de saisie. La fiche de relevé définitive sera établie en 2017 sur la base du choix définitif des stations (*cf.* discussion) et en collaboration avec le CBNSA [relevé évolutif de la végétation (recouvrement/phénologie de floraison des différentes formations et peuplements végétaux)].

7.3.2 Analyses et statistiques

Analyse 2016 :

En 2016, 8 secteurs géographiques (Aldudes, Occabé, Iraty, Lescuns, Somport, Arrious, Pourtalet, Anglas) et 44 stations ont été testés de manière non homogène (1 à 3 passages selon les sites). Il parait peu pertinent d'intégrer dès cette année des analyses sur la diversité tant le travail est resté hétérogène. En 2017 ne seront retenues au maximum que 33 stations (+ 3 stations Réseau Complémentaires Apiformes (RCA)[6]) pour 7 secteurs afin de ne conserver que les stations les plus représentatives (situation géographique, gamme d'altitude, intérêt de la station pour les bourdons) (Fig. 114–Fig. 116).

Toutefois, ces premiers échantillonnages ont permis de capturer 469 spécimens pour 38 stations avec au moins une donnée et une moyenne de 2 passages par stations (6 bourdons

[6] Stations présentant un intérêt de suivi pour les autres abeilles (voire les bourdons) dans un contexte atypique (non stabilité de l'habitat, perturbations, formation originale)

par station et par passage). Ce sont 227 données de bourdons et 27 espèces contactées pour 36 espèces connues sur l'ensemble de la chaine des Pyrénées et 30 espèces connues sur le périmètre du PNP (ISERBYT, 2009).

Les premières analyses montrent une sur-représentativité des bourdons à certaines altitudes liée à une sur-représentativité des stations sur certaines tranches d'altitudes. On observe également les premiers spectres altitudinaux généraux des bourdons dans les Pyrénées mais aussi des taxons indicateurs des landes à Ericacées (espèces oligolectiques sur Ericacées) qui constituent un cortège landicole cible particulièrement intéressant à suivre (*Bombus jonellus, Bombus magnus*).

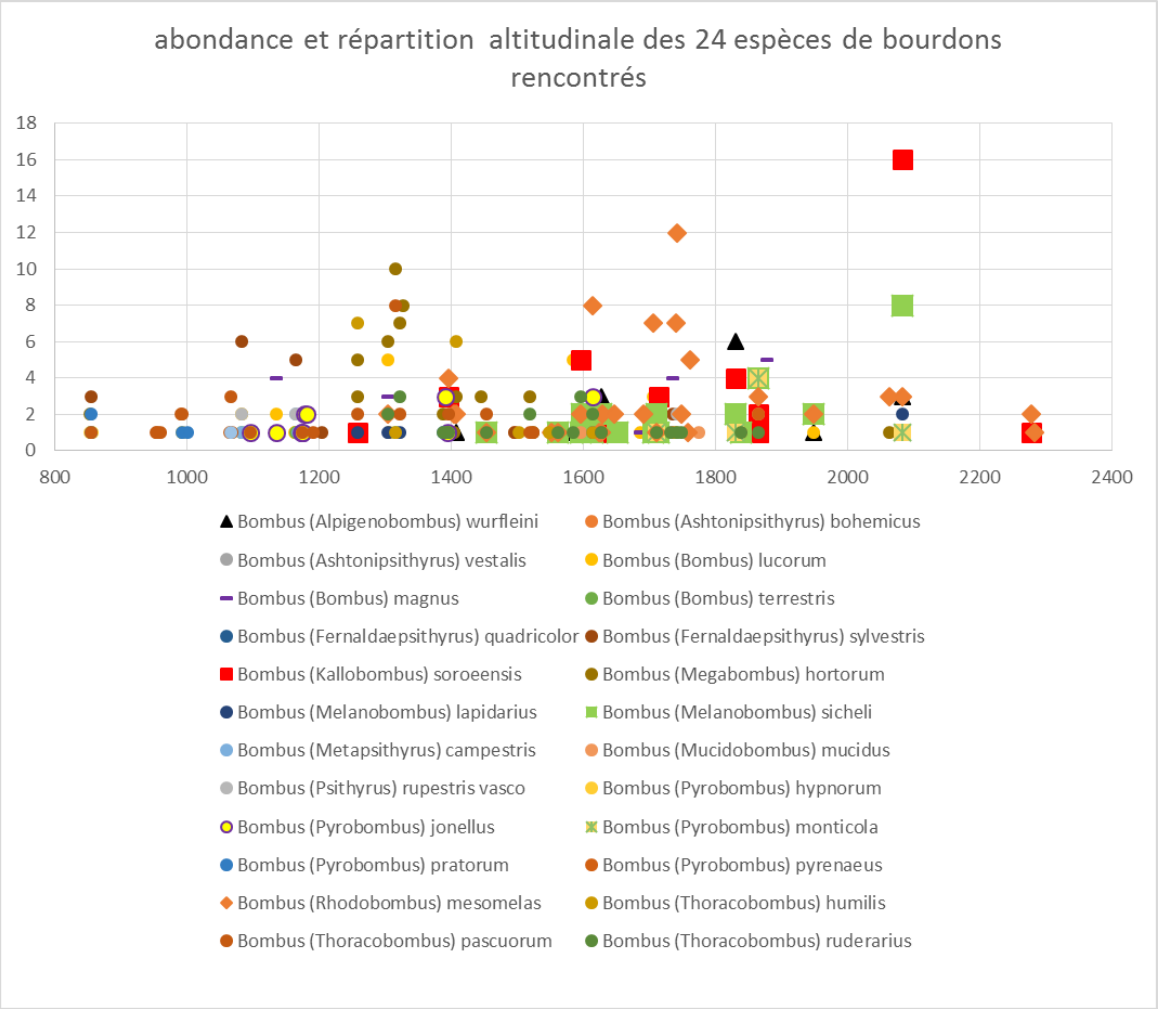


Fig. 114. Abondance et répartition des bourdons lors de l'échantillonnage 2016

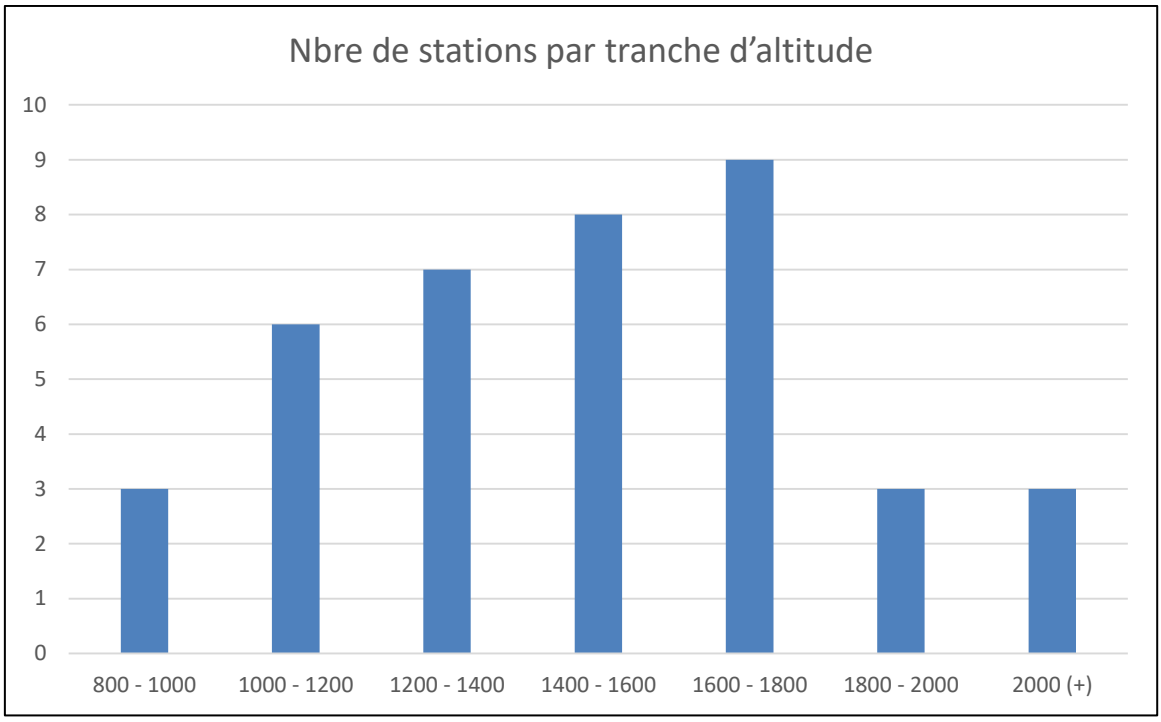


Fig. 115. Nombre de stations échantillonnées, par tranches altitudinales

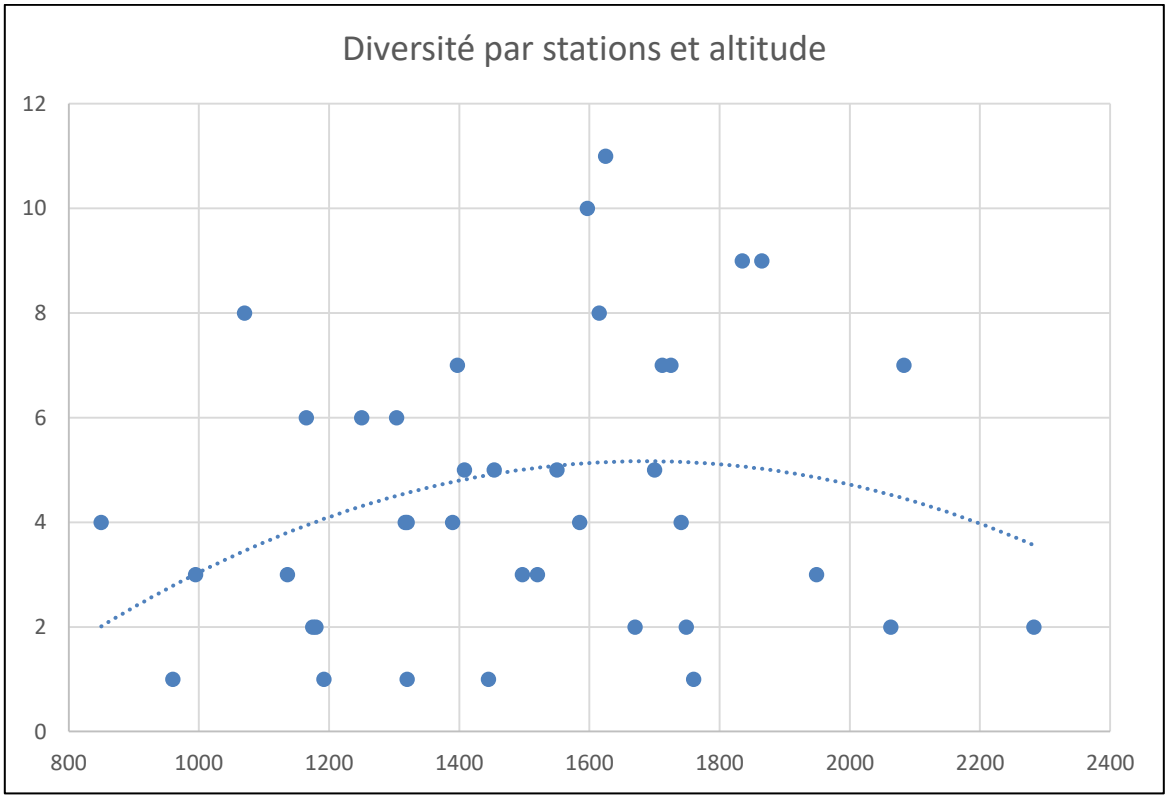


Fig. 116. Diversité stationnelle et altitude

En 2017 des ajustements se feront avec la suppression de certaines stations comprises entre 1000 et 1200 m. (1 station), 1200–1400 m. (1 ou 2 stations), 1400– 1600 m. (2 ou 3 stations),

1600 – 1800 m. (3 ou 4 stations). Deux nouvelles stations au-dessus de 1800 mètres d'altitude seront intégrées (Aspe-Somport et Ossau-Pourtalet) ainsi que 2 stations au-dessus de 2000 mètres d'altitude (Azuns et Anglas) (Fig. 117).

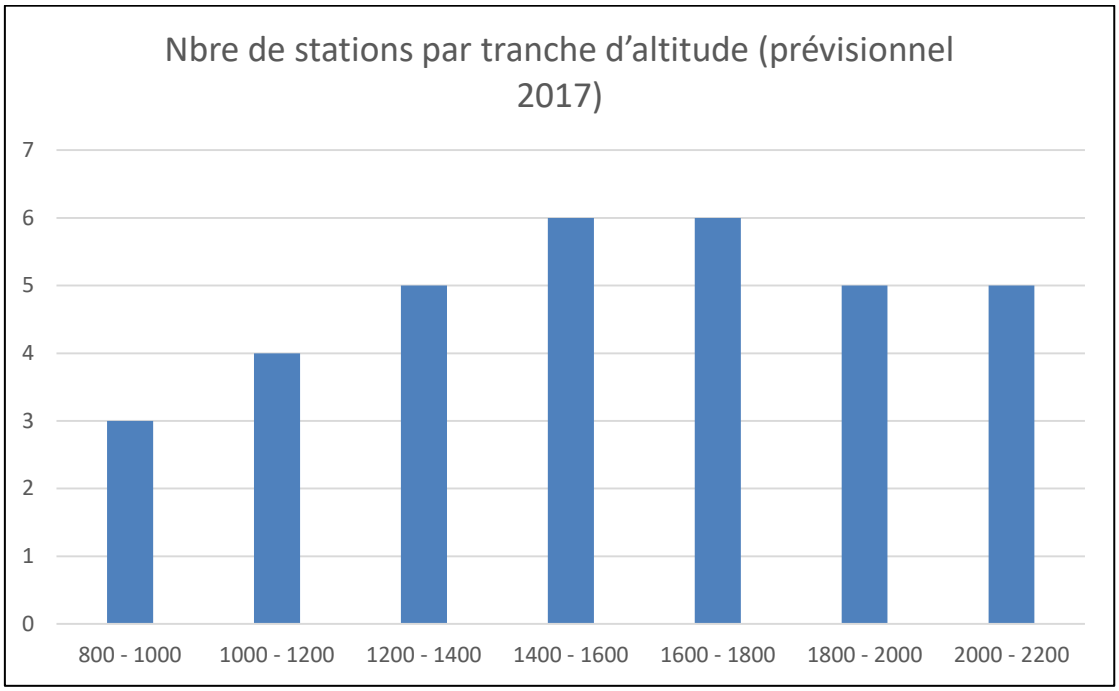


Fig. 117. Nombre de stations par tranches altitudinales de 200 m. (prévisionnel 2017

Se pose aussi la question d'un éventuel biais d'échantillonnage lié au passage horaire systématique à une heure identique sur la plupart des stations. La possibilité de faire un tirage automatique des ordres de passage est envisagée mais elle créera une vraie contrainte organisationnelle et temporelle liée à la logistique et le timing d'accès aux différents secteurs. La distance, la disposition spatiale et la densité temporelle du monitoring laissent peu de place à des plages de temps d'attentes avec des transferts de vallées quasi minutés.

Analyse 2017 : à partir de 2017 le monitoring débutera son fonctionnement en routine. Il permettra donc des premières analyses de biodiversité sur la base d'un échantillonnage normé.

Analyse historique :

L'exploitation des données historiques est possible suite à des inventaires ciblés et spécifiques sur le PNP (Iserbyt, 2009). Toutefois il faut voir dans quelle mesure ces données seront exploitables pour la modélisation des tendances évolutives. Il en est de même pour un jeu de données original et inédit (données personnelles David Genoud) établi entre 2004 et 2009 sur la partie occidentale du massif (secteurs Aldudes et Iraty).

7.3.3 Résultats exploratoires

Les résultats attendus à l'avenir sont assez divers et sont basés sur l'analyse de la structure des communautés de bourdons en fonction des sites (secteurs), du gradient d'altitude, des variables météorologiques.

- Indice d'abondance, Indice de richesse spécifique, Indice de diversité spécifique
- Assemblage des espèces (cortège par sites et évolution)
- Homogénéité entre les réplicas d'échantillonnage
- Homogénéité intra-stations (entre les stations et les sites) et intra massif pyrénéens et sous-massifs, PNP (bibliographie existante) et inter-massifs européens (bibliographie)
- variations altitudinales des cortèges (intra-annuelles (saisonnière) et interannuelles, exposition)
- Analyse données historiques (1970-1980-2000) et tendances évolutives (1970 – 2020). Influence des variables environnementales – Modèle linéaire généralisé (GLM)
- Mesure et analyse de l'évolution morphologique des bourdons (longueur de langue, largeur inter-tégulaire, longueur d'aile, taille des individus)
- Analyse des traits biologiques et morphologiques au regard des indices établis

7.3.4 Discussion et perspectives de suivi

La première phase exploratoire en 2016 montrent que plusieurs aspects méthodologiques et du monitoring sont à clarifier et valider d'ici la prochaine campagne (gamme d 'altitude et nombre de stations, heure d'échantillonnage). Ces adaptations seront donc à faire en 2017 afin d'installer l'échantillonnage dans une routine de monitoring. Les choix de nouvelles stations à hautes altitudes sont en partie faits mais le retrait des stations les moins pertinentes restent à faire sur la base de l'analyse de la diversité stationnelle relevée en 2016.

Scientifiquement des références bibliographiques de Suède, Suisse, Europe et Amérique du Nord (Bommarco *et al.*, 2012 ; Pradervand *et al.*, 2014 ; Kerr *et al.*, 2015 ; Miller-Struttmann *et al.*, 2015) nous indiquent que l'on est sur une voie encore exploratoire mais déjà testée et pertinente avec notamment, à moyen terme, le développement d'un outil de modélisation de l'évolution des bourdons dans les Pyrénées (appréhension des mécanismes de remplacement et d'extinction).

Nous pourrons également intégrer progressivement des variables climatiques enregistrées (intégration de modèles climatiques, intégration à des modèles d'extinction/répartition). À termes d'autres intégrations et analyses (plusieurs paramètres éco-morphologiques, traits biologiques) pourront être effectuées

Enfin il parait fondamental de mettre en place certaines analyses statistiques en routine avec les (différents) autres programmes « cortèges » (lépidoptères p. ex.) pour de futures méta-analyses des réponses des différents groupes faunistiques ou variations de réponses selon les cortèges ou les groupes taxonomiques au réchauffement climatique.

7.4 Grenouille des Pyrénées

Rédaction : Matthieu Berroneau

La Grenouille des Pyrénées *Rana pyrenaica* Serra-Cobo 1993 est une espèce endémique de la partie occidentale du massif. C'est une grenouille strictement torrenticole. C'est-à-dire qu'elle utilise des torrents frais et oxygénés pour sa reproduction. Le changement climatique pourrait jouer un rôle négatif sur la réussite de la reproduction de l'espèce, notamment par le biais d'une augmentation des variations du régime hydrique, entraînant une mortalité accrue des têtards.

7.4.1 Plan d'échantillonnage

- Sélection des sites

L'espèce présente une répartition extrêmement réduite en Pyrénées-Atlantiques, et le choix s'est porté sur le fait de suivre l'ensemble des sites de présence de l'espèce.

- Description des sites choisis

Les sites correspondent donc à 5 torrents de moyenne montagne : trois au Pays Basque, respectivement sur les communes d'Esterençuby, de Lecumberry et de Larrau, et deux en Vallée d'Aspe, sur la commune de Sarrance (Fig. 118, Tab. LIII).

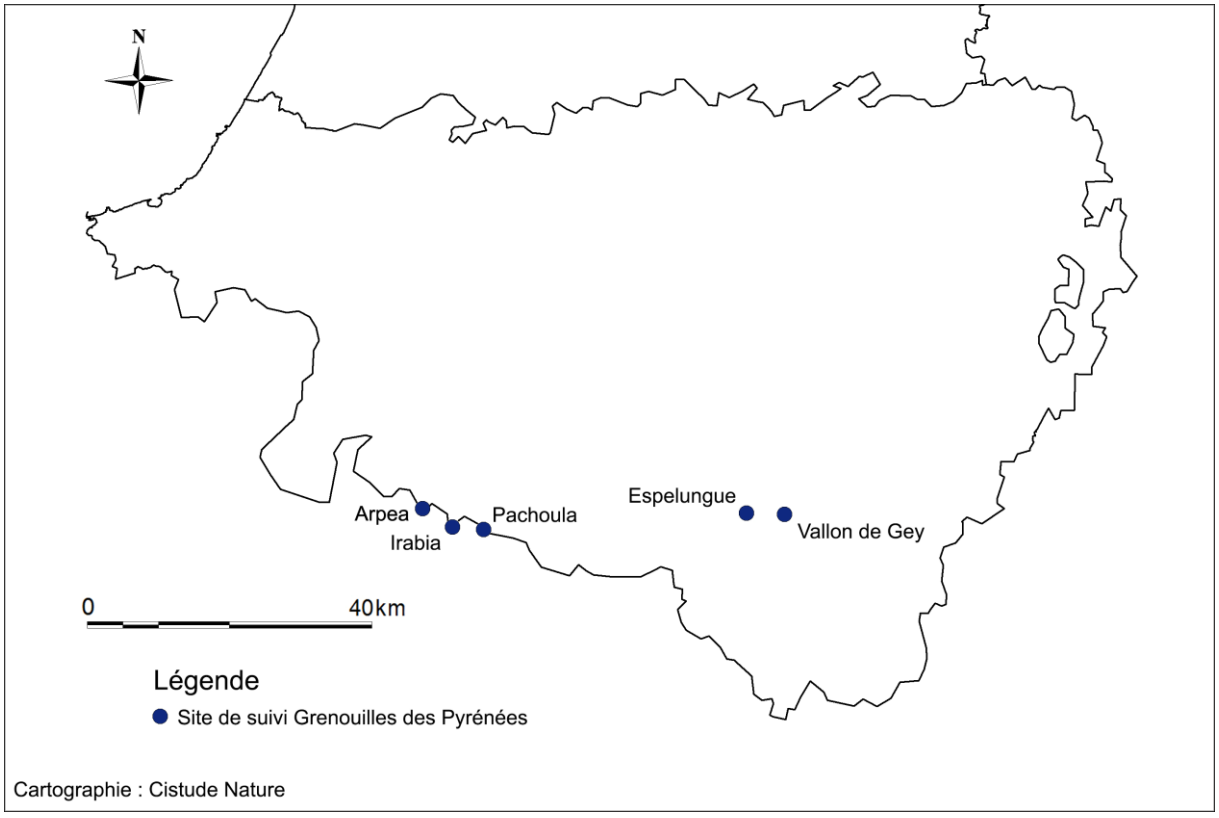


Fig. 118. Situation géographique des sites d'études validés dans la cadre du suivi de la Grenouille des Pyrénées.

Pour rappel, ces sites étaient déjà suivis depuis 2012 dans le cadre d'un programme de conservation de la Grenouille des Pyrénées. L'analyse des premiers résultats avaient d'ailleurs fait l'objet d'une publication (BERRONEAU *et al.*, 2015).

Tab. LIII. Caractéristiques des sites étudiés dans le cadre du suivi Grenouille des Pyrénées

Département Commune	Dénomination	Type d'habitat	Longueur du tronçon	Statut	Code statut	Propriétaire Gestionnaire	Accord	Structure de suivi et nom de l'observateur
Pyrénées-Atlantiques - Esterençuby	Arpea	Torrent de moyenne montagne	900 m	N2000, ZNIEFF 2		?		Cistude Nature - Matthieu Berroneau
Pyrénées-Atlantiques - Lecumberry	Irabia	Torrent de moyenne montagne	800 m	N2000, ZNIEFF 2		ONF ?		Cistude Nature - Matthieu Berroneau
Pyrénées-Atlantiques - Larrau	Pachoula	Torrent de moyenne montagne	200 m	N2000, ZNIEFF 1 & 2		ONF		Cistude Nature - Matthieu Berroneau
Pyrénées-Atlantiques - Sarrance	Espelungue	Torrent de moyenne montagne	750 m	N2000, PNP, ZNIEFF 2		ONF ?		Cistude Nature - Matthieu Berroneau
Pyrénées-Atlantiques - Sarrance	Vallon de Gey	Torrent de moyenne montagne	580 m	N2000, PNP, ZNIEFF 1 & 2		ONF ?		Cistude Nature - Matthieu Berroneau

- **Définition et positionnement des points d'échantillonnage**

Le protocole de suivi est basé sur un comptage répété des têtards de Grenouille des Pyrénées, au sein des différents sites, c'est-à-dire au sein de tronçons des différents torrents utilisés pour la reproduction de l'espèce. Au sein de ces sites sont réparties des placettes d'une longueur de 5 m environ. Le nombre de placettes dépend de la longueur du tronçon de torrent concerné par le suivi (Tab. LIV, Fig. 119).

Tab. LIV. Caractéristiques des transects étudiés dans le cadre du suivi Grenouille des Pyrénées

Dénomination du site	Longueur (en m)	Altitude (en m)	Point GPS de départ	Point GPS d'arrivée
Arpea	900	833-918	[redacted]	[redacted]
Irabia	800	830-857	[redacted]	[redacted]
Pachoula	200	1023-1070	[redacted]	[redacted]
Espelungue	750	414-494	[redacted]	[redacted]
Vallon de Gey	580	545-644	[redacted]	[redacted]

Fig. 119. Emplacements des placettes du site "Espelungue" en vallée d'Aspe.

- Méthode de relevés et détermination des espèces

D'aval en amont, les têtards sont précisément dénombrés pour chaque placette, ainsi que différents relevés complémentaires (profondeur, débit, présence d'autres espèces, etc.). Le protocole complet et détaillé est disponible en Annexe 26.

Le protocole est une émanation du protocole PopAmphibien, proposé par la Société Herpétologique de France. Il a été adapté aux caractéristiques écologiques et biologiques de l'espèce (adultes rares et peu détectables, têtards peu discrets et aisément identifiables). Une clé de détermination est proposée dans le protocole (BERRONEAU, 2015).

- Conditions météorologiques requises

Le comptage des têtards ne nécessite pas de conditions météorologiques particulières. Il faut toutefois éviter les jours de pluie qui brouille la surface de l'eau et complique le comptage, et les jours suivants les épisodes pluvieux importants qui peuvent entraîner une mise en suspension de particules trop importantes, là aussi défavorable à un comptage optimale.

- Campagne de relevés

Chaque année, les placettes sont prospectées trois fois durant la saison de reproduction de l'espèce. L'optimum de détection des têtards coure depuis avril pour les secteurs de basse altitude jusqu'à juillet pour les secteurs les plus hauts. L'idéal est donc de réaliser le 1er comptage fin avril / début mai, le 2ème entre mi-mai et début juin, le 3ème entre mi-juin et début juillet.

- Fiche de relevés

Deux fiches de renseignements doivent être remplies au total (Annexe 26).

– La première fiche "Données de présence & Covariables d'échantillonnage " renseigne, pour chaque placette et chaque passage, les dénombrements concernant l'espèce ainsi que les variables qui différent entre chaque passage (température, hauteur d'eau, etc.).

– La deuxième fiche "Description de la placette" permet un descriptif précis de chaque placette. Ces variables sont fixes durant les différents passages (ex. : altitude).

7.4.2 Analyses et statistiques

Les données sont analysées par modèle N-mélange, à l'aide du logiciel R et du package unmarked.

7.4.3 Résultats exploratoires

Depuis 2012, un indice d'abondance des têtards et son écart-type associé sont calculés pour chaque saison de reproduction. Celui-ci est alors comparable d'année en année pour chaque site. Un exemple de résultat est proposé figure suivante (Fig. 120).

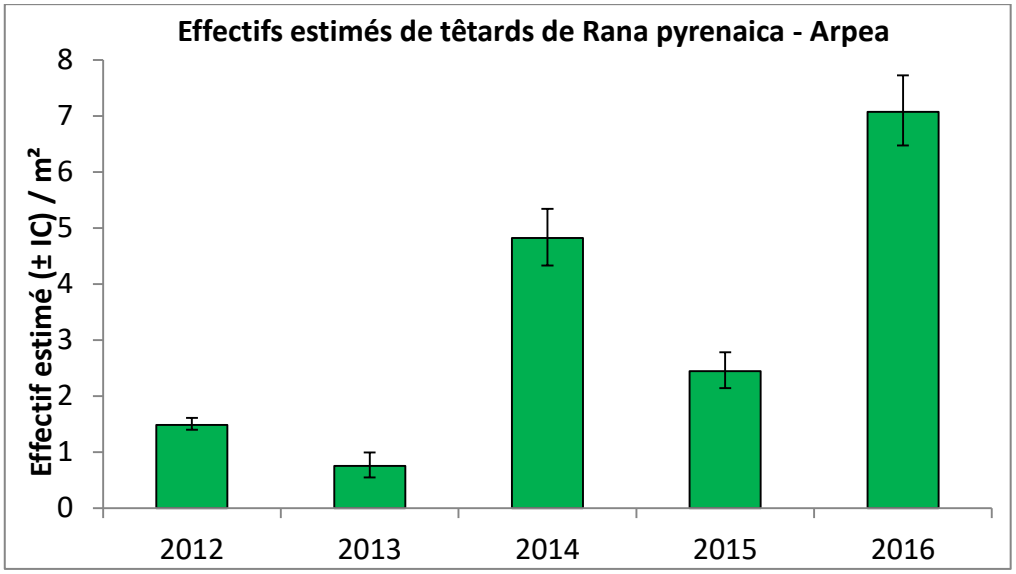


Fig. 120. Estimation de l'abondance des têtards sur le site Arpéa, années 2012 à 2016.

7.4.4 Discussion et perspectives de suivi

Cistude Nature réalise le suivi de la reproduction de la Grenouille des Pyrénées depuis 2012. Ces premiers travaux sont très importants pour les perspectives futures de suivi. Il conviendra en premier lieu de garantir la continuité de ce suivi, puis de travailler à la mise en relation de la variation des indices d'abondance avec les facteurs extérieurs (variations des débits en premier lieu).

Enfin il sera étudié la possibilité de mettre en place des suivis allégés sur des sites annexes, non colonisés aujourd'hui, mais pouvant potentiellement servir de refuges pour les populations sur le long terme.

7.5 Lézard de Bonnal et lézards gris

Rédaction : Matthieu Berroneau

Le Lézard de Bonnal *Iberolacerta bonnali* (Lantz, 1927) est l'une des trois espèces d'Iberolézard endémiques de la chaîne pyrénéenne. Ces lézards vivent principalement entre 1 800 m et 2 200 m d'altitude. Aujourd'hui, la principale menace qui semble peser sur ces trois espèces est une potentielle élévation des températures. Celles-ci pourraient en effet permettre la remontée d'espèces compétitrices (par exemple le Lézard des murailles) voire prédatrices (par exemple la Coronelle lisse).

Le Lézard catalan *Podarcis liolepis* (Boulenger, 1905) est une espèce d'affinité ibérique, cantonnée, en Nouvelle-Aquitaine, à quelques habitats rupestres très ensoleillées (affleurements rocheux bien exposés) du département des Pyrénées-Atlantiques. Alors qu'elle est connue d'altitudes bien supérieures dans le reste de son aire de répartition. Cette espèce semble trouver sa limite altitudinale aux alentours des 900 mètres, remplacée ensuite par le Lézard des murailles (BERRONEAU *et al.*, 2012). Une élévation potentielle des températures pourrait donc permettre sa remontée progressive sur certains sites, au détriment du Lézard des murailles.

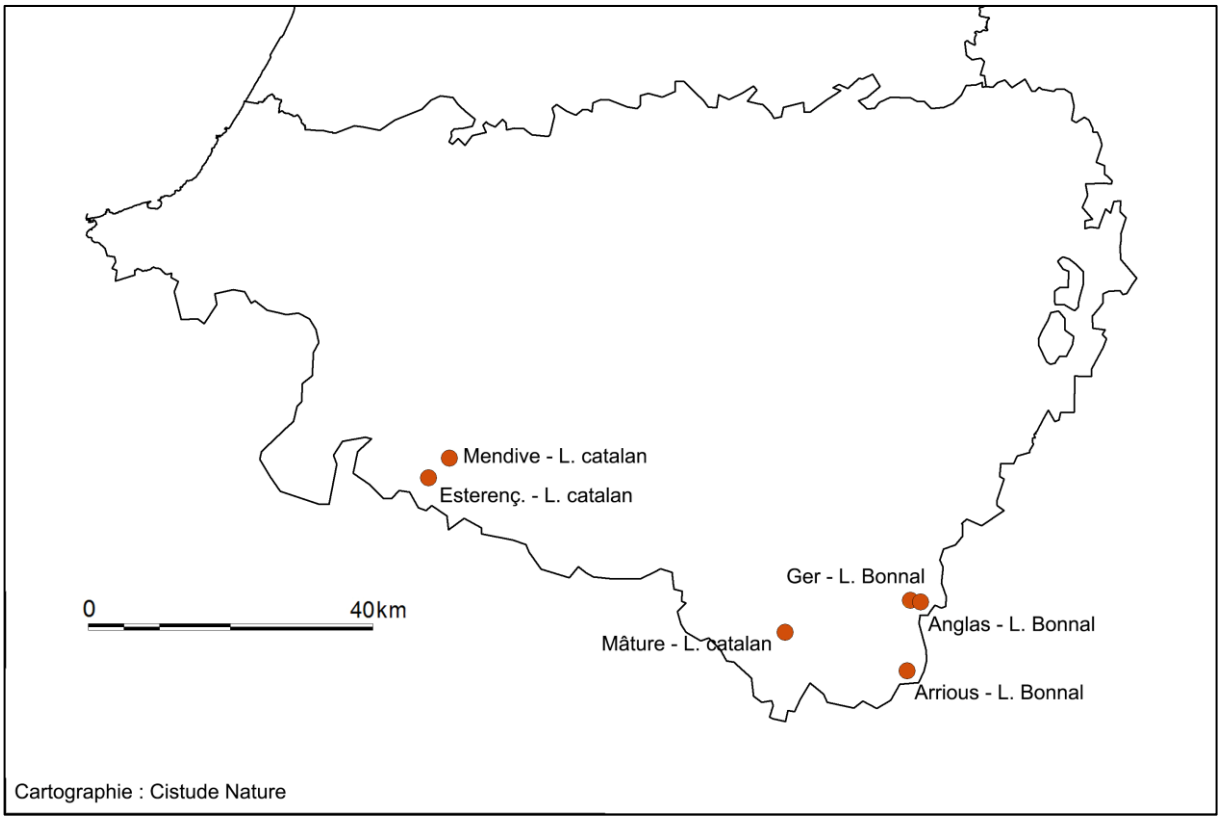
7.5.1 Plan d'échantillonnage

- Sélection des sites

La sélection s'est portée sur des sites facilitant la mise en évidence d'éventuellement mouvements populationnels. Ces sites sont parfois habités par une espèce seule, parfois par deux espèces déjà en concurrence.

- Description des sites choisis

Il a été choisi trois sites pour le suivi du Lézard de Bonnal et trois sites pour le suivi du Lézard catalan. Deux sites sont situés dans le Pays basque, sur les communes d'Esterençuby et de Mendive et concernent le Lézard catalan. Les autres sont situés en vallée d'Aspe et vallée d'Ossau, sur les communes d'Etsaut, de Laruns et d'Eaux-Bonnes (Tab. LV, Tab. LVI).



Tab. LV. Situation géographique des sites d'études validés dans la cadre du suivi des "Lézards gris".

Tab. LVI. Caractéristiques des sites étudiés dans le cadre des suivis "Lézards gris"

Département Commune	Dénomination	Type d'habitat	Longueur du tronçon	Statut	Code statut	Propriétaire Gestionnaire	Accord	Structure de suivi et nom de l'observateur
Pyrénées-Atlantiques - Esterençuby	Estençuby	Série d'Affleurements rocheux	1800 m	N2000, ZNIEFF2		?		Cistude Nature - Matthieu Berroneau
Pyrénées-Atlantiques - Mendive	Mendive	Série d'Affleurements rocheux	2200 m	N2000		ONF ?		Cistude Nature - Matthieu Berroneau
Pyrénées-Atlantiques - Etsaut	Chemin de la Mâture	Falaise	1500 m	N2000,PNP		ONF		Cistude Nature - Matthieu Berroneau
Pyrénées-Atlantiques - Eaux-Bonnes	Ger	Pelouses alpines et éboulis	2000 m	N2000, PNP, ZNIEFF1		ONF ?		Cistude Nature - Matthieu Berroneau

Département Commune	Dénomination	Type d'habitat	Longueur du tronçon	Statut	Code statut	Propriétaire Gestionnaire	Accord	Structure de suivi et nom de l'observateur
Pyrénées-Atlantiques - Eaux-Bonnes	Anglas	Pelouses alpines et éboulis	1500 m	N2000, PNP		ONF ?		Cistude Nature - Matthieu Berroneau
Pyrénées-Atlantiques - Laruns	Arrious	Torrent de moyenne montagne	2300 m	N2000, PNP, ZNIEFF1		ONF ?		Cistude Nature - Matthieu Berroneau

- **Définition et positionnement des points d'échantillonnage**

Le protocole de suivi est basé sur un comptage des espèces concernées (Lézard catalan, Lézard de Bonnal, Lézard des murailles et Lézard vivipare le cas échéant) sur les sites d'études, c'est-à-dire au sein de placettes ou le long de transects placés au préalable. Le nombre de placettes et/ou la longueur des transects dépend du contexte du site (superficie, répartition des populations, etc.) (Tab. LVII, Fig. 121, Fig. 122).

Tab. LVII. Caractéristiques des transects étudiés dans la cadre des suivis "Lézard gris"

Dénomination du site	Longueur (en m)	Altitude (en m)	Point GPS de départ	Point GPS d'arrivée
Esterençuby	1800 m - 6 placettes	580-950	[redacted]	[redacted]
Mendive	2200 m - 8 placettes	640-890	[redacted]	[redacted]
Etsaut	1500 m - transect	765-1225	[redacted]	[redacted]
Ger	2000 m - transect	1640-2240	[redacted]	[redacted]
Anglas	1500 m - transect	1965-2410	[redacted]	[redacted]
Arrious	2300 m - transect	1800-2260	[redacted]	[redacted]

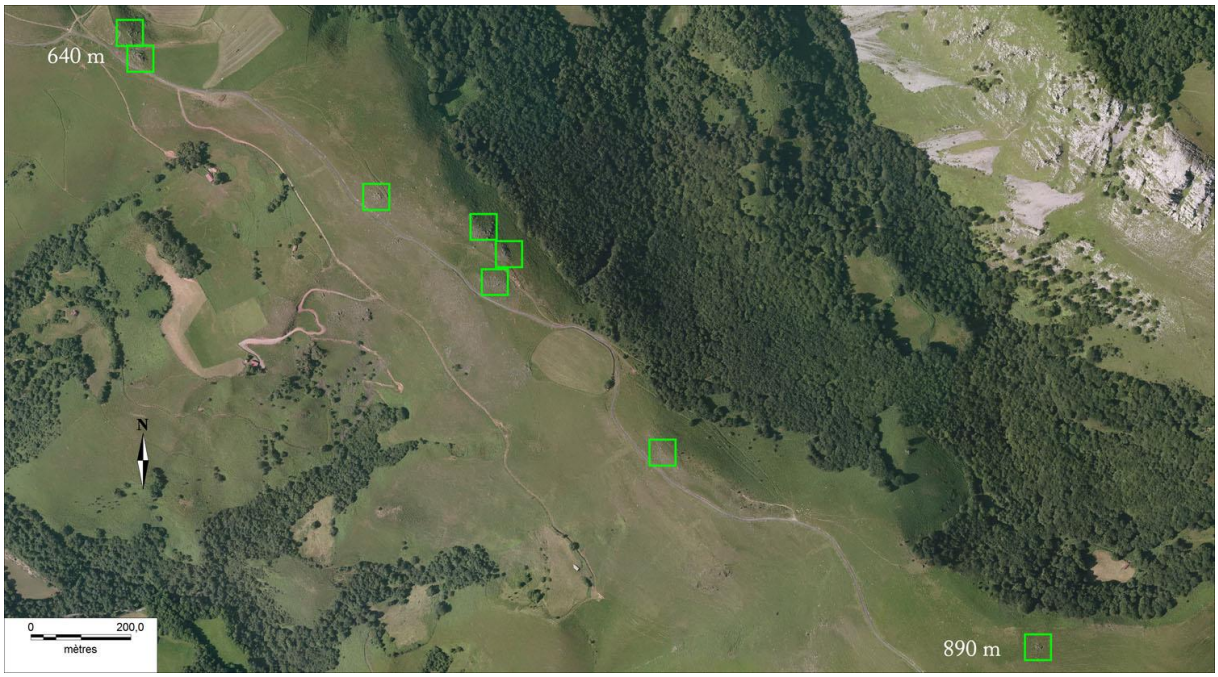


Fig. 121. Disposition des placettes du site [redacted] (Lézard catalan)

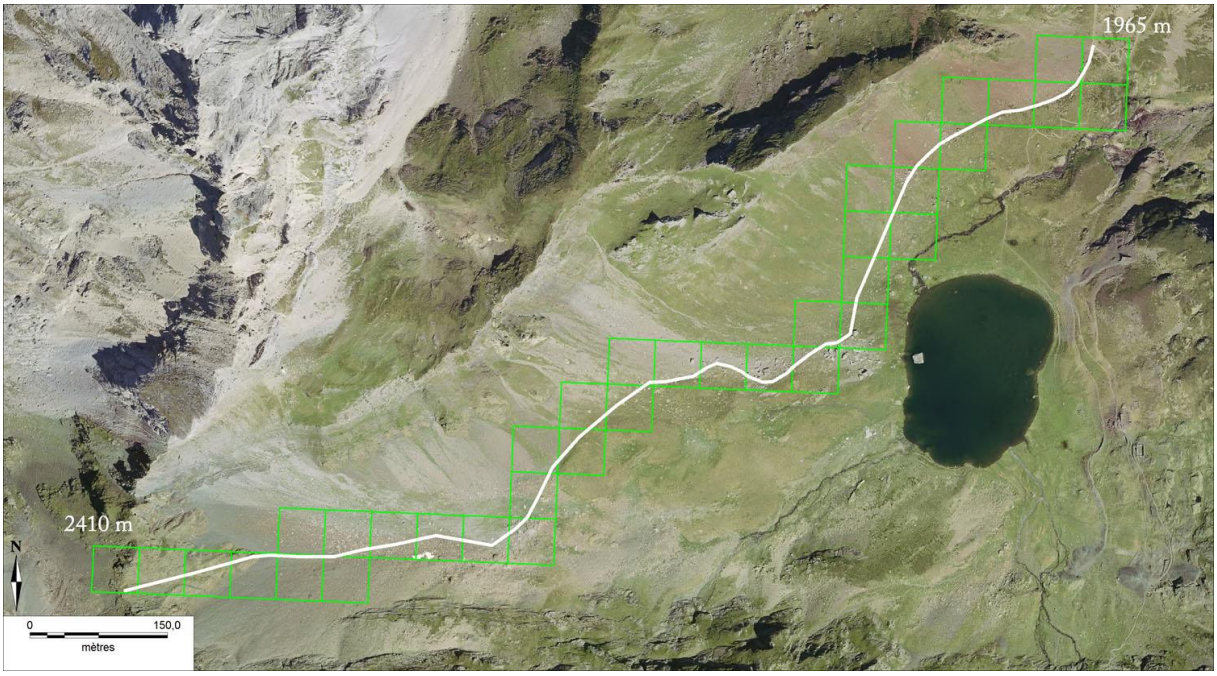


Fig. 122. Disposition du transect du site [redacted] (Lézard de Bonnal)

- Méthode de relevés et détermination des espèces

Le détail de la méthode est proposé en Annexe 27. La prospection se résume de la façon suivante :

Sur placette : observation et dénombrement des lézards avec une prospection lente et aléatoire. 10 minutes par placettes maximum. 3 passages par placettes espacées d'une semaine minimum.

Sur transects : déplacement lent avec observation des lézards. Dénombrement et géolocalisation systématique des différents individus. Durée de prospection chronométrée et équivalente à chaque passage. 3 passages espacés d'une semaine minimum.

Une clé de détermination est proposée dans le protocole (BERRONEAU, 2015).

- Conditions météorologiques requises

L'observation des lézards nécessite des conditions météorologiques optimales : ciel dégagé, température de l'air comprise entre 15° et 25°, vent faible voire nul. Les lézards sont invisibles par temps trop froid ou trop chaud.

- Campagne de relevés

3 passages par placettes et 3 passages par transects espacés d'une semaine minimum.

- Fiche de relevés

Deux fiches sont complétées pour chaque site (covariables de site et d'échantillonnage) et pour chaque observation d'individu unique (données spécifiques) (Annexe 27).

7.5.2 Analyses et statistiques

Les données seront analysées par modèle N-mélange, à l'aide du logiciel R et du package unmarked.

7.5.3 Résultats exploratoires

Un relevé test a été réalisé pour le Lézard catalan sur le site "Chemin de la Mâture" et pour le Lézard de Bonnal sur le site "Arrious".

Les figures suivantes restituent les résultats de ces passages tests. Ils illustrent parfaitement l'actuelle ségrégation entre l'espèce cible et le Lézard des murailles. Cette limite pourrait évoluer au cours du temps, ce qui sera facilement mis en évidence sur la base de nos résultats (Fig. 123– Fig. 126).

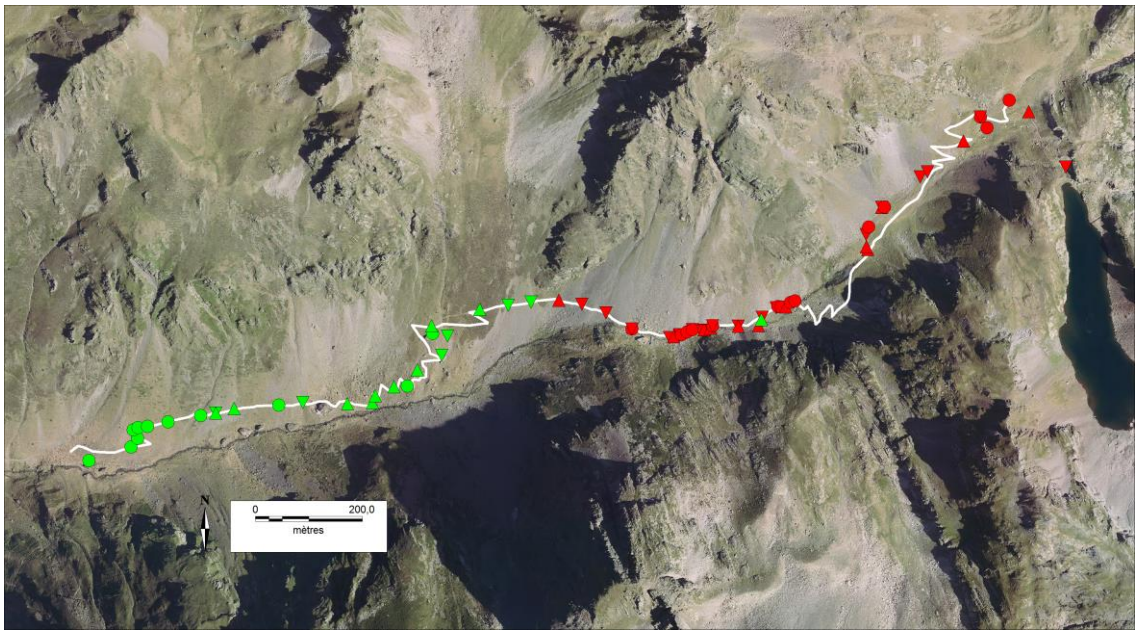


Fig. 123. Répartition des lézards le long du transect Arrious, année 2016. Vert : Lézard des murailles, Rouge : Lézard de Bonnal

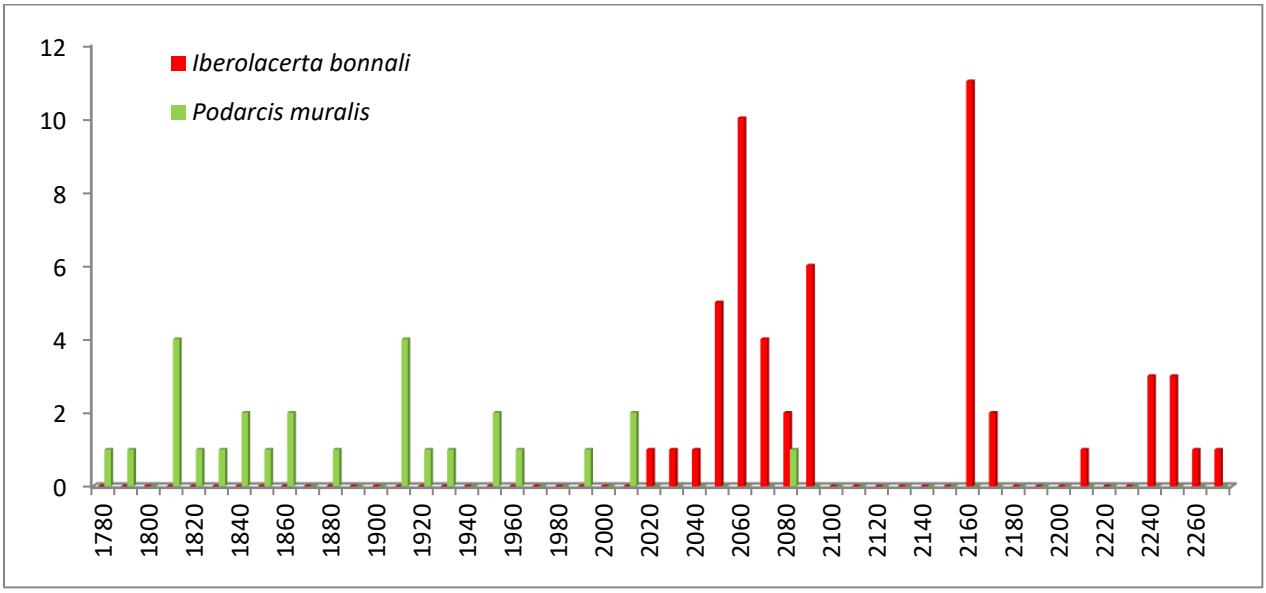


Fig. 124. Répartition des lézards le long du transect Arrious, année 2016, reportée sur un graphique de tranche altitudinale

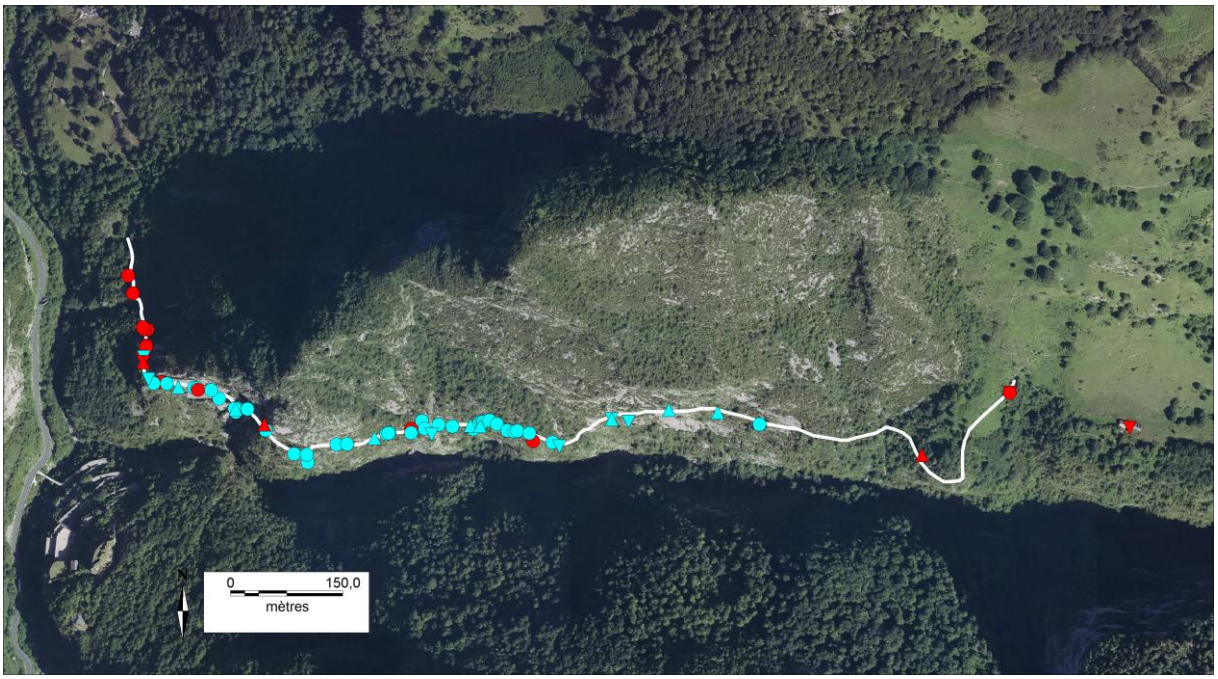


Fig. 125. Répartition des lézards le long du transect Mâture, année 2016. Bleu : Lézard catalan, Rouge : Lézard des murailles

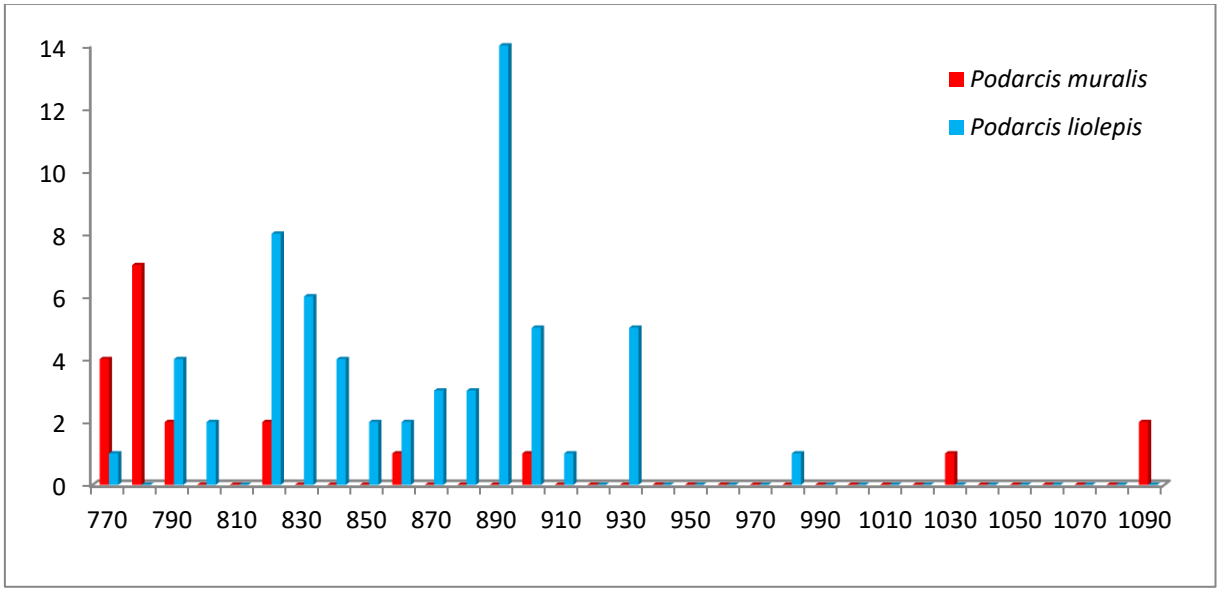


Fig. 126. Répartition des lézards le long du transect Mâture, année 2016, reportée sur un graphique de tranche altitudinale

7.5.4 Discussion et perspectives de suivi

La continuité du suivi devra être garantie dans le temps pour produire des indices annuels d'abondance et de répartition qui pourront être comparés sur le long terme. Le travail devra ensuite porter sur la mise en place d'une méthode efficace permettant de vérifier les liens entre de potentielles variations de répartition / abondance et les variations climatiques. Enfin, un travail de coordination avec les structures mettant en place des suivis similaires sur le reste de la chaîne pyrénéenne est d'ores-et-déjà prévu.

7.6 Marmotte des Alpes

Rédaction : Thomas Ruys

La Marmotte des Alpes (*Marmota marmota*) est un mammifère de la famille des Sciuridés qui a la particularité d'hiberner. Sans un secteur du massif alpin, 20 ans de recherche ont montré que le réchauffement climatique était à l'origine d'une baisse de la condition physique des femelles au moment de la sortie de l'hibernation (TAFANI *et al.*, 2013). En effet, les femelles sont obligées de puiser plus dans leurs réserves en hiver du fait d'une diminution de la couche neigeuse (isolant thermique du gîte) au cours de l'hiver. Ce changement de métabolisme a pour conséquence une diminution de la taille des portées chez les femelles.

La question est donc de savoir si la population pyrénéenne est touchée par le même phénomène. L'étude sur le programme les Sentinelles du climat porte sur plusieurs colonies de la vallée d'Ossau (64).

7.6.1 Plan d'échantillonnage

- Sélection des sites

La Marmotte des Alpes est une espèce bien implantée dans le massif pyrénéen. Cependant cette espèce est classée « gibier », des individus sont donc susceptibles de disparaître au cours du temps à cause du facteur humain. Il a donc été décidé que les sites retenus pour des suivis à long terme devaient se trouver dans la zone cœur du Parc National des Pyrénées où la chasse est interdite.

En 2016, les prospections de sites ont eu lieu en vallée d'Ossau.

Au total, 80 familles de marmottes ont été recensées dont quelques-unes en dehors du Parc National des Pyrénées pour compléter les données de répartition demandées par le Parc (Fig. 127).

Sur ces 80 familles (qui représentent 80 sites), 26 ont été suivies en 2016 (Fig. 128).

Au final, 14 sites ont été sélectionnés pour un suivi à long terme dans le cadre du programme Sentinelles dont 2 restent une « option » du fait de l'aspect chronophage des suivis 2016 qui seront complétés par d'autres suivis en 2017 (Fig. 129, Tab. LVIII).

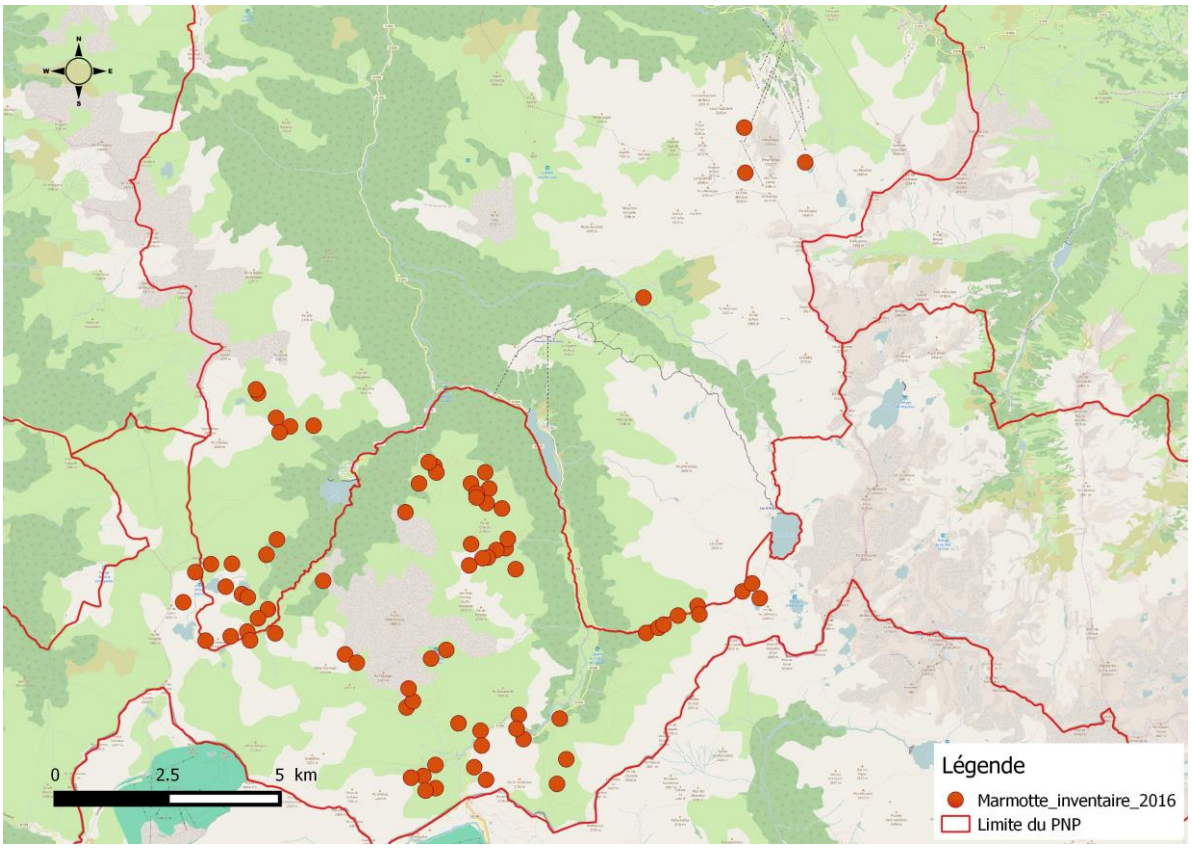


Fig. 127. Localisation des zones prospectées à Marmotte (N=80)

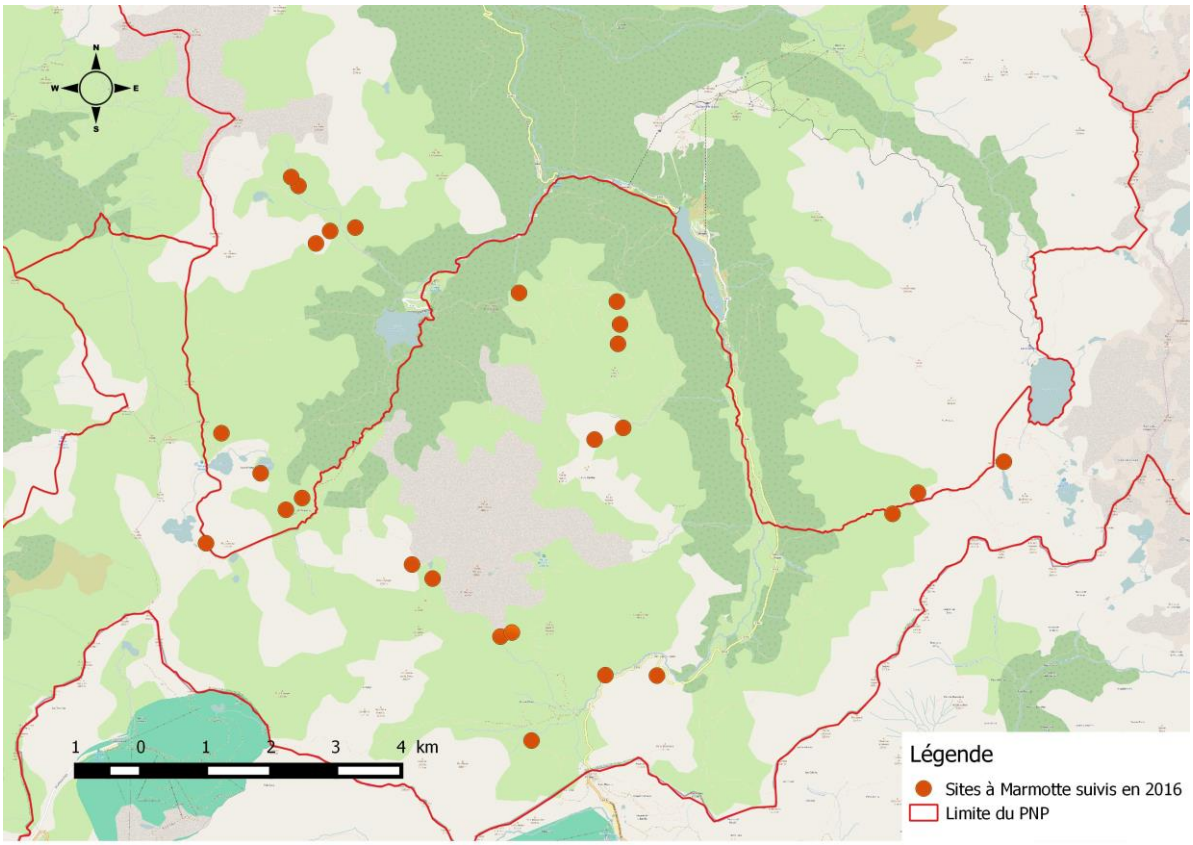


Fig. 128. Localisation des zones suivies en 2016 (N=26)

- Description des sites choisis

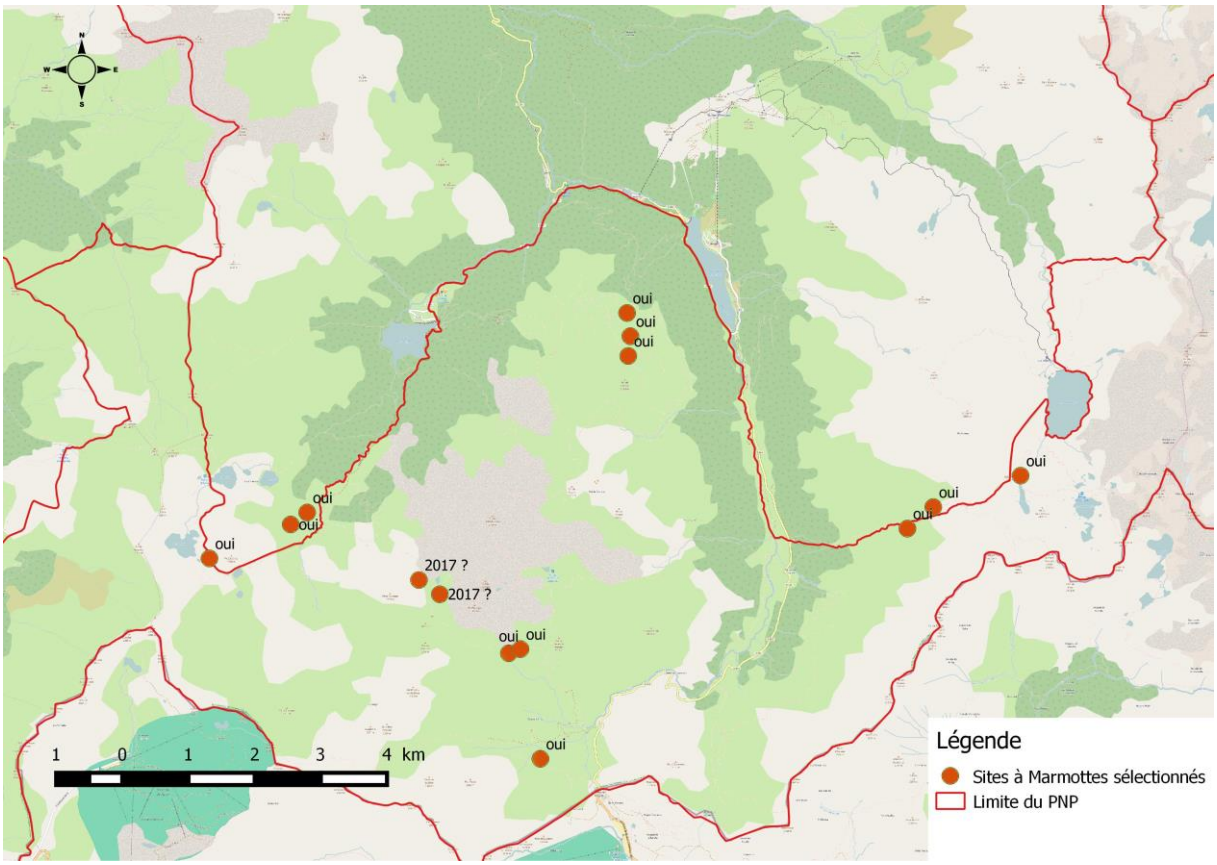


Fig. 129. Localisation des sites à Marmotte en vallée d'Ossau pour le programme Sentinelles (N=14)

Tab. LVIII. Caractéristiques des sites étudiés à Marmotte sélectionnés

Départ.	Commune	Dénomination	Type d'habitat	Tranche altitudinale (m)	Propriétaire Gestionnaire	Accord	Structure de suivi et nom de l'observateur
64	Laruns	Cirque d'Aneou 01	Pierrier/prairie d'altitude	1800-1900	Syndicat du Haut-Ossau	Oui	Cistude Nature - RUYS
64	Laruns	Cirque d'Aneou 02	Pierrier/prairie d'altitude	1900-2000	Syndicat du Haut-Ossau	Oui	Cistude Nature - RUYS
64	Laruns	Cirque d'Aneou 03	Pierrier/prairie d'altitude	2000-2100	Syndicat du Haut-Ossau	Oui	Cistude Nature - RUYS
64	Laruns	Vallon d'Arrius 01	Pierrier/prairie d'altitude	1700-1800	Syndicat du Haut-Ossau	Oui	Cistude Nature - RUYS
64	Laruns	Vallon d'Arrius 02	Pierrier/prairie d'altitude	1900-2000	Syndicat du Haut-Ossau	Oui	Cistude Nature - RUYS
64	Laruns	Vallon d'Arrius 03	Pierrier/prairie d'altitude	2200-2300	Syndicat du Haut-Ossau	Oui	Cistude Nature - RUYS
64	Laruns	Lacs d'Ayous 01	Pierrier/prairie d'altitude	1600-1700	Syndicat du Haut-Ossau	Oui	Cistude Nature - RUYS

Départ.	Commune	Dénomination	Type d'habitat	Tranche altitudinale (m)	Propriétaire Gestionnaire	Accord	Structure de suivi et nom de l'observateur
64	Laruns	Lacs d'Ayous 02	Pierrier/prairie d'altitude	1700-1800	Syndicat du Haut-Ossau	Oui	Cistude Nature - RUYS
64	Laruns	Lacs d'Ayous 03	Pierrier/prairie d'altitude	2000-2100	Syndicat du Haut-Ossau	Oui	Cistude Nature - RUYS
64	Laruns	Chérue 01	Pierrier/prairie d'altitude	1800-1900	Syndicat du Haut-Ossau	Oui	Cistude Nature - RUYS
64	Laruns	Chérue 02	Pierrier/prairie d'altitude	1900-2000	Syndicat du Haut-Ossau	Oui	Cistude Nature - RUYS
64	Laruns	Chérue 03	Pierrier/prairie d'altitude	2000-2100	Syndicat du Haut-Ossau	Oui	Cistude Nature - RUYS
64	Laruns	Peyreget	Pierrier/prairie d'altitude	2000-2100	Syndicat du Haut-Ossau	Oui	Cistude Nature - RUYS
64	Laruns	Peyreget	Pierrier/prairie d'altitude	2100-2200	Syndicat du Haut-Ossau	Oui	Cistude Nature - RUYS

Les sites ont été retenus en fonction de :

- leur emplacement géographique afin de déterminer des secteurs différents (*cf.* « Dénomination » dans le tableau I),
- chaque secteur comporte trois familles suivies en fonction de l'altitude du terrier principal par tranche altitudinale de 100 m entre 1 600 et 2 300 m,
- leur accessibilité,
- des possibilités de comptages des marmottons dans de bonnes conditions d'observation.

• Méthode de suivis

Le suivi est basé sur le comptage du nombre maximum de marmottons entre la sortie du terrier au début juillet et la mi-août, période à laquelle la distinction certaine jeune/subadulte devient plus délicate.

Chaque famille est observée à l'aide d'une longue-vue, pour éviter toute perturbation, pendant 1 h. Le nombre maximum de marmottons observés est ensuite noté par tranche de 10 min. Au bout d'une heure, on ne retient que le chiffre le plus haut. L'idéal est de pouvoir réaliser deux passages par famille entre juillet et août au matin (8h30-11h30), période pendant laquelle les marmottons sont les plus actifs. Un comptage peut être réalisé également en fin de journée (18h00-20h00), deuxième pic d'activité de la journée.

• Campagne de relevés

Le suivi est basé sur le comptage du nombre maximum de marmottons entre la sortie du terrier au début juillet et la mi-août, période à laquelle la distinction certaine jeune/subadulte devient plus délicate.

- Conditions météorologiques requises

Avant chaque comptage, la température de l'air, la vitesse du vent ainsi que la nébulosité sont relevées. En cas de pluie ou de vent fort, le comptage est annulé. Les dérangements (randonneurs, troupeau de brebis, chiens,...) sont également notés car ils obligent les marmottes à regagner leur terrier (Tab. LIX).

Tab. LIX. Conditions météorologiques requises pour les suivis

Température	3 à 25 °C
Nébulosité	-
Pluie	Pas de pluie
Vitesse du vent	< 20 km/h
Horaire	8h30-11h30 18h00-20h00

- Fiche de relevés

La fiche de comptage pour les marmottes se présente ainsi (Fig. 130):

Fche de comptage "Marmotte"				
Date :			Nébulosité :	
Secteur :			Vitesse du vent :	
			T° de l'air :	
Denomination_famille	**Heure**	**Jeunes**	**Adultes/Subadultes**	**Remarques**

Fig. 130. Fiche comptage « Marmotte ».

« Date » : date du comptage

« Secteur » : nom du secteur (lieu-dit) du comptage

« Nébulosité » : pourcentage de couverture nuageuse

« Vitesse du vent » : compris entre 0 (pas de vent) ; 1 (vent faible) ; 2 (vent fort) et 3 (vent très fort)

« T° de l'air » : température de l'air (en degrés Celsius, thermomètre portatif)

« Dénomination famille » : code donné à une famille exemple Anéou 1

« Heure » : heure du premier comptage de marmottons, puis toutes les 10 min pendant une heure soit sept modalités pour une famille

« Jeunes » : nombre de marmottons maximum observés durant les 10 min précédentes

« Adultes/Subadultes » : nombre d'adultes et de subadultes maximum observés durant les 10 min précédentes

« Remarques » : toute remarque pouvant contraindre le comptage comme le dérangement codé de 0) Pas de dérangement ; 1) Dérangement naturel (prédateur) ; 2) Dérangement d'origine anthropique (randonneurs, chien de troupeau,...).

7.6.2 Analyses et statistiques

En 2016, les prospections ont débuté le 12 avril pour se terminer le 9 juin. Ensuite, 20 jours de comptages ont été réalisés entre le 9 juillet et le 9 août soit 48 comptages au total.

Pour cette première année, sur le nombre de marmottons, il n'y aucun effet de l'exposition du terrier ($p=0,173$) ni de l'altitude ($p=0,537$). De même il n'existe pas de corrélation entre le nombre de jeunes et le nombre d'adultes/subadultes ($r=-0,245$, $p=0,36$).

L'observateur a toujours été le même. Les conditions météorologiques permettant un comptage ont été respectées. Par contre, à la suite de quelques tests empiriques, les marmottons semblent beaucoup plus actifs en matinée à partir de 8h30. Pour une même famille, les résultats étaient moins bons en fin de journée. L'essentiel des comptages a donc été réalisé en matinée (36/48 soit 75 %).

Sur les 48 comptages, 26 n'ont connu aucun dérangement (54 %), 14 un dérangement naturel (29 %) et 8 un dérangement de type anthropique (17 %). Sur ce dernier dérangement, un cas de prédation d'un chien de troupeau sur une marmotte a été répertorié ce qui a conduit à abandonner cette famille pour les suivis ultérieurs.

La plus grosse contrainte reste l'accès au site de comptage. En effet, à partir de l'emplacement de la voiture il faut entre 30 min et 2 h 30 pour atteindre les familles suivies en fonction de leur altitude. Ce qui fait qu'une famille située à 2 h 30 de marche ne pourra jamais être suivie pour un premier comptage matinal à 8 h 30.

7.6.3 Discussion et perspectives de suivi

Cette première année a permis de mettre en place un suivi de la Marmotte des Alpes pour la vallée d'Ossau en retenant au minimum 12 familles réparties en 4 secteurs avec 3 tranches altitudinales par secteur. Le protocole de comptage est relativement simple à mettre en œuvre mais nécessite un investissement physique conséquent de la part des observateurs.

De plus, contrairement à ce qui a été fait dans les Alpes, aucun protocole de capture de marmottons et de femelles a été mis en place à cause de la lourdeur du dispositif. Les seules données exploitables seront le nombre de marmottons en sortie de gîte par famille et les variables environnementales. L'essentiel des comptages doit donc être réalisé le plus tôt possible dès la sortie de gîte des marmottons afin de limiter la disparition naturelle ou non de marmottons ce qui biaiserait les résultats.

En 2017, les comptages se poursuivront en vallée d'Ossau sur ces 12 familles et de nouvelles prospections auront lieu pour trouver de nouvelles familles.

En effet, suite à une réunion du comité scientifique le 18/11/2016, il semble nécessaire de compter des familles ayant des tranches altitudinales bien marquées (notamment aux plus faibles altitudes) afin d'éventuellement montrer un effet de l'altitude à terme sur la phénologie des sorties de marmottes et de marmottons. La phénologie des sorties de marmottons sera également mieux prise en compte dans la mesure des possibilités d'accès. Une décision sera prise en ce qui concerne 2 familles de la vallée d'Ossau, sur le secteur de Peyreget, suivi par ailleurs pour d'autres espèces.

L'ensemble des données de présence est transmis au Parc National des Pyrénées

8. Perspectives de prise en compte de la vulnérabilité et de la résilience des sites d'étude

Rédaction : Fanny Mallard

Dans la démarche d'analyse globale du programme, il s'agit de replacer ces écosystèmes, avec leur taux de dégradation dans leur paysage (Fig. 131). Dans ce cadre, ils s'y retrouvent dispersés, chacun avec une aire, une forme de surface, des connexions... qui lui est propre. L'évaluation écologique résultante au sein du paysage nécessite la compréhension de leurs organisations et de leurs relations. Les paramètres de caractérisation spatiale de l'écosystème jouent un rôle important pour la conservation de la nature. C'est l'un des principaux thèmes que l'écologie du paysage aborde (GENELETTI, 2002). Le paysage est un niveau d'organisation supérieur à l'écosystème, c'est un écocomplexe. Pour comprendre le fonctionnement d'un système dynamique comme le paysage, il faut le replacer dans l'espace en étudiant les échanges entre les systèmes voisins (BUREL & BAUDRY, 1999).

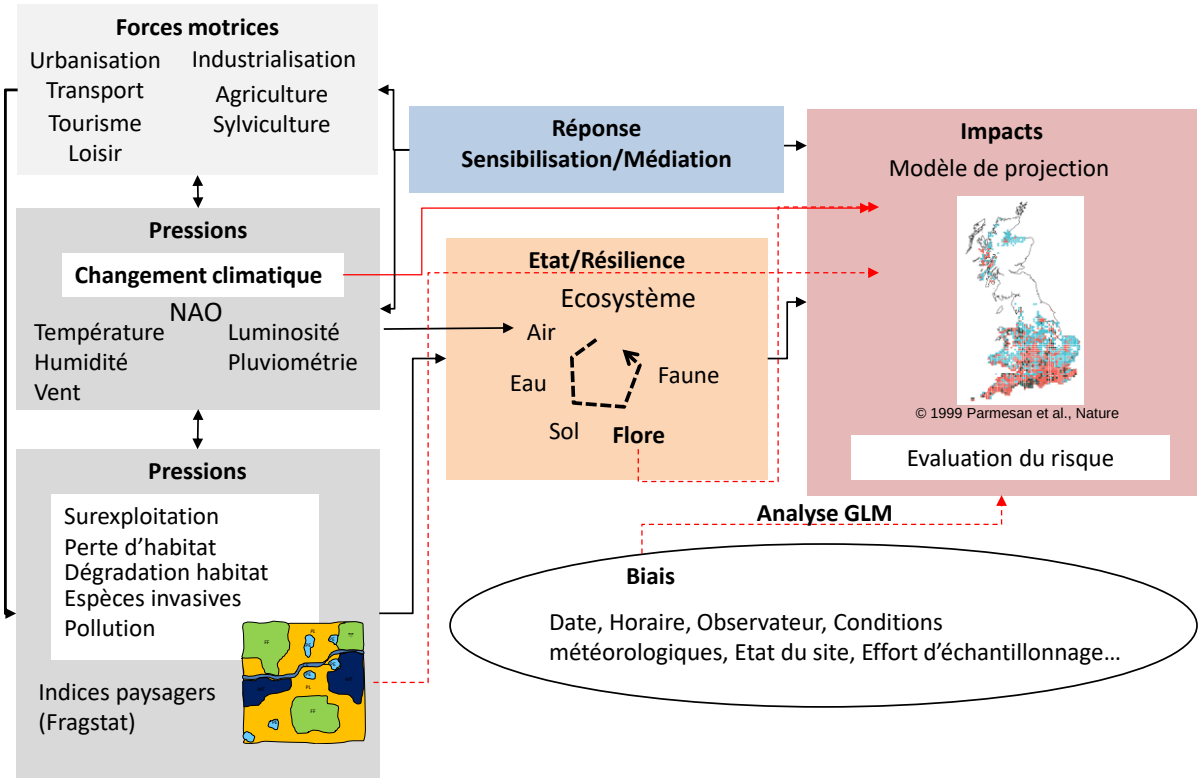


Fig. 131. Démarche d'analyse globale incluant les paramètres paysagers des sites d'étude.

Les études écologiques ont établi la relation principale quantitative suivante : plus les écosystèmes sont grands, (ROSENZWEIG, 1995 ; THOMPSON *et al.*, 2003 ; TJØRVE, 2003 ; VREUGDENHIL *et al.*, 2003 ; ROSENZWEIG, 2004), rapprochés (SAURA & RUBIO, 2010), plus ils peuvent maintenir leur biodiversité (GENELETTI, 2002).

Plus la surface d'un écosystème dans un paysage est petite et, toutes choses égales par ailleurs, plus son contenu en biodiversité est faible. Ce contenu en biodiversité diminue d'autant plus et d'autant plus vite que la surface est petite. Un effet de seuil limite en nombres d'individus fragilise la pérennité de l'espèce. Pour des raisons de fiabilité de conservation de la biodiversité, il est aussi nécessaire de conserver dans le paysage une diversité de milieux connectés avec plusieurs surfaces mutualisant les ressources. La présence d'espèces rares dans un milieu lui confère également une vulnérabilité plus importante. Un compromis doit s'établir dans le paysage (MALLARD, 2014). Les indicateurs suivants n'indiquent que des relations possibles simples entre les variables citées et la perte de biodiversité.

Sur les cartes SIG, les taches des écosystèmes naturels ont une étendue qui est la première variable pertinente parce que, toutes choses étant égales par ailleurs, les sites avec une aire importante peuvent potentiellement accueillir un plus grand nombre d'individus, soit statistiquement un plus grand nombre d'espèces et avec une plus forte abondance relative que les petits sites (GENELETTI, 2002). Mais la sensibilité potentielle de dégradation d'une tache par des pressions du climat, de pollution… est implicitement liée à une surface de forme « ramassée » (circulaire, carrée) dont le contenu en biodiversité a une valeur maximale par cette forme. Une forme ramassée est moins affectée par les effets de bord. Par contre une forme allongée de même surface ajoute un paramètre de fragilisation par sa forme. A la limite une tache très allongée devient plutôt un élément de corridor. Une grande tache « ramassée » peut servir de source à d'autres taches reliées par un corridor et aux plus petites taches (MALLARD, 2014). Le cumul de type SAR (Species Area Relationship) permet d'estimer la fragilité du milieu.

En résumé, les indicateurs spatiaux dans le paysage sont déterminés par la littérature scientifique et inclus dans des logiciels SIG avec leurs paramètres : taille/forme, rareté, diversité et connectivité (MALLARD, 2014).

Parmi les logiciels développés dans le domaine de l'écologie du paysage, il faut citer : Conefor[7] (SAURA & TORNE, 2009) qui inclut des extensions vers les logiciels SIG (ArcGIS) ; exemples de logiciel gratuit de SIG : ILWIS Integrated Land and Water Information System de Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences Netherland, Quantum GIS (QGIS)[8] ; FRAGSTATS©[9] (MCGARIGAL *et al.*, 2012); PASSaGE[10]: Pattern Analysis, Spatial Statistics, and Geographic Exegesis, (ROSENBERG & ANDERSON, 2011) ; des logiciels liés aux forêts FOREST-GIS[11];

[7] http://www.conefor.org/

[8] https://www.qgis.org/fr/site/about/index.html

[9] http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html

[10] http://www.passagesoftware.net/

[11] http://www.forest-gis.com/p/download-de-shapefiles.html

GRASS GIS[12] ; macro-écologie spatiale : SAM[13]... Les métriques peuvent y être calculées à différentes échelles, de l'élément élémentaire de surface, appelé tache, à une même classe de taches, et à l'échelle du paysage. Les métriques paysagères de caractérisation de formes, de connectivités définies dans cette partie sont disponibles dans ce type de logiciel. Il s'agit d'affecter des facteurs liés à la dégradation de la biodiversité.

[12] https://grass.osgeo.org/

[13] https://www.ecoevol.ufg.br/sam/

9. Sensibilisation et médiation scientifique

Rédaction : Gabrielle Sauret

Associée à la mise en place de la démarche scientifique du programme Les sentinelles du climat, des méthodes de diffusion des données scientifiques, de sensibilisation de différents publics sont mises en place.

La problématique des impacts du changement climatique sur la biodiversité est, pour l'instant, peu diffusée auprès des publics. Quelques emblèmes – type ours polaire – permettent au grand public d'envisager cette problématique, qui, pour autant, reste souvent lointaine et déconnectée de son environnement immédiat.

La médiation associée à ce programme vise la prise en compte des milieux naturels et de la biodiversité qu'ils abritent, à toute échelle géographique, dans les décisions et les actes que différents publics peuvent prendre ou faire en lien avec le changement climatique.

9.1 Les publics visés

Grace à des outils variés, adaptés à des publics différents, nous souhaitons toucher le plus grand nombre, à l'échelle de la Nouvelle-Aquitaine, territoire de réalisation de ce programme, mais aussi à un niveau plus global (France, voire international pour les publics scientifiques).

Voici un récapitulatif des publics visés et des outils qui seront créés pour ces publics (Fig. 132).

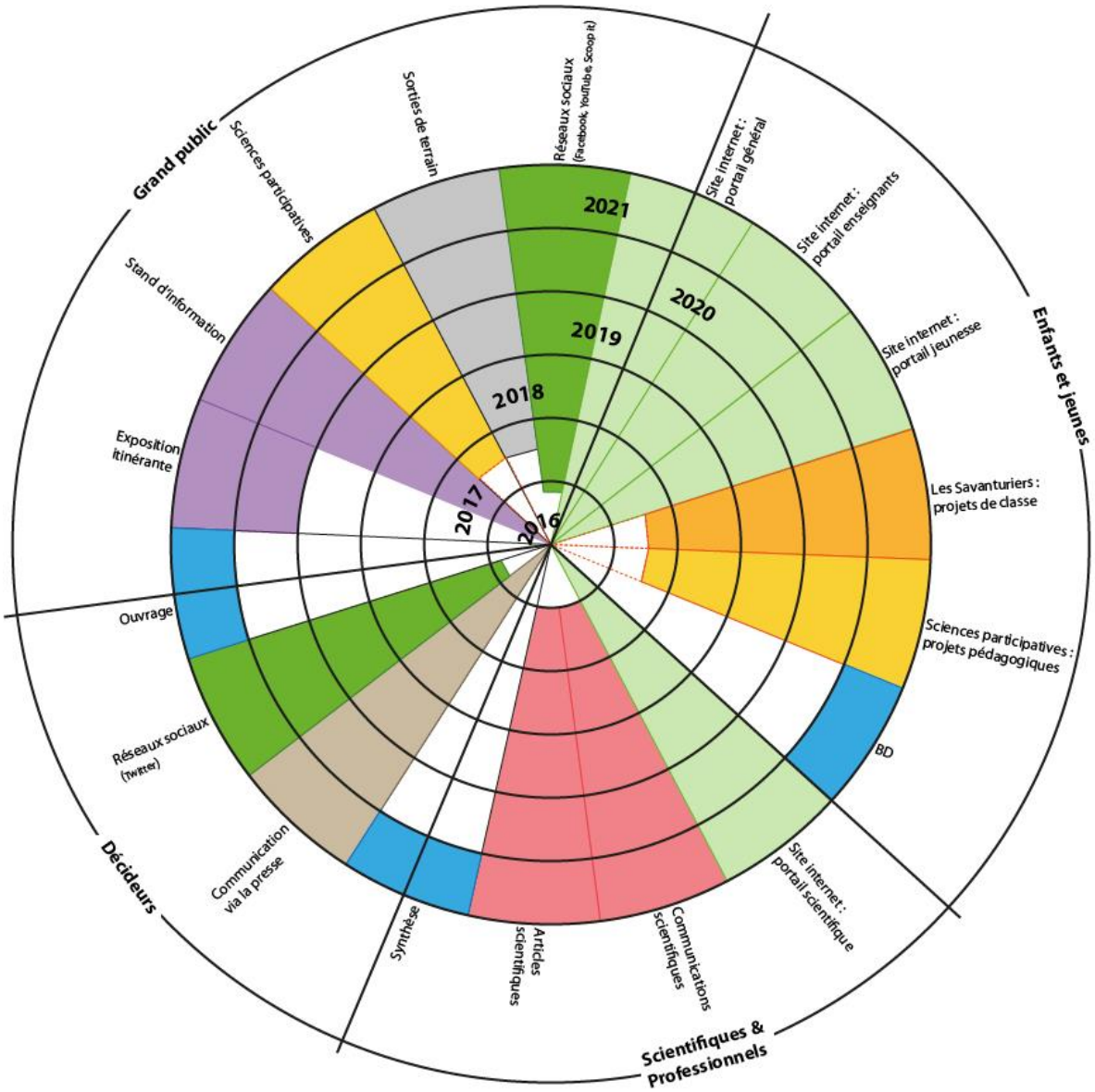


Fig. 132. Récapitulatif des outils de médiation en fonction des publics visés

Remarque : certains outils, comme la bande dessinée, destinée aux plus jeunes, aura bien sûr un impact plus large dans les familles et dans le milieu scolaire.

9.2 Description des outils proposés en 2016

9.2.1 Site internet www.sentinelles-climat.org

Internet est aujourd'hui un espace de diffusion d'informations et un lieu de sensibilisation incontournable.

Le site internet du programme vise différents publics. Etant donné l'ampleur du programme (superficie du territoire, nombre d'espèces ou de groupes d'espèces suivis, réseau d'acteurs), nous avons construit une plateforme à plusieurs entrées :

- **Portail général**

Il présente l'ensemble du programme grâce au média **vidéo** principalement. Chaque information donnée est courte (environ 2 min par vidéo ou quelques lignes de texte illustré). Ce type de média correspond aux évolutions actuelles des contenus sur internet, mais aussi aux comportements des internautes et au type de médias qu'ils recherchent.

Ce portail est **évolutif**, tant dans sa forme (l'animation d'accueil changera tous les 4 mois – voir Fig. 133), que dans son contenu.

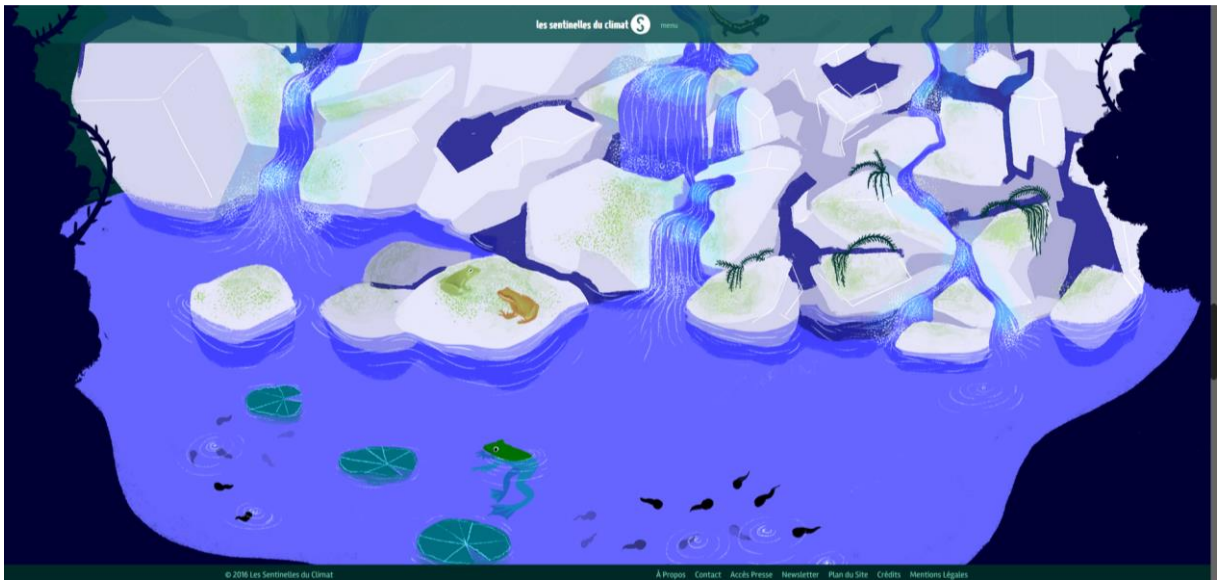


Fig. 133. Extrait de l'animation d'entrée du site www.sentinelles-climat.org

En effet, nous prévoyons la production de 6 à 7 vidéos par an. Elles seront mises en ligne régulièrement au cours des années du programme. Ces vidéos concerneront les espèces ou les groupes d'espèces sentinelles, tant pour comprendre les effets possibles du changement climatique sur elles, que pour appréhender les suivis scientifiques et leurs résultats.

En 2016, 5 vidéos générales de présentation du programme ont été mises en ligne :

- Qu'est ce que le changement climatique ?
- Effets sur la biodiversité
- Et en Nouvelle-Aquitaine ?
- Le programme sentinelles
- Les acteurs du programme

Deux vidéos d'interviews (Nicolas Thierry, Vice-président chargé de l'environnement et de la biodiversité à la Région Nouvelle-Aquitaine / Hervé Le Treut, Président d'honneur du comité scientifique du programme, mais aussi d'AcclimaTerra) ont été réalisées et sont disponibles sur le site internet.

Les informations sur les espèces et les groupes d'espèces sont organisées par milieux, tels que sélectionnés pour leur sensibilité particulière aux modifications climatiques en cours et à venir (Fig. 134).

Fig. 134. Accès aux informations sur les espèces sentinelles du site www.sentinelles-climat.org

- **Portail enseignants**

Le portail enseignant s'organise autour de deux types de contenus (Fig. 135):

- Une partie permet le développement de **l'information** présentée dans le portail général. Il permet aux enseignants (ou à toute personne intéressée) d'approfondir les sujets présentés dans le portail général. Des liens entre les deux portails sont donc mis en place, ainsi que vers d'autres sites internet.

  Il s'agit d'apporter aux enseignants de la matière pour construire et étayer leurs cours ou leurs propositions aux élèves. Les vidéos du site (ainsi que certains liens) constituent des éléments utilisables auprès des élèves.

- La seconde partie proposera aux enseignants la mise en place d'une **démarche pédagogique en lien avec les sciences participatives** (développée en 2017). Nous y intégrerons un espace d'échange entre les classes participantes et avec les structures participant au programme.

Nous construisons avec les réseaux EEDD de la Nouvelle-Aquitaine (réseaux GRAINE) une proposition pédagogique pour investir les enseignants et les élèves par le biais de la science participative (ainsi que le grand public). Elle s'appuie sur l'outil internet, mais aussi sur les sorties de terrain, le contact direct avec la nature (proposition pour la rentrée 2017-2018).

Fig. 135. : Illustration pour le portail enseignants de www.sentinelles-climat.org – © Marie Lou Duret, Sauvage Garage

- **Portail scientifique**

Il s'appuie sur la synthèse bibliographique réalisée pour la mise en place du programme sentinelles. Cette synthèse est entièrement disponible en ligne.

Le portail scientifique est complété par la mise à disposition des documents produits dans le cadre du programme, par une veille des publications impact factor sur la thématique biodiversité – changement climatique, et par la diffusion des actualités scientifiques du programme (Fig. 136).

Remarque : en 2017, cette partie sera aussi disponible en anglais.

Fig. 136. Illustration pour le portail scientifique de www.sentinelles-climat.org – © Louison David, Sauvage Garage

- **Autres éléments**

Le site internet permettra aussi de présenter les actualités du programme, tant les propositions à destination des publics (science participative notamment), que les actualités des suivis scientifiques et du traitement des données. Par ailleurs, une newsletter trimestrielle sera proposée aux internautes.

9.2.2 Les réseaux sociaux

En complément du site internet, le programme les sentinelles du climat est présent sur les réseaux sociaux. En plus de permettre la diffusion d'informations, le renvoi vers le site et donc

la sensibilisation, les réseaux sociaux permettent l'échange. Par ailleurs, ils démultiplient le nombre de personnes touchées.

Les sentinelles du climat est présent sur 4 réseaux sociaux.

Facebook **YouTube** **Twitter** **Scoop it**

La **page Facebook** s'adresse principalement à des publics entre 18 et 50 ans (cible actuelle de la page Cistude Nature). Le contenu des posts concerne la présentation du programme, le relai de la sortie des nouvelles vidéos et les actualités liées au programme. C'est aussi le lien de relai de certains articles sélectionnés sur Scoop it. Elle permet de créer une communauté d'intérêt autour de la question des effets du changement climatique sur la biodiversité, à plus large échelle que celle du programme.

Cistude Nature a créé une **chaîne YouTube**. Une play-list les sentinelles du climat propose l'ensemble des vidéos produites et à venir. La présence sur ce réseau social est destinée aux plus jeunes (adolescents et jeunes adultes) qui utilisent beaucoup ce réseau dédié à la vidéo.

La création d'un **compte Twitter** permet une diffusion des actualités du programme auprès des décideurs et des journalistes. Il constitue un relai presse intéressant.

Enfin, **Scoop it** permet d'avoir une veille régulière sur les articles de presse liés au changement climatique ou aux effets du changement climatique sur la biodiversité. Il permet de proposer aux abonnés un suivi presse ciblé autour de ce sujet.

9.2.3 Projets de classe

L'année 2016 a permis d'affiner les actions que nous proposerons pour la rentrée 2017-2018 aux enseignants (du primaire au lycée).

Deux actions étaient prévues : interventions dans les établissements et travail autour des sciences participatives.

- **Interventions dans les établissements**

Pour la mise en œuvre de cette action, nous nous sommes rapprochés d'une association nationale, les Savanturiers :

« Nous sommes tous nés chercheurs, donc curieux et avides de comprendre et d'agir. Les Savanturiers œuvrent pour une école ambitieuse qui formerait tous les élèves à la créativité du questionnement, à la rigueur de la recherche et à la coopération au service de l'intérêt commun. Nous nous engageons pour former des citoyens humanistes et acteurs d'une société juste de la production et du partage des savoirs. »

Pour l'année scolaire 2016-2017, nous travaillons à un "test" de projet pédagogique de recherche en classe autour de la question :

Observe-t-on un effet du changement climatique sur la biodiversité "ordinaire" et comment mesurer cet éventuel effet ?

Il s'agit d'un travail basé sur des indicateurs biologiques :

- Quelles sont les hypothèses de travail ?
- Comment utiliser ces indicateurs biologiques ?
- Quels sont les paramètres à suivre ?
- Comment s'assurer que ces paramètres évoluent en fonction des changements du climat et pas d'autre chose ?

Ces questions préliminaires permettront de construire puis de mettre en œuvre des protocoles scientifiques dont les données pourront être analysées.

Le projet va s'engager avec trois classes. Fanny Mallard et Thomas Ruys, tous deux doctorants et salariés de Cistude Nature, seront les mentors des classes pour cette année.

Ceci permettra d'affiner pour l'année scolaire 2017-2018 des propositions de projets en lien avec la notion d'indicateurs et les sciences participatives, et d'y intégrer d'autres chercheurs universitaires intéressés.

- **Sciences participatives**

Un portail de sciences participatives sera ouvert sur le site www.sentinelles-climat.org (Fig. 137).

Fig. 137. Illustration pour les sciences participatives de www.sentinelles-climat.org – © Louison David, Sauvage Garage

Ses objectifs généraux sont :

- la connaissance des optimums des espèces,
- la connaissance des dates de la sortie de diapause/hivernation/émergence/floraison, selon les espèces,
- l'organisation de la répartition spatiale des phénologies.

Ces objectifs concernent une vingtaine d'espèces communes de faune et de flore, facilement observables et reconnaissables, sur différentes périodes de l'année.

Pour chaque espèce, un « protocole » très simple sera proposé.

Il s'agit de mettre en évidence un événement phénologique du cycle de vie de ces espèces :

- la floraison pour les espèces végétales herbacées,
- le débourrement / l'apparition des fleurs et/ou fruits / la sénescence pour les espèces végétales arborescentes,
- la sortie d'hivernation pour les espèces de reptiles,
- le début de la reproduction pour les espèces d'amphibiens,
- l'émergence des imagos pour les lépidoptères,
- le début des chants ou le retour de migration pour les oiseaux,

Les espèces, les protocoles et les données à remonter sont encore en cours de définition.

Il sera aussi utilisé pour la mise en place d'actions de sensibilisation auprès des publics scolaires, du primaire au lycée, et auprès du grand public.

En 2016, jusqu'à juin 2017, la démarche pédagogique associée sera définie, en co-construction avec le réseau GRAINE. Il s'agit de définir un objectif et une stratégie qui permettra d'alimenter le réseau d'éducation à l'environnement et au développement durable en Nouvelle-Aquitaine, mais aussi de prévoir des outils de restitution dynamiques et adaptés.

La diffusion réseau et la gestion des actions sera portée par le réseau GRAINE dès la rentrée 2017.

9.2.4 Communication : stand

Afin d'assurer la visibilité du programme Les sentinelles du climat dans les événements et les manifestations régionales autour du changement climatique ou de la biodiversité, un stand sera mis en place (Fig. 138).

Il a pour but d'informer sur les effets du changement climatique sur la biodiversité de la région, sur le programme Les sentinelles du climat, et de favoriser l'échange autour de la problématique du programme.

Il comportera un espace de consultation sur tablettes, un espace de consultation de documents papier, des kakémonos informatifs. Des cartes postales à distribuer sur le stand ont été créées (Fig. 139).

Ce stand sera évolutif dans le temps, apportant chaque année les éléments nouveaux sur le programme.

La réalisation de la base de ce stand est prévue pour 2016 et 2017. Les premiers éléments du stand ont été définis cette année. Ils seront complétés en 2017 pour proposer un objet fonctionnel dès mars 2017 (première mise en place au Festival La Chevêche, à Nontron en Dordogne).

Fig. 138. Elévation du mobilier dessiné pour le stand Les sentinelles du climat

Fig. 139. Exemple de carte postale Les sentinelles du climat : la rainette ibérique

9.2.5 Communication : presse

La communication via la presse est directement liée à la mise en ligne du site internet. Les médias, via les journalistes spécialistes en environnement, sont informés via twitter. Des contacts directs ont aussi été pris, auprès des médias des partenaires du programme et de certains organismes de presse régionaux.

Un accès presse est prévu dans le site afin de mettre à disposition des journalistes l'ensemble des documents nécessaires à la production d'un sujet sur Les sentinelles du climat.

Décembre 2016

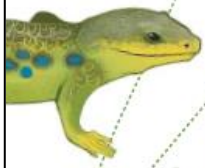
les sentinelles du climat — communiqué de presse

Cistude Nature et ses partenaires débutent cette année un vaste programme de recherche autour de la question :

Quelles sont les conséquences du changement climatique sur la biodiversité de la région Nouvelle Aquitaine ?

La question n'est pas anodine et rejoint les constats actuels du WWF sur l'état de la biodiversité mondiale (indice living planet 2016) : le changement climatique devient l'une des causes majeures de la perte de biodiversité, et nous, humains, sommes responsables du réchauffement de la planète.

Pour agir, il faut connaître et comprendre. C'est l'objectif du programme les sentinelles du climat.



Un programme d'ampleur

- 6 ans de suivis scientifiques et de recherche.
- 5 structures mettant en commun leur compétences, accompagnées par des partenaires du territoire.
- 1 programme initié à l'échelle de la Nouvelle Aquitaine, pour être reproductible sur le long terme et sur d'autres territoires.
- Des résultats attendus significatifs à l'échelle de la Nouvelle Aquitaine, de la France, de l'Europe.

Montagne ->

Littoral ->

Un programme de territoire

- 5 milieux naturels sensibles : la montagne, le littoral, les zones humides, les hêtraies de plaine et les pelouses des coteaux calcaires.
- 20 espèces ou groupes d'espèces indicatrices, faune (papillons de jour, libellules, bourdons, amphibiens, reptiles, mammifères) et flore.
- Plus de 100 sites d'études répartis sur l'ensemble du territoire.

Zones humides ->

Des objectifs opérationnels

- Déterminer les effets du changement climatique grâce à des protocoles alliant données biologiques et données climatiques.
- A partir de ces données, prévoir la réponse des espèces et des milieux sur le long terme.
- Sensibiliser le plus grand nombre à cette problématique, notamment par les sciences participatives et les sorties de terrain.

Forêts de hêtre ->

Les partenaires

Ce projet est soutenu par l'Union Européenne, le Conseil Régional de Nouvelle Aquitaine, le Département de la Gironde et le Département des Pyrénées-Atlantiques.

Pelouses calcicoles

Vous souhaitez plus d'informations sur ce sujet. Retrouvez la présentation du programme et ses actualités sur le site internet :

www.sentinelles.climat.org

CONTACTS

Contact presse : Christophe Coic – christophe.coic@cistude.org
Contact scientifique : Fanny Mallard – fanny.mallard@cistude.org

CISTUDE NATURE

9.3 Etat d'avancement

9.3.1 Internet

Le site internet est en ligne depuis le 8 décembre 2016. Les étapes de création du site sont détaillées dans le tableau suivant (Tab. LX).

Tab. LX. Récapitulatif des étapes de création du site www.sentinelles-climat.org

	2016									2017
	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.
Définition de l'organisation et du cahier des charges										
Graphisme										
Réalisation des contenus vidéos										
Rédaction et recherche des autres types de contenus										
Développement du site										
Intégration des contenus										
Mise en ligne									8 déc.	

Les dates de création des réseaux sociaux sont liées à la mise en ligne du site internet : ils ont été créés quelques semaines avant l'existence du site, afin de l'annoncer, mais pas trop en amont. Il est en effet important que le renvoi rapide vers le site puisse se faire, car c'est là que les internautes peuvent trouver l'ensemble de l'information, quel que soit le type de public.

Scoop it : création le 17 octobre 2016
http://www.scoop.it/u/les-sentinelles-du-climat

Facebook : création le 14 novembre 2016
https://www.facebook.com/lessentinellesduclimat/

Twitter : création le 15 novembre 2016
https://twitter.com/Sentinellesdc

YouTube : création le 17 novembre 2016 – mise en ligne de la première vidéo « sentinelles » le 24 novembre 2016

9.3.2 Projets de classe

La mise en route des actions à destination des scolaires a démarré en août (Tab. LXI). Elle se base sur des partenariats avec des structures associatives spécialisées dans le domaine de l'éducation (Savanturiers, réseau des GRAINE).

Tab. LXI. Récapitulatif de la construction des actions à destination des scolaires

		2016									2017
		Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.
Savanturiers	Définition du contenu du projet et organisation										
	Mise en œuvre du projet avec 2 classes										-> Juin
Sciences participatives	Définition des axes de travail										
	Construction de la démarche pédagogique										-> Août

9.3.3 Communication

- **Stand :**

Des premiers éléments ont été mis en place en 2016 :
- tables de stand en bois pour consultation via des tablettes tactiles des éléments du programme (1 tablette pur le contexte / 1 tablette pour les espèces sentinelles),
- cartes postales, gratuites, chacune interpellant sur une problématique liée aux effets du changement climatique sur la biodiversité.

- **Presse :**

- Communiqué de presse et dossier de presse de lancement du programme (décembre 2016), dont la diffusion est coordonnée avec la mise en ligne du site internet.
- Diffusion des communiqués et dossiers de presse via Twitter et le site internet, et par mail.

9.4 Prévisionnel 2017

9.4.1 Internet

Les analyses statistiques des différents médias internet seront produites chaque année à partir de 2017.

Le site internet va encore évolué :

- Création d'un espace de sciences participatives et des outils de restitution et de vie de réseau associé. Un blog dédié aux classes sera proposé dans l'espace « enseignants » en lien avec les sciences participatives et les actions pédagogiques définies. Cet éléments sont prévus pour fonctionner autour du mois de juin.

- Mise en ligne tous les deux mois de nouvelles vidéos liées aux espèces sentinelles : présentation des espèces et de la problématique étudiée lors des suivis scientifiques, présentation des suivis.

- Evolution saisonnière (tous les 4 mois) de l'animation d'accueil du site internet.

Les réseaux sociaux seront régulièrement alimentés tout au long de l'année, en fonction des actualités du programme et des actualités générales.

9.4.2 Projets de classe

- Poursuite du partenariat avec les Savanturiers : Après un bilan des 3 projets mis en place en 2016, nous proposerons de 1 ou plusieurs projets à destination des classes vers le mois d'avril, pour une mise en œuvre dans l'année scolaire. Nous prendrons contact avec les laboratoires de recherche participant au programme Les sentinelles du climat, voire d'autres laboratoires, de manière à intégrer d'autres chercheurs mentors des élèves des classes participantes.

- Science participatives : poursuite de la définition de la démarche pédagogique et des outils de restitution, pour une mobilisation du réseau des associations d'éducation à

l'environnement et au développement durable dès la mise en ligne de l'espace de sciences participatives sur le site internet. Cette mobilisation du réseau permettra la mobilisation, en retour, du grand public et des établissements scolaires.

9.4.3 Communication

- Poursuite des actions engagées en 2016 sur le même modèle.

- Participation à des événements régionaux liés à la biodiversité et au changement climatique.

10. Conclusion générale

Rédaction : Fanny Mallard

Pour décrire les relations complexes entre la société avec ses forces motrices et l'environnement, un cadre possible de raisonnement est le modèle d'analyse dit « DPSIR » (Driver–Pressure–State–Impact–Responses). Ce cadre donne un cadre pour le raisonnement, la compréhension des synergies entre les effets du changement climatique et les processus écologiques. Ce modèle est reconnu par l'Agence européenne de l'Environnement et permet d'inclure les actions de médiation et de sensibilisation scientifiques.

Les suivis biologiques identifiés dans le programme « les sentinelles du climat » conduisent à des indicateurs « d'état » des effets du changement climatique qui devient dans ce raisonnement une « pression ».

Trois « impacts », spécifiques à la pression du changement climatique et reconnus au niveau international, sont présentés dans ce programme. Ils concernent : les changements d'aires de répartition, de phénologie et d'écophysiologie des espèces.

La région Nouvelle–Aquitaine est le laboratoire d'étude du programme. Il offre une sensibilité à l'évolution du climat par l'étendue de ses latitudes, atitudes et une variété intrinsèque d'écosystèmes naturels impactés. A partir de ce grand territoire, 18 indicateurs du changement d'état par la pression climatique ont été développés dans différents écosystèmes (dunaire, sec, humide, montagnard, forestier).

L'hypothèse de recherche retenue dans le programme pose que les impacts du changement climatique sur la biodiversité peuvent être détectés à partir d'indicateurs qui utilisent des espèces ou groupes d'espèces ayant des capacités de déplacements faibles et d'évolutions lentes. Les espèces les plus menacées sont ainsi les spécialistes, c'est–à–dire celles qui ont des restrictions spatiales latitudinales et altitudinales, des capacités de dispersion limitées. Dans la plupart des cas, il s'agit de petites espèces n'effectuant pas de déplacements quotidiens ou saisonniers importants et/ou dont le domaine vital est limité géographiquement. Ces espèces dites sentinelles seront les premières à répondre aux variations climatiques par des adaptations locales ou des disparitions d'espèces.

La détermination dans le programme des espèces et des groupes d'espèces indicatrices est liée à différents critères:

- sensibilité au changement climatique, critères appuyés par les connaissances scientifiques de recherche et celles des naturalistes,
- facilité d'observation,
- mise en place de protocoles de suivis combinant les aspects robustes, simples, rigoureux et reproductibles dans d'autres régions,
- selon les espèces ou groupes d'espèces, établissement d'un état dit « 0 » permettant l'étude de la dynamique, de l'évolution interannuelle à court terme ou à long terme.

Les indicateurs, les efforts d'observation sur le terrain dans les écosystèmes, l'agrégation des données sont ainsi à la base du programme d'étude « les sentinelles du climat » pour le suivi à long-terme (temps) de l'état (S) des milieux soumis à la pression du changement climatique (P) pour déterminer l'impact (I) sur la biodiversité à l'échelle locale d'observation jusqu'à celle d'une région, la Nouvelle-Aquitaine.

Ce programme a été lancé en 2016. Il s'inscrit dans une démarche de « recherche-action » reliant les chercheurs aux acteurs scientifiques de terrain. Ce rapport présente la première étape de mise en place et de tests des protocoles scientifiques de suivis climatiques, de la flore et de la faune permettant d'étudier la réponse de la biodiversité aux pressions du changement climatique. Ces protocoles ont été présentés au conseil scientifique du programme constitué de chercheurs spécialistes de différentes disciplines en écologie et en climatologie. Ce conseil scientifique a permis des échanges sur l'examen des matériels, des méthodes et les premiers résultats. Les éléments principaux des parties du rapport pour chaque indicateur biologique incluant les remarques des membres du conseil scientifique sont présentés ci-dessous.

Des milieux de plaine jusqu'aux milieux montagnards, ce sont plus d'une centaine de sites d'études qui ont été sélectionnés, qui ont été observés et qui seront suivis jusqu'en 2021. Un réseau de micro-stations météorologiques a été installé sur 60 d'entre eux.

L'évolution des cortèges floristiques de différents écosystèmes dunaire, sec, humide, forestier et montagnard accompagnera le suivi de la faune. Les axes d'observation de la biodiversité végétale sont les suivants: suivis habitats, suivis phénologiques et suivis chorologiques.

Les critères de sélection des sites d'étude posés permettent de limiter d'autres facteurs interférant avec celui du changement climatique. Les principaux critères sont: représentativité du territoire, faible degré de fermeture, limitation des impacts anthropiques, gestion homogène du site, maîtrise foncière. La zone d'étude s'élargissant à la région Nouvelle-Aquitaine, l'échantillonnage des sites flore sera plus important à partir de 2017 et de nouveaux partenariats vont se développer en Poitou-Charentes et en Limousin. Concernant le milieu montagnard, différentes études sont proposées : étude des tourbières montagnardes, des combes à neige, et des pelouses arctico-alpines des crêtes ventées. L'étude sur les combes à neige est particulière puisque ses populations végétales sont impactées en majorité par le changement climatique et elles sont très étudiées dans les Alpes par des programmes de recherche et également en Pyrénées par l'Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique… Les suivis phénologiques seront réalisés dans le cadre de sciences participatives à destination du grand public et des professionnels. La mise en place de ces sciences participatives est prévue pour la rentrée scolaire 2017.

Un dernier point de suivi n'a pas été abordé en 2016. La mise en place d'une étude explicative de la répartition géographique des espèces végétales et de ses causes est en cours de développement : création d'un indice de sensibilité face au changement climatique et modélisation de l'évolution de cet indice suivant l'évolution du climat. Il s'appuiera sur une base de données plus générale. L'écophysiologie et la génétique ne sont pas des points encore abordés dans le programme.

Au sein de ces écosystèmes, les espèces animales suivantes font l'objet d'études :

- Ecosystème dunaire : Lézard ocellé,
- Ecosystème sec : lépidoptères de pelouses calcicoles, Pachyure étrusque, Souris à queue courte,
- Ecosystème humide : libellules des lagunes, Rainette ibérique, Lézard vivipare,
- Ecosystème montagnard : insectes (lépidoptères, bourdons), amphibiens (Grenouille des Pyrénées), reptiles (Lézard de Bonnal et lézard gris), petits mammifères (Marmotte des Alpes).

En milieu dunaire, une espèce thermophile est étudiée, le lézard ocellé, *Timon lepidus*. Les placettes d'étude ont été choisies selon les suivis précédents du programme Lézard ocellé de 2008–2012. Lors de ce programme, les placettes ont été tirées au sort aléatoirement. Parmi sur ces placettes, en 2016, 80 placettes ont été sélectionnées. Elles coïncident autant que possible avec les placettes de suivis CBNSA et écartent celles ayant disparu par l'avancée du trait de côte. Elles sont situées sur un gradient nord et sud et Est et ouest (dune blanche, dune grise, franche forestière). Leur nombre s'adaptera au décalage et au changement de la dune année après année. La phénologie du lézard ocellé pourra être étudiée par l'intermédiaire du jeu de données liées aux dates d'observation. L'UPPA réalisera l'étude de l'écophysiologie de cette espèce en période de reproduction en utilisant des thermocouples placés dans des modèles biomimétiques, qui imitent les propriétés thermiques et hydriques des adultes.

En milieu sec, le cortège des lépidoptères peut évoluer par la favorisation et l'arrivée de nouvelles espèces à affinité méditerranéenne. Le comptage des lépidoptères de pelouses calcicole est standardisé et basé sur le protocole reconnu au niveau national, le protocole STERF. Dans le cadre du programme STERF, la masse de données est importante et permet de lisser les biais des données. Dans le cadre de ce programme, les relevés seront moins nombreux mais réalisés par des professionnels expérimentés et encadrés par des critères définis afin d'obtenir des résultats les plus pertinents pour l'étude spécifique des impacts du changement climatique. Les critères des sites de suivis des lépidoptères en 2016 sont liés principalement au bon état de conservation du site, une répartition spatialement équilibré à travers l'Aquitaine, distants des activités anthropiques. Les paramètres du protocole seront évalués par l'effort de comptage et donc évolutifs au cours du programme. D'autres traits biologiques devront être pris en compte dans les profils de biodiversité. L'analyse phylogénétique sera intégrée dans le profil de biodiversité.

Deux espèces de petits mammifères d'affinité méditerranéenne en milieu sec devraient étendre leur aire de répartition suivant le réchauffement climatique. Concernant le protocole de captures du Pachyure étrusque, le suivi de 2016 n'a donné aucun résultat. Ce bilan négatif peut être lié à l'efficacité du piège, à la faible densité de population et à une abondance trop importante de nourriture pendant la période de capture. La méthode de capture CMR n'apparait pas pertinente pour le suivi au vu du faible nombre d'individus. De plus, l'indice d'abondance serait fortement lié à l'effort de capture. Le protocole de récolte de pelotes de réjection de la chouette effraie est judicieux. L'ajout de sites de suivis sans présence de l'espèce permettrait d'étudier l'expansion des populations.

En milieu humide, les espèces de lépidoptères sont également suivies. Le protocole et l'analyse sont semblables au suivi du cortège de lépidoptères de pelouses calcicoles. Comparé

aux espèces de pelouse calcicole, le résultat attendu est la possible extinction locale des espèces en lien avec l'assèchement du milieu humide.

La Rainette ibérique, *Hyla molleri*, est une espèce inféodée aux lagunes et landes humides, des habitats fragiles notamment face au changement climatique. Le suivi réalisé permettra d'étudier l'évolution de la syntopie entre l'espèce Rainette ibérique et l'espèce Rainette méridionale en expansion. Avec l'élargissement de la zone de travail à la nouvelle région, une espèce de rainette sera rajoutée à l'étude, la Rainette verte. Elle sera également en compétition avec la Rainette méridionale.

Le lézard vivipare, *Zootoca vivipara* est également une espèce d'affinité climatique fraiche. Le suivi est basé sur le protocole POPReptile. La mesure est liée à la fréquence d'occurrence de l'espèce, rapport exprimé en pourcentage, du nombre de prélèvements où cette espèce est notée au nombre total de prélèvements effectués. Il est proposé de compléter l'étude par l'écophysiologie de l'espèce en étudiant la répartition spatiale des différentes stratégies de reproduction par viviparité (ovoviviparité) ou par oviparité et de leur relation avec le changement climatique. A notre connaissance, il apparait difficile d'évaluer sur le terrain ces différentes stratégies. Des placettes plus larges seront placées sur des gradients landes sèches/landes humides pour étudier la variation des aires de répartition sur ce gradient.

En milieu montagnard, le cortège des lépidoptères est également étudié en pelouses montagnardes *: Parnassius apollo* est une espèce de lépidoptère sensible au changement climatique. Une étude dans la Sierra de Guadarrama, située au centre de l'Espagne, suggère un déclin général pour cette espèce. L'hypothèse est que l'étude de l'habitat de cette espèce et du cortège associé montrera l'impact du changement climatique. La base de données disponibles de présence de *Parnassius apollo* dans les Pyrénées est peu fournie et peu précise. Les prospections de 2016 ont été nécessaires et ont permis d'identifier et valider trois sites en vallée d'Ossau. D'autres sites seront à prospecter afin d'identifier d'autres points d'échantillonnage. Les sites validés sont ceux favorables à la plante hôte et où la présence de *P. apollo* est avérée. La connaissance actuelle limitée sur son écologie dans les Pyrénées ne permet pas de caractériser assez finement l'habitat du lépidoptère et donc de déterminer les habitats potentiels où il pourrait s'installer. La méthode de comptage est basée sur un transect STERF en ajoutant les observations de *P. apollo* détectées en dehors du cadre de la boite des 5 m de côté. Les dates d'observation doivent être élargies pour l'étude complète du cortège des lépidoptères. 4 passages par an sur chaque site : 4 passages répartis entre début juillet et début septembre.

Suivant le changement climatique, la répartition spatiale du cortège des bourdons de montagne à l'échelle d'un gradient d'altitude peut évoluer. La méthode d'échantillonnage des bourdons est basée sur un nombre de 40 placettes réparties entre 800 et 2500 m d'altitude. En 2016, environ 500 spécimens ont été collectés. Les individus sont capturés dans la placette sur les plantes nectarifères et également en vol pour éviter de récolter toujours les mêmes espèces pendant 20 minutes. Ce protocole permet d'établir une image de la placette. Les individus sont mis en tube. La capture des bourdons devrait avoir un impact faible sur la population car ce sont des populations sociales de milliers d'individus. Les horaires sont à affiner pour éviter le biais des échantillons d'espèces capturées liées à l'horaire de capture. L'hypothèse posée est la remontée, la disparition des espèces alpino-arctiques et la colonisation des planitiaires-collinnéenes. Les modifications à l'échelle de la communauté seront étudiées sur un pas de temps long environ 50 ans. La modification du cortège par le

changement de la répartition spatiale sera liée à d'autres changements tels que la longueur de la langue et la largeur des ailes en lien avec la capacité de vol des espèces. Ces modifications écophysiologiques permettront d'obtenir des premiers résultats sur un pas de temps plus court (6–15 ans). La phénologie de la flore sera prise en compte par un protocole de suivi simplifié créé par le CBNSA. Le conseil scientifique conseille d'adapter le protocole en réalisant un effort d'échantillonnage sur un motif altitudinal.

La Grenouille des Pyrénées, *Rana pyrenaica*, est une des espèces d'amphibiens les plus rares de France et endémique de l'ouest des Pyrénées. L'espèce est localisée dans des sites reliques. Le protocole est basé sur le comptage de têtards. Ce stade le plus facilement mesurable et fiable. La hauteur de neige est un facteur influant sur la quantité d'eau du torrent. Les espèces invasives notamment poissons et les pathogènes peuvent être des facteurs qui s'ajoutent au changement climatique. Ces facteurs doivent être surveillés pendant les suivis.

Les lézards de montagne observés sont les suivants : le Lézard de Bonnal, *Iberolacerta bonnali*, une espèce endémique des Pyrénées ; le Lézard catalan, *Podarcis liolepis*, une espèce d'affinité ibérique ; et le Lézard des murailles, *Podarcis muralis*, en compétition avec les deux espèces précédentes. Le suivi se fera sur le décalage de répartition de ces espèces le long d'un gradient altitudinal. Le point d'interface de chevauchement du Lézard de Bonnal/Lézard des murailles et Lézard catalan/Lézard des murailles permet d'étudier l'évolution interannuelle de ce point, mais également sur un pas de temps plus long. Cette évolution permettra de comprendre les mécanismes de compétition entre ces espèces. Ce suivi identifiera la niche réalisée (espace occupé par l'espèce contrainte par des compétitions avec d'autres espèces), dans la niche fondamentale (espace réunissant toutes les conditions environnementales nécessaires à l'existence de cette espèce). Le résultat attendu est ainsi l'évolution du point d'interface en fonction de l'altitude et également de la température associée à la gamme altitudinale. Des stations météorologiques sur le gradient permettraient d'affiner le résultat.

Le suivi de la reproduction de la Marmotte des Alpes (*Marmota marmota*) dans les Pyrénées est effectué en adaptant le protocole alpin. Les terriers principaux rassemblent une famille composée du couple reproducteurs, des jeunes subadultes de l'année précédente et les marmottons. Les terriers sont répartis entre 1700 et 2300 m d'altitude. Des variations d'altitudes et donc de températures seront pris en compte en étudiant les populations de plus basses altitudes de 1400–1600 m. Le gradient d'étude serait suffisant pour étudier l'effet de la température sur les limites d'aires physiologiques de la marmotte. Le protocole CMR des Alpes a été simplifié pour l'appliquer aux Pyrénées. Le suivi des marmottes dans les Alpes a montré que la diminution de la couverture neigeuse pendant l'hiver est liée au changement climatique et corrélée à la diminution de la taille des portées. La baisse de la masse corporelle de la femelle au cours de la même période suggère qu'elle est un facteur de la diminution de la taille de la portée. Une couverture de neige plus mince pendant l'hiver réduit la couche d'isolation et implique la consommation de graisse jusqu'à épuisement de la femelle. Le comptage du nombre de marmottons à la sortie de l'hibernation permet d'étudier partiellement le taux de mortalité lié aux conditions corporelles de la femelle reproductrice. En plus de l'écophysiologie de l'espèce, l'apparition des marmottons permettrait d'étudier un élément de phénologie de l'espèce.

Cette première étape de mise en place des protocoles, nous permettra en 2017 de récolter des données à partir de suivis standardisés, de données récoltées avec un effort d'observations suffisant pour alimenter les modèles des projections futures des espèces que

nous développerons. Les prospections de terrain ont été réalisées à travers l'Aquitaine. L'extension de la région vers le Poitou-Charentes et le Limousin amènera le développement d'autres indicateurs et l'ajout d'autres sites de suivis. Le nombre plus important de site permet une analyse statistique plus robuste. Dans le cadre d'une démarche d'analyse globale du programme, la prise en compte de la vulnérabilité et de la résilience des sites d'études permettra de replacer ces écosystèmes, avec leur taux de dégradation dans le paysage. Dans ce rapport une première réflexion a permis d'identifier les indicateurs spatiaux suivants : taille/forme, rareté, diversité et connectivité.

Des prévisions précises des impacts futurs du changement climatique sur la biodiversité sont essentielles à l'élaboration de stratégies de conservation. L'ensemble des données, des informations ainsi déterminées et agrégées conduit à des caractérisations couplées, pressions, états et impacts. Cela alimente le transfert d'informations vers les acteurs de forces motrices (industriels, exploitants de ressources, politiques, enseignants,...) qui sont les sources de propositions des acteurs pour mettre en œuvre une gestion, pour appliquer des éléments de réponses dans des politiques environnementales volontaires et avec l'acceptation du public. La prise de conscience des acteurs sera d'autant plus importante que la recherche sera largement ouverte/diffusée au fil du programme. Les actions engagées et à venir pour la partie médiation et communication scientifique ont été présentées et permettent l'accessibilité de la connaissance au plus grand nombre : site internet, vidéos, actions de sensibilisation, réseaux sociaux et supports de communication.

11. Bibliographie

ABADIE J.-C., CAZE G. & CASTAGNE H., 2014. – Plan de conservation de six espèces végétales des coteaux calcaires du département de la Dordogne : Arenaria controversa, Ranunculus paludosus, Lactuca perennis, Euphorbia seguieriana, Hypericum montanum, Spiraea hypericifolia subsp. obovata. Conservatoire Botanique National Sud-Atlantique, 436 p.

AHAS R., 1999. – Long-term phyto-, ornitho- and ichthyophenological time-series analyses in Estonia. International Journal of Biometeorology, **42** (3) : 119-123 doi : 10.1007/s004840050094.

AIZPURU I., ASEGUINOLAZA C., URIBE-ECHEBARRIA P. M., URRUTIA P. & ZORRAQUIN I., 1999. – Claves ilustradas de la flora del País Vasco y territorios limítrofes. Vitoria-Gasteiz : Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, 831 p.

ANGILLETTA M. J., 2009. – Thermal Adaptation: A Theoretical and Empirical Synthesis. OUP Oxford, 304 p.

ATHERTON I., BOSANQUET S. D. & LAWLEY M., 2010. – Mosses and liverworts of Britain and Ireland: a field guide. British Bryological Society Plymouth, 848 p.

AZAELE S., MARITAN A., CORNELL S. J., SUWEIS S., BANAVAR J. R., GABRIEL D. & KUNIN W. E., 2015. – Towards a unified descriptive theory for spatial ecology: predicting biodiversity patterns across spatial scales. Methods in Ecology and Evolution, **6** (3) : 324-332 doi : 10.1111/2041-210X.12319.

BARNEIX M., BAILLEUX G. & SOULET D., 2016. – Liste rouge régionale des odonates d'Aquitaine. Observatoire Aquitain de la Faune Sauvage, 40 p.

BEDE B., BEDE N. & MARTEGOUTTE J.-C., 2014. – Flore de Dordogne et des départements limitrophes. Bacofin., 912 p.

BERRONEAU M., 2015. – Guide des Amphibiens et Reptiles d'Aquitaine. C. Nature., Le Haillan, Gironde, France : Association Cistude Nature, 180 p.

BERRONEAU M., D'AMICO F., FOURNIER A., DEVAUX B. & CHAZAL R., 2015. – Trois années de suivi des populations françaises de Rana pyrenaica Serra-Cobo, 1993 (Amphibia : Ranidae) : premières données d'abondance des têtards. Bulletin société herpétologique de France, **156** (4e trimestre 2015) : 31-44.

BERRONEAU M., DE REINACH HIRTZBACH J. & TILLO S., 2012. – Répartition de Podarcis liolepis sebastiani (Klemmer, 1964) (Squamata, Lacertidae) en France – Herpetofocus. Bulletin de la Société Herpétologique de France, **144** (1-13) .

BERTIN R. I., 2008. – Plant Phenology And Distribution In Relation To Recent Climate Change. The Journal of the Torrey Botanical Society, **135** (1) : 126-146 doi : 10.3159/07-RP-035R.1.

BERTRAND R., 2012. – Réponse spatio-temporelle de la végétation forestière au réchauffement climatique-Évaluation du remaniement de la végétation et caractérisation de l'effet des facteurs écologiques et géographiques le modulant à l'échelle de l'espèce et des communautés. AgroParisTech.

BESANÇON H., COMPS B. & VIROT R., 1971. – Le hêtre et son cortège en Périgord noir et Quercy. Bulletin de la Société Linéenne de Bordeaux, **I** (10) : 223-245.

VAN BOHEMEN H. D., 1998. – Habitat fragmentation, infrastructure and ecological engineering. Ecological Engineering, **11** (1-4) : 199-207 doi : 10.1016/S0925–8574(98)00038–X.

BOMMARCO R., LUNDIN O., SMITH H. G. & RUNDLÖF M., 2012. – Drastic historic shifts in bumble–bee community composition in Sweden. Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences, **279** (1727) : 309-315 doi : 10.1098/rspb.2011.0647.

BOTINEAU M., DESCUBES–GOUILLY C., GHESTEM A. & VILKS A., 1985. – Les hêtraies, hêtraies–chênaies et groupements associés (ourlets, coupes) des hauts plateaux du Limousin. Colloques phytosociologiques, **XIV** : 99-113.

BOULLET V. & GEHU J. M., 1984. – Première contribution à l'étude des pelouses calcaires du Crétacé des Charentes in La végétation des pelouses calcaires. GéoProdig, portail d'information géographique, http://geoprodig.cnrs.fr/items/show/170802 Consulté le 20/12/2017.

BOUZILLE J.–B., 2007. – Gestion des habitats naturels et biodiversité: Concepts, méthodes et démarches. Tec & Doc Lavoisier, 331 p.

BOZINOVIC F. & PÖRTNER H.–O., 2015. – Physiological ecology meets climate change. Ecology and Evolution, **5** (5) : 1025-1030 doi : 10.1002/ece3.1403.

BRADSHAW W. E. & HOLZAPFEL C. M., 2006. – Climate change. Evolutionary response to rapid climate change. Science (New York, N.Y.), **312** (5779) : 1477-1478 doi : 10.1126/science.1127000.

BUREL F. & BAUDRY J., 1999. – Ecologie du paysage: concepts, méthodes et applications. Éd. Tec & doc, 359 p.

BURNS D. A., KLAUS J. & MCHALE M. R., 2007. – Recent climate trends and implications for water resources in the Catskill Mountain region, New York, USA. Journal of Hydrology, **336** (1–2) : 155-170 doi : 10.1016/j.jhydrol.2006.12.019.

CEBALLOS G., EHRLICH P. R., BARNOSKY A. D., GARCIA A., PRINGLE R. M. & PALMER T. M., 2015. – Accelerated modern human–induced species losses: Entering the sixth mass extinction. Science Advances, **1** (5) : e1400253 doi : 10.1126/sciadv.1400253.

CHAO A., 2017. – Anne Chao's Website | Software Download. http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software_download/ Consulté le 11/1/2017.

CHAO A. & CHIU C.–H., 2016. – Bridging the variance and diversity decomposition approaches to beta diversity via similarity and differentiation measures. Methods in Ecology and Evolution, **7** (8) : 919-928 doi : 10.1111/2041–210X.12551.

CHAO A., CHIU C.–H. & HSIEH T. C., 2012. – Proposing a resolution to debates on diversity partitioning. Ecology, **93** (9) : 2037-2051 doi : 10.1890/11–1817.1.

CHAO A., CHIU C.–H. & JOST L., 2010. – Phylogenetic diversity measures based on Hill numbers. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, **365** (1558) : 3599-3609 doi : 10.1098/rstb.2010.0272.

CHAO A. & JOST L., 2015. – Estimating diversity and entropy profiles via discovery rates of new species. Methods in Ecology and Evolution, **6** (8) : 873-882 doi : 10.1111/2041–210X.12349.

CHIU C.–H., JOST L. & CHAO A., 2014a. – Phylogenetic beta diversity, similarity, and differentiation measures based on Hill numbers. Ecological Monographs, **84** (1) : 21-44 doi : 10.1890/12–0960.1.

CHIU C.–H., WANG Y.–T., WALTHER B. A. & CHAO A., 2014b. – An improved nonparametric lower bound of species richness via a modified good–turing frequency formula. Biometrics, **70** (3) : 671-682 doi : 10.1111/biom.12200.

COMPS B., LETOUZEY J. & TIMBAL J., 1980a. – Essai de synthèse phytosociologique sur les hetraies calcicoles du domaine alantique. Documents phytosociologiques, **5** : 177-191.

COMPS B., LETOUZEY J. & TIMBAL J., 1980b. – Essai de synthèse phytosociologique sur les hetraies acidiphiles et neutres du domaine alantique. Documents phytosociologiques, **5** : 409-443.

COMPS B., LETOUZEY J. & TIMBAL J., 1986. – Etude synsystématique des hêtraies pyrénéennes et des régions limitrophes (Espagne et piémont aquitain). Phytocoenologia, **14** (2) : 145-236.

CORMONT A., WIEGER WAMELINK G. W., JOCHEM R., WALLISDEVRIES M. F. & WEGMAN R. M. A., 2013. – Host plant–mediated effects of climate change on the occurrence of the Alcon blue butterfly (Phengaris alcon). Ecological Modelling, **250** : 329-337 doi : 10.1016/j.ecolmodel.2012.11.022.

COSTE H., 1901. – Flore descriptive et illustrée de la France, de la Corse et des contrées limitrophes : Vol. 1. Paris : Librairie des Sciences Naturelles.

COSTE H. & FLAHAULT C., 1903. – Flore descriptive et illustrée de la France, de la Corse et des contrées limitrophes: Vol. 2. Paris : Librairie des Sciences et des Arts.

COSTE H. & FLAHAULT C., 1906. – Flore descriptive et illustrée de la France, de la Corse et des contrées limitrophes : Vol. 3. Paris : Librairie des Sciences Naturelles.

DANIELS R. E. & EDDY A., 1990. – Handbook of European Sphagna. Institute of Terrestrial Ecology. Natural Environment Research Council. London : HMSO.

DAUFRESNE M., LENGFELLNER K. & SOMMER U., 2009. – Global warming benefits the small in aquatic ecosystems. Proceedings of the National Academy of Sciences, **106** (31) : 12788-12793 doi : 10.1073/pnas.0902080106.

DAVIS M. B. & SHAW R. G., 2001. – Range Shifts and Adaptive Responses to Quaternary Climate Change. Science, **292** (5517) : 673-679 doi : 10.1126/science.292.5517.673.

DUPONT P., 2015. – Base de données de connaissance sur les Lépidoptères rhopalocères. Version 01. MNHN, SNPN. https://inpn.mnhn.fr/site/evaluation/habitat/carte/1230.

E SILVA D., 2010. – Ecologie du hêtre (Fagus sylvatica L.) en marge sud–ouest de son aire de distribution. Nancy : Nancy 1, 190 p.

EFRON B. & TIBSHIRANI R. J., 1994. – An Introduction to the Bootstrap. CRC Press, 456 p.

ENGLER R., RANDIN C. F., THUILLER W., DULLINGER S., ZIMMERMANN N. E., ARAUJO M. B., PEARMAN P. B., LE LAY G., PIEDALLU C., ALBERT C. H., CHOLER P., COLDEA G., DE LAMO X., DIRNBÖCK T., GEGOUT J.–C. ET AL., 2011. – 21st century climate change threatens mountain flora unequally across Europe. Global Change Biology, **17** (7) : 2330-2341 doi : 10.1111/j.1365–2486.2010.02393.x.

FAURIE C., FERRA C., MEDORI P., DEVAUX J. & HEMPTINNE J.-L., 2011. – Ecologie: Approche scientifique et pratique. Tec & Doc Lavoisier, 531 p.

FAVENNEC J., 2002. – Connaissance et gestion durable des dunes de la côte Atlantique. Paris : Office national des forêts, 394 p.

FEEHAN J., HARLEY M. & VAN MINNEN J., 2009. – Climate change in Europe. 1. Impact on terrestrial ecosystems and biodiversity. A review. Agronomy for Sustainable Development (EDP Sciences), **29** (3) : 409-421 doi : 10.1051/agro:2008066.

FODEN W., VIE J. C., ANGULO A., BUTCHART S., DEVANTIER L., DUBLIN H., GUTSCHE A., STUART S. & TURAK E., 2008. – Species susceptibility to climate change impact. Dans : J.-C. Vié, C. Hilton-Taylor and S.N. Stuart (eds). The 2008 Review of The IUCN Red List of Threatened Species. Switzerland : IUCN Gland.

FRANÇOIS D., LE FEON V., BRETAUD J. F., GUINARD E., HENRY M., PINEAU C. & VAISSIERE B., à paraitre. – PolLinéaire – Potentiel des dépendances vertes d'infrastructures linéaires de transport pour la préservation et la dispersion des pollinisateurs sauvages. Rapport final.

FY F. & BISSOT R., 2014. – Mise en place et évaluation de l'état de conservation des végétations des pelouses calcicoles sur les sites Natura 2000 de Poitou-Charentes. Conservatoire Botanique National Sud-Atlantique, 44 p.

GADANT J., 2002. – L'atlas des forêts de France. J.-P. de Monza, 240 p.

GARGOMINY P., TERCERIE S., REGNIER C., RAMAGE T., SCHOELINCK C., DUPONT P., VANDEL E., DASZKIEWICZ P. & PONCET L., 2015. – TAXREF v9. 0, référentiel taxonomique pour la France: Méthodologie, mise en oeuvre et diffusion. Rapport SPN., Paris : Muséum national d'Histoire naturelle, 126 p.

GEHU J.-M. & GEHU-FRACK J., 1973. – Contribution a l'etude phytosociologique des landes du sud ouest de la France. Colloques phytosociologiques, **II** : 75-89.

GENELETTI D., 2002. – Ecological evaluation for environmental impact assessment. Koninklijk Nederlands Aardrijkskundig Genootschap.

GIEC., 2013. – Changements climatiques 2013 les éléments scientifiques : extraits de la contribution du groupe de travail I au cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Geneva, Switzerland : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 204 p.

GODINEZ-ALVAREZ H., HERRICK J. E., MATTOCKS M., TOLEDO D. & VAN ZEE J., 2009. – Comparison of three vegetation monitoring methods: Their relative utility for ecological assessment and monitoring. Ecological Indicators, **9** (5) : 1001-1008 doi : 10.1016/j.ecolind.2008.11.011.

GOTELLI N. J. & CHAO A., 2013. – Measuring and Estimating Species Richness, Species Diversity, and Biotic Similarity from Sampling Data. Dans : Encyclopedia of Biodiversity. Elsevier, p. 195-211.

GOURVIL P.-Y., SOULET D., COUANON V., SANNIER M., DROUET E., SIMPSON D. & VAN HALDER I., 2016. – Pré-Atlas des rhopalocères et zygènes d'Aquitaine. Synthèse des connaissances 1995 – 2015. France : CEN Aquitaine, LPO Aquitaine, 217 p.

GRILLET P., CHEYLAN M. & DUSOULIER F., 2006. – Évolution des habitats et changement climatique. ecologia mediterranea, **32** : 64.

GRUBER M., 1991. – Les relations climat–végétation dans les Pyrénées centrales françaises. Acta Botanica Malacitana, **16** (2) : 405-415.

VON HAGEN E. VON. & AICHHORN A., 2014. – Hummeln: bestimmen, ansiedeln, vermehren, schützen. 6e éd., s.l. : Fauna, 360 p.

HASSALL C., THOMPSON D. J., FRENCH G. C. & HARVEY I. F., 2007. – Historical changes in the phenology of British Odonata are related to climate. Global Change Biology, **13** (5) : 933-941 doi : 10.1111/j.1365–2486.2007.01318.x.

HICKLING R., ROY D. B., HILL J. K. & THOMAS C. D., 2005. – A northward shift of range margins in British Odonata. Global Change Biology, **11** (3) : 502-506 doi : 10.1111/j.1365–2486.2005.00904.x.

HOWARD C., STEPHENS P. A., PEARCE–HIGGINS J. W., GREGORY R. D. & WILLIS S. G., 2014. – Improving species distribution models: the value of data on abundance. Methods in Ecology and Evolution, **5** (6) : 506-513 doi : 10.1111/2041–210X.12184.

HSIEH T. C., MA K. H. & CHAO A., 2016. – iNEXT: an R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers). Methods in Ecology and Evolution, **7** (12) : 1451-1456 doi : 10.1111/2041–210X.12613.

HÜTTICH C., HEROLD M., SCHMULLIUS C., EGOROV V. & BARTALEV S. A., 2007. – Indicators of Northern Eurasia's land-cover change trends from SPOT-VEGETATION time-series analysis 1998–2005. International Journal of Remote Sensing, **28** (18) : 4199-4206 doi : 10.1080/01431160701442054.

ISERBYT S., 2009. – La faune des bourdons (Hymenoptera: Apidae) du Parc National des Pyrénées occidentales et des zones adjacentes. Annales de la Société entomologique de France (N.S.), **45** (2) : 217-244 doi : 10.1080/00379271.2009.10697603.

JAESCHKE A., BITTNER T., REINEKING B. & BEIERKUHNLEIN C., 2013. – Can they keep up with climate change? – Integrating specific dispersal abilities of protected Odonata in species distribution modelling. Insect Conservation and Diversity, **6** (1) : 93-103 doi : 10.1111/j.1752–4598.2012.00194.x.

KERR J. T., PINDAR A., GALPERN P., PACKER L., POTTS S. G., ROBERTS S. M., RASMONT P., SCHWEIGER O., COLLA S. R., RICHARDSON L. L., WAGNER D. L., GALL L. F., SIKES D. S. & PANTOJA A., 2015. – Climate change impacts on bumblebees converge across continents. Science, **349** (6244) : 177-180 doi : 10.1126/science.aaa7031.

KESEL R. & URBAN K., 1999. – Population Dynamics of Gentiana pneumonanthe and Rhynchospora fusca during Wet Heathland Restoration. Applied Vegetation Science, **2** (1) : 149-156 doi : 10.2307/1478892.

KLECKOVA I. & KLECKA J., 2016. – Facing the Heat: Thermoregulation and Behaviour of Lowland Species of a Cold–Dwelling Butterfly Genus, Erebia. PloS One, **11** (3) : e0150393 doi : 10.1371/journal.pone.0150393.

LAFON P. & LE FOULER A., 2014. – Suivi des végétations de landes et tourbières acidiphiles d'Aquitaine – Méthode et mise en place. Conservatoire Botanique National Sud–Atlantique/DREAL Aquitaine, 19 (+ annexes) p.

LAFON P., LE FOULER A., DUFAY J., HARDY F. & CAZE G., 2015a. – Les végétations des dunes littorales non boisées d'Aquitaine : synsystématique et synchorologie (Euphorbio paraliae – Ammophiletea australis, Koelerio glaucae – Corynephoretea canescentis p.p., Scheuchzerio palustris – Caricetea fuscae p.p.). Conservatoire Botanique National Sud-Atlantique/DREAL Aquitaine, 114 p.

LAFON P., LE FOULER A. & MASSART P., 2015b. – Suivi des végétations des dunes non boisées d'Aquitaine. Propositions d'adaptations méthodologiques. Conservatoire Botanique National Sud-Atlantique/DREAL Aquitaine.

LAFONTAINE G., AMASIFUEN GUERRA C. A., DUCOUSSO A. & PETIT R. J., 2014. – Cryptic no more: soil macrofossils uncover Pleistocene forest microrefugia within a periglacial desert. New Phytologist, **204** (3) : 715–729.

LAMOTHE T. & BLANCHARD F., 2005. – Etude typologique et fonctionnelle des coteaux marnicoles du Tursan (département des Landes). Conservatoire Botanique National Sud-Atlantique/DREAL Aquitaine, 50 p.

LANGLOIS D. & GILG O., 2007. – Méthode de suivi des milieux ouverts par les Rhopalocères dans les Réserves Naturelles de France. Réserves Naturelles de France, 34 p.

LAPRAZ G., 1963. – La végétation de l'Entre-deux-mers. Mém. Soc. sci. phys. nat. Bordeaux, : 97–110.

LAVOREL S. & GARNIER E., 2002. – Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: Revisiting the Holy Grail. Functional Ecology, **16** (5) : 545-556 doi : 10.1046/j.1365-2435.2002.00664.x.

LE FOULER A., 2012. – Le suivi des végétations des rives des étangs arrière-littoraux d'Aquitaine – Méthode et premiers éléments. Conservatoire Botanique National Sud-Atlantique/DREAL Aquitaine, 79 p.

LE FOULER A., 2013. – Le suivi des pelouses calcicoles d'Aquitaine – Méthodes et première lecture. Conservatoire Botanique National Sud-Atlantique/DREAL Aquitaine, 104 p.

LE FOULER A. & BLANCHARD F., 2011. – Méthodologie d'évaluation et de suivi de l'état de conservation des lagunes du plateau landais et première lecture d'un échantillon de 86 lagunes. Vol. 1 : méthodologie et premiers résultats. Conservatoire Botanique National Sud-Atlantique/DREAL Aquitaine, 38 p.

LE FOULER A. & CAZE G., 2012. – Schéma pluriannuel de suivi de l'état de conservation des habitats d'intérêt communautaire d'Aquitaine. Conservatoire Botanique National Sud-Atlantique/DREAL Aquitaine, 12 p.

LE TREUT H., 2013. – Les impacts du changement climatique en Aquitaine : Un état des lieux scientifique. Pessac, France : Presses Universitaires de Bordeaux, 360 p.

LEBOURGEOIS F., BREDA N., ULRICH E. & GRANIER A., 2005. – Climate-tree-growth relationships of European beech (Fagus sylvatica L.) in the French Permanent Plot Network (RENECOFOR). Trees, **19** (4) : 385–401.

LENOIR J. & GEGOUT J.-C., 2010. – La remontée de la distribution altitudinale des espèces végétales forestières tempérées en lien avec le réchauffement climatique récent. Revue Forestière Française, **LXII** (3-4) : 465-476 doi : 10.4267/2042/38961.

LI Y., COHEN J. M. & ROHR J. R., 2013. – Review and synthesis of the effects of climate change on amphibians. Integrative Zoology, **8** (2) : 145-161 doi : 10.1111/1749–4877.12001.

LOCEY K. J. & WHITE E. P., 2013. – How species richness and total abundance constrain the distribution of abundance. Ecology Letters, **16** (9) : 1177-1185 doi : 10.1111/ele.12154.

LOKEN A., 1973. – Studies on Scandinavian bumble bees (Hymenoptera, Apidae). Norw. J. Entomol., **20** : 1-218.

LPO., 2004. – Un patrimoine à protéger. http://sarthe.lpo.fr/ressources%20site%20internet/GIFS/Fiche%202%20Patrimoine.pdf Consulté le 22/12/2016.

MAALOUF J.–P., 2012. – Effets interactifs d'une sècheresse liée au changement climatique et de la gestion sur les pelouses calcaires du sud de l'Europe. Bordeaux : Bordeaux 1.

MAES D., VANREUSEL W., TALLOEN W. & DYCK H. V., 2004. – Functional conservation units for the endangered Alcon Blue butterfly Maculinea alcon in Belgium (Lepidoptera: Lycaenidae). Biological Conservation, **120** (2) : 229-241 doi : 10.1016/j.biocon.2004.02.018.

MAGURRAN A. E., 2004. – Measuring biological diversity. Blackwel Science Ltd.: Oxford., 256 p.

MALLARD F., 2014. – Développement d'une méthode d'évaluation quantitative des effets des projets d'infrastructures de transport terrestre sur les milieux naturels. France : Université Nantes Angers le Mans, 472 p.

MALLARD F., 2016. – Programme les sentinelles du climat. Tome I : Développement d'indicateurs des effets du changement climatique sur la biodiversité en Nouvelle–Aquitaine. Le Haillan, France : C. Nature, 86 p.

MANIL L. & HENRY P.–Y., 2007. – Suivi Temporel des Rhopalocères de France (STERF) – Suivi Temporel des Insectes Communs (STIC) – Protocole national., 10 p.

MARAGE D. & GEGOUT J.–C., 2010. – Réponses de quelques habitats naturels forestiers et de leurs espèces typiques au changement climatique. Revue Forestière Française, **LXII** (3-4) : 485-500.

MARCON E., 2015. – Mesures de la Biodiversité. AgroParisTech, 256 p.

MASSU N. & LANDMANN G., 2011. – Connaissance des impacts du changement climatique sur la biodiversité en France métropolitaine – Synthèse bibliographique. Ecofor, 180 p.

MCGARIGAL K., CUSHMAN S. & ENE E., 2012. – FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps. University of Massachusetts, Amherst.

MCKINNEY M. L. & LOCKWOOD J. L., 1999. – Biotic homogenization: a few winners replacing many losers in the next mass extinction. Trends in Ecology & Evolution, **14** (11) : 450-453 doi : 10.1016/S0169–5347(99)01679–1.

MENZEL A. & FABIAN P., 1999. – Growing season extended in Europe. Nature, **397** (6721) : 659–659.

MICHENER C. D., 2007. – The Bees of the World. 2nd edition., Baltimore : Johns Hopkins University Press, 992 p.

MILLER–STRUTTMANN N. E., GEIB J. C., FRANKLIN J. D., KEVAN P. G., HOLDO R. M., EBERT–MAY D., LYNN A. M., KETTENBACH J. A., HEDRICK E. & GALEN C., 2015. – Functional mismatch in a bumble bee

pollination mutualism under climate change. Science, **349** (6255) : 1541-1544 doi : 10.1126/science.aab0868.

NAKICENOVIC N., ALCAMO J., DAVIS G., DE VRIES B., FENHANN J., GAFFIN S., GREGORY K., GRUBLER A., JUNG T. Y., KRAM T. & OTHERS., 2000. – Special report on emissions scenarios: a special report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Pacific Northwest National Laboratory, Richland, WA (US), Environmental Molecular Sciences Laboratory (US).

OLIVER I. & BEATTIE A. J., 1996. – Invertebrate Morphospecies as Surrogates for Species: A Case Study. Conservation Biology, **10** (1) : 99–109 doi : 10.1046/j.1523–1739.1996.10010099.x.

OUZEAU G., DEQUE M., JOUINI M., PLANTON S. & VAUTARD R., 2014. – Le climat de la France au XXIè siècle. Rapport de la Direction Générale de l'Energie et du Climat., 64 p.

PIEDALLU C., PEREZ V., GEGOUT J.–C., LEBOURGEOIS F. & BERTRAND R., 2009. – Impact potentiel du changement climatique sur la distribution de l'Épicéa, du Sapin, du Hêtre et du Chêne sessile en France. Revue Forestière Française, **LXI** (6) : 567-593.

PRADERVAND J.–N., PELLISSIER L., RANDIN C. F. & GUISAN A., 2014. – Functional homogenization of bumblebee communities in alpine landscapes under projected climate change. Climate Change Responses, **1** (1) : 1-10 doi : 10.1186/s40665–014–0001–5.

PRELLI R. & BOUDRIE M., 2001. – Les fougères et plantes alliées de France et d'Europe occidentale. Belin., Paris, 431 p.

RAMEAU J. C., MANSION D., DUME G., TIMBAL J., GAUBERVILLE C., BARDAT J., KELLER R. & BRUNO E., 2008. – Flore forestière française. Guide écologique illustré. Tome 3 : Région méditerranéenne. Paris : Institut pour le développement forestier, 2426 p.

RAMEAU J. C., MANSION D., DUME G., TIMBAL J., LECOINTE A., DUPONT P. & KELLER R., 1989. – Flore forestière française. Guide écologique illustré. Tome 1 : Plaines et collines. Paris : Institut pour le développement forestier, 1785 p.

RAMEAU J. C., MANSION D., DUME G., TIMBAL J., LECOINTE A., DUPONT P. & KELLER R., 1993. – Flore forestière française. Guide écologique illustré. Tome 2 : Montagnes. Paris : Institut pour le développement forestier, 2421 p.

RASMONT P., FRANZEN M., LECOCQ T., HARPKE A., ROBERTS S., BIESMEIJER J. C., CASTRO L., CEDERBERG B., DVORAK L., FITZPATRICK Ú., GONSETH Y., HAUBRUGE E., MAHE G., MANINO A., MICHEZ D. ET AL., 2015. – Climatic Risk and Distribution Atlas of European Bumblebees. BioRisk, **10** : 1-236 doi : 10.3897/biorisk.10.4749.

RENAUX B., LE HENAFF P.–M. & CHOISNET G., 2015. – Contribution à la déclinaison de nouvelles associations forestières du Massif central. Bulletin de la Société Botanique du Centre–Ouest, **45** : 386-437.

ROISIN P., 1967. – Contribution à l'étude du domaine phytogéographique et des hêtraies atlantiques d'Europe. Gembloux, Belgique, 346 p.

ROSENBERG M. S. & ANDERSON C. D., 2011. – PASSaGE: Pattern Analysis, Spatial Statistics and Geographic Exegesis. Version 2. Methods in Ecology and Evolution, **2** (3) : 229–232 doi : 10.1111/j.2041–210X.2010.00081.x.

ROSENZWEIG M. L., 1995. – Species Diversity in Space and Time. Cambridge University Press, 462 p.

ROSENZWEIG M. L., 2004. – Applying species–area relationships to the conservation of species diversity. http://www.eebweb.arizona.edu/Courses/Ecol406R_506R/RosenzweigIBS.pdf Consulté le 20/12/2017.

ROYER J. M., 1982. – Contribution à l'étude phytosociologique des pelouses du Périgord et des régions voisines. Doc. Phytosoc, **6** : 203–220.

ROYER J. M., 1984. – Caractérisation, répartition et origine du Xerobromion. Coll. Phytosoc, **11** : 243–267.

ROYER J.–M., 2009. – Petit précis de phytosociologie sigmatiste. Société Botanique du Centre–Ouest.

RUYS T. & COUZI L., 2015. – Atlas des Mammifères sauvages d'Aquitaine. Tome 6 : Les rongeurs, les érinacéomorphes et les soricomorphes. Cistude Nature et LPO Aquitaine. France : C. Nature, 228 p.

SALA O. E., CHAPIN F. S., III., ARMESTO J. J., BERLOW E., BLOOMFIELD J., DIRZO R., HUBER–SANWALD E., HUENNEKE L. F., JACKSON R. B., KINZIG A., LEEMANS R., LODGE D. M., MOONEY H. A., OESTERHELD M. ET AL., 2000. – Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100. Science, **287** (5459) : 1770-1774 doi : 10.1126/science.287.5459.1770.

SAURA S. & RUBIO L., 2010. – A common currency for the different ways in which patches and links can contribute to habitat availability and connectivity in the landscape. Ecography, **33** (3) : 523–537 doi : 10.1111/j.1600–0587.2009.05760.x.

SAURA S. & TORNE J., 2009. – Conefor Sensinode 2.2: A software package for quantifying the importance of habitat patches for landscape connectivity. Environmental Modelling & Software, **24** (1) : 135-139 doi : 10.1016/j.envsoft.2008.05.005.

SAVOIE J.–M., 1982. – Une chenaie–hetraie d'Aquitaine. La forêt de Laveyron (Landes): facteurs stationnels, phénologie, régénération du hêtre. Thèse Doct. 3' cycle, Université de Bordeaux 1, 109 p.

SHERRY R. A., ZHOU X., GU S., ARNONE J. A., SCHIMEL D. S., VERBURG P. S., WALLACE L. L. & LUO Y., 2007. – Divergence of reproductive phenology under climate warming. Proceedings of the National Academy of Sciences, **104** (1) : 198–202.

SINERVO B., MENDEZ–DE–LA–CRUZ F., MILES D. B., HEULIN B., BASTIAANS E., VILLAGRAN–SANTA CRUZ M., LARA–RESENDIZ R., MARTINEZ–MENDEZ N., CALDERON–ESPINOSA M. L., MEZA–LAZARO R. N., GADSDEN H., AVILA L. J., MORANDO M., DE LA RIVA I. J., VICTORIANO SEPULVEDA P. ET AL., 2010. – Erosion of lizard diversity by climate change and altered thermal niches. Science, **328** (5980) : 894-899 doi : 10.1126/science.1184695.

STIRLING A., 2007. – A general framework for analysing diversity in science, technology and society. Journal of The Royal Society Interface, **4** (15) : 707-719 doi : 10.1098/rsif.2007.0213.

TAFANI M., COHAS A., BONENFANT C., GAILLARD J.–M. & ALLAINE D., 2013. – Decreasing litter size of marmots over time: a life history response to climate change? Ecology, **94** (3) : 580-586 doi : 10.1890/12–0833.1.

THEURILLAT J.-P., FELBER F., GEISSLER P., GOBAT J.-M., FIERZ M., FISCHLIN A., KÜPFER P., SCHLÜSSEL A., VELLUTI C., ZHAO G.-F. & OTHERS., 1998. – Sensitivity of plant and soil ecosystems of the Alps to climate change. Views from the Alps: regional perspectives on climate change, : 225–308.

THEURILLAT J.-P. & GUISAN A., 2001. – Potential impact of climate change on vegetation in the European Alps: a review. Climatic change, **50** (1-2) : 77–109.

THOMAS C. D., CAMERON A., GREEN R. E., BAKKENES M., BEAUMONT L. J., COLLINGHAM Y. C., ERASMUS B. F. N., DE SIQUEIRA M. F., GRAINGER A., HANNAH L., HUGHES L., HUNTLEY B., VAN JAARSVELD A. S., MIDGLEY G. F., MILES L. ET AL., 2004. – Extinction risk from climate change. Nature, **427** (6970) : 145-148 doi : 10.1038/nature02121.

THOMPSON G. G., WITHERS P. C., PIANKA E. R. & THOMPSON S. A., 2003. – Assessing biodiversity with species accumulation curves; inventories of small reptiles by pit-trapping in Western Australia. Austral Ecology, **28** (4) : 361–383.

TISON J.-M., DE FOUCAULT B. & GUIOL F., 2014a. – Flora Gallica : flore de France. Biotope éditions., Mèze : Biotope éditions.

TISON J.-M., JAUZEIN P., MICHAUD H. & MICHAUD H., 2014b. – Flore de la France méditerranéenne continentale. Naturalia publications Turriers.

TJØRVE E., 2003. – Shapes and functions of species–area curves: a review of possible models. Journal of Biogeography, **30** (6) : 827–835 doi : 10.1046/j.1365-2699.2003.00877.x.

ULRICH E., 1995. – Le réseau RENECOFOR : Objectifs et réalisation. Revue Forestière Française, **XLVII** (2) : 107-124.

ULRICH W. & BUSZKO J., 2003. – Species–area relationships of butterflies in Europe and species richness forecasting. Ecography, **26** (3) : 365-373 doi : 10.1034/j.1600-0587.2003.03441.x.

VAN DYCK H. & REGNIERS S., 2010. – Egg spreading in the ant-parasitic butterfly, Maculinea alcon: from individual behaviour to egg distribution pattern. Animal Behaviour, **80** (4) : 621-627 doi : 10.1016/j.anbehav.2010.06.021.

VENNETIER M. & RIPERT C., 2010. – Impact du changement climatique sur la flore méditerranéenne: théorie et pratique. Dans : Barbault R., Foucault A., Changement climatique et biodiversité, Paris, éditions Vulbert. , p. 75-87.

VITASSE Y., 2009. – Impact du changement climatique sur la phénologie des forêts de montagne (Thèse). Bordeaux : Bordeaux, 410 p.

VITASSE Y., FRANÇOIS C., DELPIERRE N., DUFRENE E., KREMER A., CHUINE I. & DELZON S., 2011. – Assessing the effects of climate change on the phenology of European temperate trees. Agricultural and Forest Meteorology, **151** (7) : 969–980.

VOGEL P., 2012. – New trapping method to survey for presence of the Etruscan shrew Suncus etruscus, the smallest mammal. Mammal Review, **42** (4) : 314-318 doi : 10.1111/j.1365-2907.2012.00215.x.

VREUGDENHIL D., TERBORGH J., CLEEF A. M., SINITSYN M., BOERE G. C., ARCHAGA V. L. & PRINS H. H., 2003. – Comprehensive protected areas system composition and monitoring. WICE Shepherdstown, 106 p.

WERNER U. & BUSZKO J., 2005. – Detecting biodiversity hotspots using species–area and endemics–area relationships: the case of butterflies. Biodiversity & Conservation, **14** (8) : 1977-1988 doi : 10.1007/s10531-004-2526-6.

ZWICKE M., 2013. – Impacts d'une canicule sécheresse sur le fonctionnement et la structure des communautés végétales de l'écosystème prairial. Clermont-Ferrand : Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II, 305 p.

12. Annexes

ANNEXE 1. CARACTERISTIQUES DES 61 STATIONS METEOROLOGIQUES 295

ANNEXE 2. DETAILS DE MONTAGE DE STATION METEOROLOGIQUE 297

ANNEXE 3. TUTORIEL DE LA POSE DE STATION METEOROLOGIQUE 303

ANNEXE 4. BORDEREAU D'INVENTAIRE PHYTOSOCIOLOGIQUE (CBNSA) RECTO ET VERSO..... 306

ANNEXE 5. FICHE DE RELEVES DUNES LITTORALES NON-BOISEES RECTO ET VERSO (ONF) 308

ANNEXE 6. LOCALISATION DES SUIVIS DE PELOUSES SECHES SENTINELLES ET NATURA 2000..... 310

ANNEXE 7. CARTES DE SITUATION DES QUADRATS DE PELOUSES SECHES..... 311

ANNEXE 8. FICHE DE RELEVE POUR LE QUADRAT PAYSAGER DE PELOUSES SECHES (RECTO ET VERSO)..... 319

ANNEXE 9. FICHE DE RELEVE POUR LES QUADRATS DE FREQUENCE DE PELOUSES SECHES..... 321

ANNEXE 10. LISTE DES ESPECES DE LEPIDOPTERES A DETERMINATION DELICATE..... 322

ANNEXE 11. LISTE DES ESPECES DE LEPIDOPTERES ET D'ASCALAPHES ET UN EXEMPLE D'ARBRE PHYLOGENETIQUE 323

ANNEXE 12. SAR (SPECIES AREA RELATIONSHIPS)..... 331

ANNEXE 13. INEXT – COMPARAISON DES DONNEES..... 334

ANNEXE 14. BOOTSTRAPS APPLIQUE AUX LISSAGES 338

ANNEXE 15. POSITIONNEMENT DES TRANSECTS ET EMPRISE DU SITE DU SUIVI DES LEPIDOPTERES DE PELOUSES CALCICOLES..... 342

ANNEXE 16. CARTES DE SITUATION DES QUADRATS DE LANDES HUMIDES 382

ANNEXE 17. FICHE DE RELEVE POUR LES QUADRATS DE FREQUENCE DE LANDES HUMIDES (RECTO ET VERSO) 388

ANNEXE 18. FICHE DE RELEVE POUR LES QUADRATS DE FREQUENCE DE TOURBIERES (RECTO ET VERSO)..... 390

ANNEXE 19. POSITIONNEMENT DES TRANSECTS DES SUIVIS DES LEPIDOPTERES EN LANDE HUMIDE..... 392

ANNEXE 20. FICHE DE RENSEIGNEMENT DES TRANSECTS DE LAGUNE (RECTO ET VERSO)..... 422

ANNEXE 21. FICHE DESCRIPTIVE DE LAGUNES (RECTO ET VERSO) 424

ANNEXE 22. CARTES DE LOCALISATION POTENTIELLE DES TRANSECTS DU SUIVI ODONATES EN 2017 426

ANNEXE 23. CARTES DE SITUATION DES TRANSECTS SUR LES ETANGS ARRIERE-LITTORAUX 433

ANNEXE 24. FICHE DE RENSEIGNEMENTS DE TRANSECT D'ETANGS ARRIERE-LITTORAUX (RECTO ET VERSO) 438

ANNEXE 25. FICHE DE RENSEIGNEMENTS DES QUADRATS DE FREQUENCE D'ETANGS ARRIERE-LITTORAUX .. 440

ANNEXE 26. PROTOCOLE DE CARACTERISATION DES POPULATIONS DE GRENOUILLE DES PYRENEES 441

ANNEXE 27. PROTOCOLE DE SUIVI DES LEZARDS PYRENEENS 446

Annexe 1. Caractéristiques des 61 stations météorologiques

N° sondes	Structure	Ecosystème	Taxon	Mise en route	Pose de la station	Longitude	Latitude	Altitude
10957016	Cistude Nature	Dune	Lézard ocellé	07/05/2016 1h00	24/11/2016 12h00	[redacted]	[redacted]	6
10957022	Cistude Nature	Dune	Lézard ocellé	07/05/2016 1h00	24/11/2016 11h45	[redacted]	[redacted]	13
10957017	Cistude Nature	humide	Azuré des mouillères	07/05/2016 1h00	11/07/2016 16h00	[redacted]	[redacted]	47
10957024	CEN	humide	Azuré des mouillères	07/05/2016 1h00	18/07/2016 17h00	[redacted]	[redacted]	131
10957010	Cistude Nature	humide	Lépidoptères	07/05/2016 1h00	22/07/2016 14h00	[redacted]	[redacted]	46
10953476	Cistude Nature	humide	Lépidoptères	07/05/2016 1h00	18/08/2016 11h00	[redacted]	[redacted]	14
10957026	Cistude Nature	humide	Lépidoptères	07/05/2016 1h00	25/08/2016 11h00	[redacted]	[redacted]	19
10957002	Cistude Nature	humide	Lépidoptères	07/05/2016 1h00	29/08/2016 10h00	[redacted]	[redacted]	20
10953475	Cistude Nature	humide	Rainette ibérique	07/05/2016 1h00	28/09/2016 10h30	[redacted]	[redacted]	61
10953479	Cistude Nature	humide	Rainette ibérique	07/05/2016 1h00	19/09/2016 13h	[redacted]	[redacted]	40
10957019	Cistude Nature	humide	Rainette ibérique	07/05/2016 1h00	10/11/2016 13h	[redacted]	[redacted]	80
10953480	Cistude Nature	humide	Lézard vivipare/ Rainette ibérique	07/05/2016 1h00	19/09/2016 16h30	[redacted]	[redacted]	70
10953483	Cistude Nature	humide	Lézard vivipare/ Rainette ibérique	07/05/2016 1h00	19/09/2016 10h	[redacted]	[redacted]	47
10957015	Cistude Nature	humide	Lézard vivipare/ Rainette ibérique	07/05/2016 1h00	19/09/2016 11h	[redacted]	[redacted]	69
10953490	Cistude Nature	humide	Lézard vivipare	07/05/2016 1h00	22/09/2016 11h	[redacted]	[redacted]	67
10956999	Cistude Nature	humide	Lézard vivipare	07/05/2016 1h00	06/10/2016 11h40	[redacted]	[redacted]	124
10957005	Cistude Nature	humide	Lézard vivipare	07/05/2016 1h00	19/09/2016 14h30	[redacted]	[redacted]	28
10957006	DGE	montagne	Bourdons	07/05/2016 1h00	13/09/2016 10h00	[redacted]	[redacted]	1154
10957020	DGE	montagne	Bourdons	07/05/2016 1h00	13/09/2016 11h00	[redacted]	[redacted]	1051
10953471	DGE	montagne	Bourdons	07/05/2016 1h00	13/09/2016 11h00	[redacted]	[redacted]	840
10953474	DGE	montagne	Bourdons	07/05/2016 1h00	13/09/2016 13h00	[redacted]	[redacted]	1129
10953488	DGE	montagne	Bourdons	07/05/2016 1h00	13/09/2016 15h00	[redacted]	[redacted]	1412
10953484	DGE	montagne	Bourdons	07/05/2016 1h00	13/09/2016 16h00	[redacted]	[redacted]	1507
10953478	DGE	montagne	Bourdons	07/05/2016 1h00	13/09/2016 17h00	[redacted]	[redacted]	1312
10953477	DGE	montagne	Bourdons	07/05/2016 1h00	13/09/2016 17h00	[redacted]	[redacted]	1193
10953485	DGE	montagne	Bourdons	07/05/2016 1h00	13/09/2016 18h00	[redacted]	[redacted]	929
10953472	DGE	montagne	Bourdons	07/05/2016 1h00	13/09/2016 18h00	[redacted]	[redacted]	1303
10957011	DGE	montagne	Bourdons	07/05/2016 1h00	14/09/2016 11h00	[redacted]	[redacted]	1447
10957018	DGE	montagne	Bourdons	07/05/2016 1h00	14/09/2016 13h00	[redacted]	[redacted]	1397
10956997	DGE	montagne	Bourdons	07/05/2016 1h00	14/09/2016 14h00	[redacted]	[redacted]	1615
10956996	DGE	montagne	Bourdons	07/05/2016 1h00	14/09/2016 14h00	[redacted]	[redacted]	1447
10957012	DGE	montagne	Bourdons	07/05/2016 1h00	14/09/2016 18h00	[redacted]	[redacted]	1591
10957031	DGE	montagne	Bourdons	07/05/2016 1h00	14/10/2016 17h22	[redacted]	[redacted]	1420
10953487	DGE	montagne	Bourdons	07/05/2016 1h00	14/10/2016 18h30	[redacted]	[redacted]	1850
10953486	DGE	montagne	Bourdons	07/05/2016 1h00	15/10/2016 11h11	[redacted]	[redacted]	1492
10957009	DGE	montagne	Bourdons	07/05/2016 1h00	15/10/2016 13h19	[redacted]	[redacted]	1406
10953470	DGE	montagne	Bourdons	07/05/2016 1h00	15/10/2016 14h06	[redacted]	[redacted]	1638
10957032	Cistude Nature	montagne	Grenouille des Pyrénées	07/05/2016 1h00	28/07/2016 13h00	[redacted]	[redacted]	408

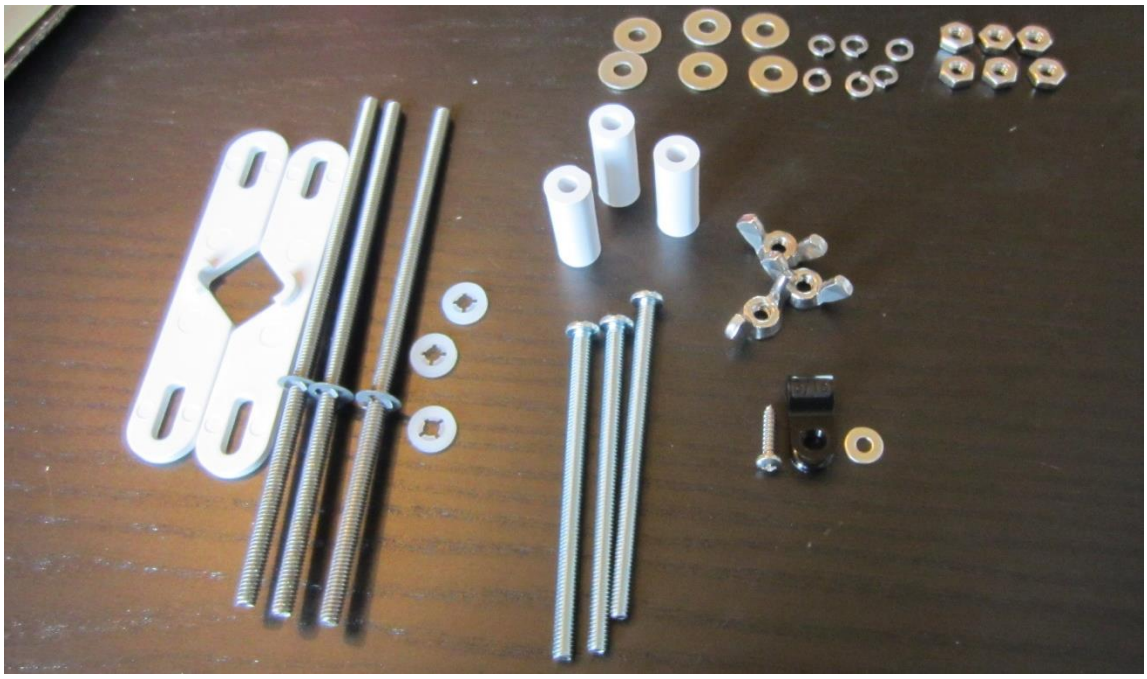
N° sondes	Structure	Ecosystème	Taxon	Mise en route	Pose de la station	Longitude	Latitude	Altitude
10957025	Cistude Nature	montagne	Grenouille des Pyrénées	07/05/2016 1h00	28/07/2016 15h00	[redacted]	[redacted]	555
10953489	Cistude Nature	montagne	Grenouille des Pyrénées	07/05/2016 1h00	01/08/2016 15h00	[redacted]	[redacted]	856
10957028	Cistude Nature	montagne	Grenouille des Pyrénées	07/05/2016 1h00	01/08/2016 10h00	[redacted]	[redacted]	860
10957030	Cistude Nature	montagne	Lépidoptères	11/10/2016 1h00	17/10/2016 14h00	[redacted]	[redacted]	1410
10953492	Cistude Nature	montagne	Lézards de montagne	07/05/2016 1h00	29/07/2016 17h00	[redacted]	[redacted]	797
10953491	Cistude Nature	montagne	Lézards de montagne	07/05/2016 1h00	29/07/2016 19h00	[redacted]	[redacted]	903
10953482	Cistude Nature	montagne	Lézards de montagne	07/05/2016 1h00	29/07/2016 17h00	[redacted]	[redacted]	2000
10957023	Cistude Nature	montagne	Lézards de montagne	07/05/2016 1h00	29/07/2016 15h00	[redacted]	[redacted]	2144
10956995	Cistude Nature	montagne	Lézards de montagne	07/05/2016 1h00	01/08/2016 19h00	[redacted]	[redacted]	675
10953481	Cistude Nature	montagne	Lézards de montagne	07/05/2016 1h00	01/08/2016 14h00	[redacted]	[redacted]	727
10957007	Cistude Nature	montagne	Marmotte	07/05/2016 1h00	22/07/2016 10h00	[redacted]	[redacted]	1869
10957004	Cistude Nature	montagne	Marmotte	07/05/2016 1h00	22/07/2016 12h00	[redacted]	[redacted]	2281
10956998	Cistude Nature	montagne	Marmotte	07/05/2016 1h00	22/07/2016 16h00	[redacted]	[redacted]	1753
10957021	Cistude Nature	montagne	Marmotte	07/05/2016 1h00	22/09/2016 10h00	[redacted]	[redacted]	1797
10957008	Cistude Nature	montagne	Marmotte	07/05/2016 1h00	22/09/2016 12h00	[redacted]	[redacted]	1995
10957001	Cistude Nature	montagne	Marmotte	07/05/2016 1h00	22/09/2016 16h00	[redacted]	[redacted]	2024
10957014	Cistude Nature	montagne	Marmotte	07/05/2016 1h00	23/09/2016 11h00	[redacted]	[redacted]	1656
10953473	Cistude Nature	montagne	Marmotte	07/05/2016 1h00	23/09/2016 12h00	[redacted]	[redacted]	2000
10957029	Cistude Nature	sec	Lépidoptères	07/05/2016 1h00	07/07/2016 16h00	[redacted]	[redacted]	181
10957027	CEN	sec	Lépidoptères	07/05/2016 1h00	26/07/2016 16h00	[redacted]	[redacted]	214
10957000	Cistude Nature	sec	Lépidoptères	07/05/2016 1h00	21/07/2016 11h00	[redacted]	[redacted]	139
10957003	Cistude Nature	sec	Pachyure étrusque	07/05/2016 1h00	07/07/2016 20h00	[redacted]	[redacted]	111
10957013	Cistude Nature		Référence	07/05/2016 1h00	06/07/2016 16h00	[redacted]	[redacted]	10

Annexe 2. Détails de Montage de station météorologique

Matériel nécessaire :

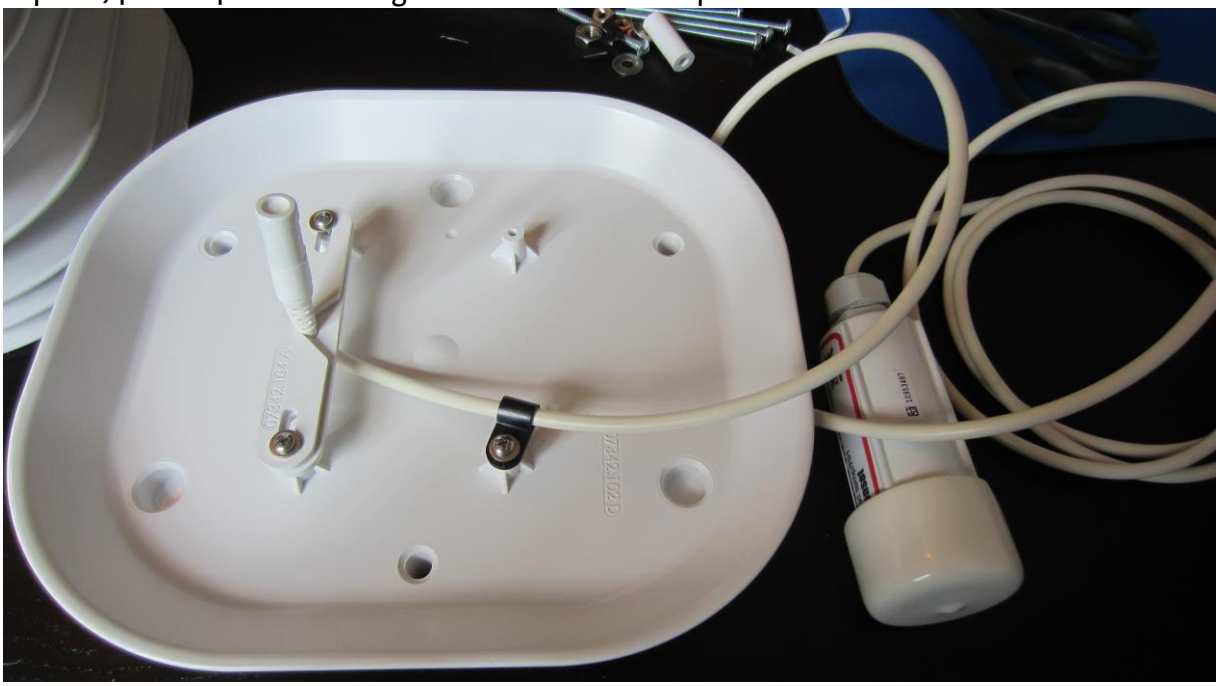
- 1 enregistreur de température/hygrométrie en interne et/ou externe avec interface USB optique HOBO datalogger U23 Pro V2 Temp/Rh
- 1 abri météorologique HOBO0039 RS1
- Tournevis cruciforme
- Clé plate de 9 ou pièce de serrage

Dans le sachet les éléments nécessaires sont ceux présentés ci-dessous.



Les éléments non utilisés seront mis dans le sachet zippé.

Etape n°1 : Fixer la sonde et le fils de l'enregistreur sous une capsule : coincer la sonde entre les deux éléments plastiques puis visser avec des petites rondelles l'ensemble sur la capsule, fixer le fils avec la bague avec une vis et une petite rondelle



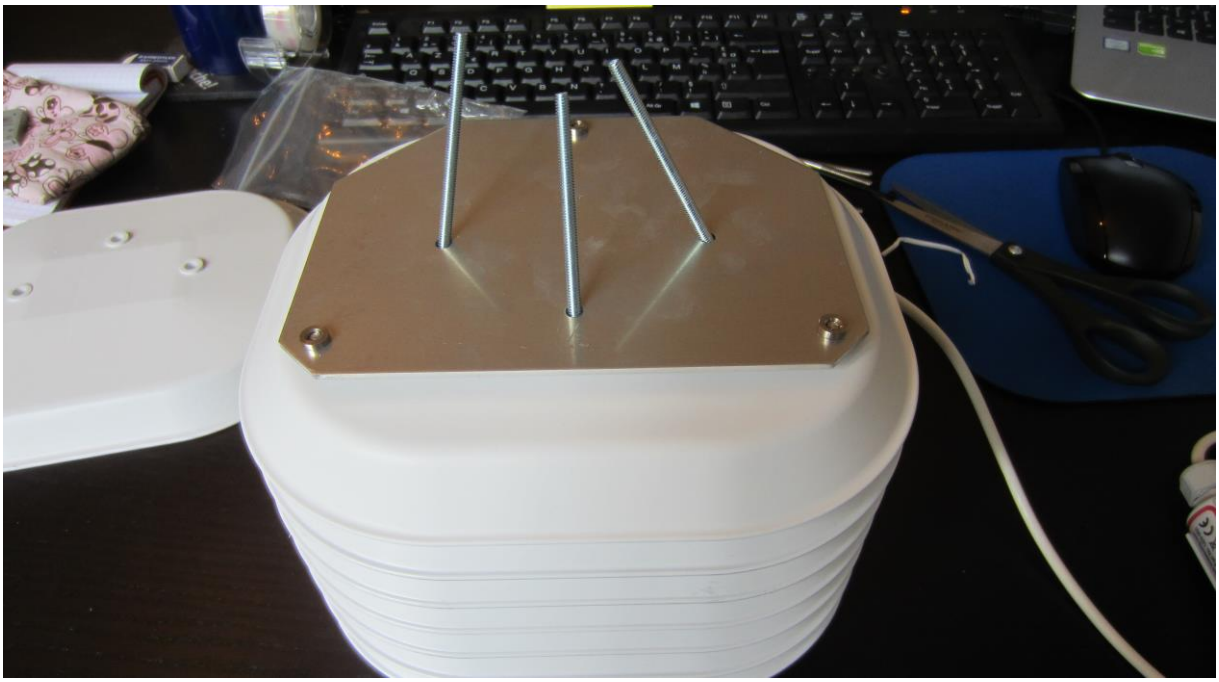
Etape n°2 : Emboiter deux capsules dans le même sens et insérer les grandes vis dans les trous qui doivent se superposer

Etape n°3 : Insérer les capsules avec un trou central dans les vis

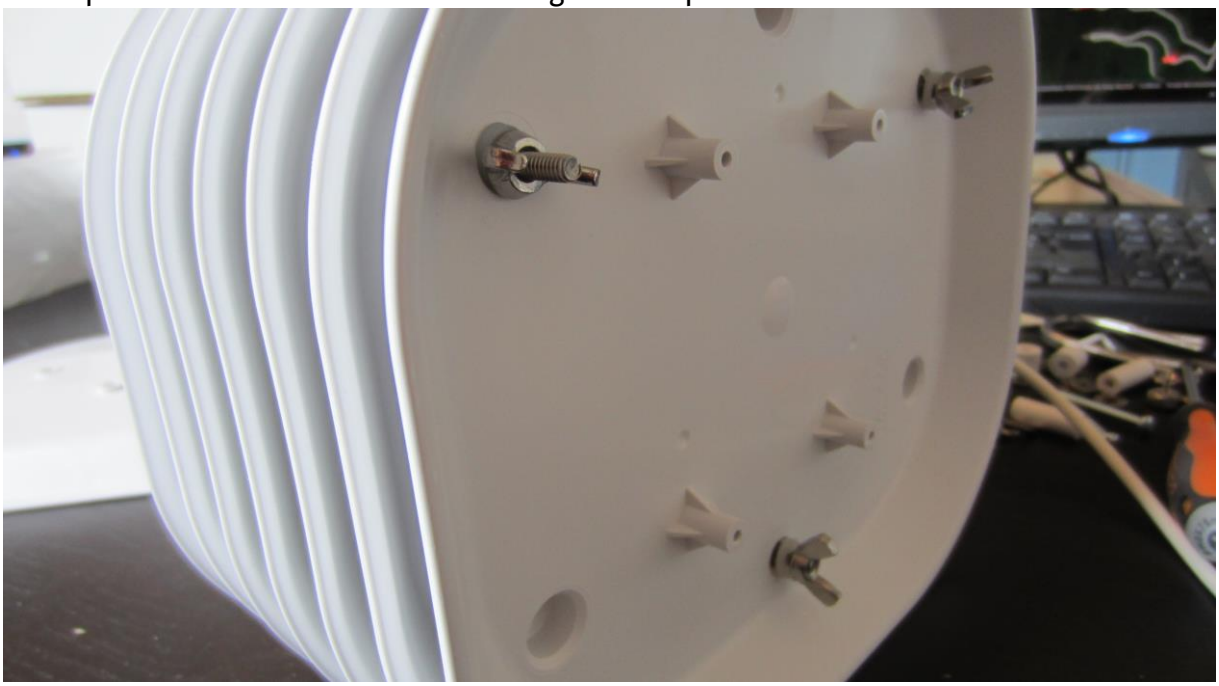
Etape n°4 : Insérer la capsule avec la sonde en dernier. La sonde doit se retrouver dans l'espace creux créé par les capsules avec un trou central.

Etape n°5 : Compléter avec la capsule avec 3 trous

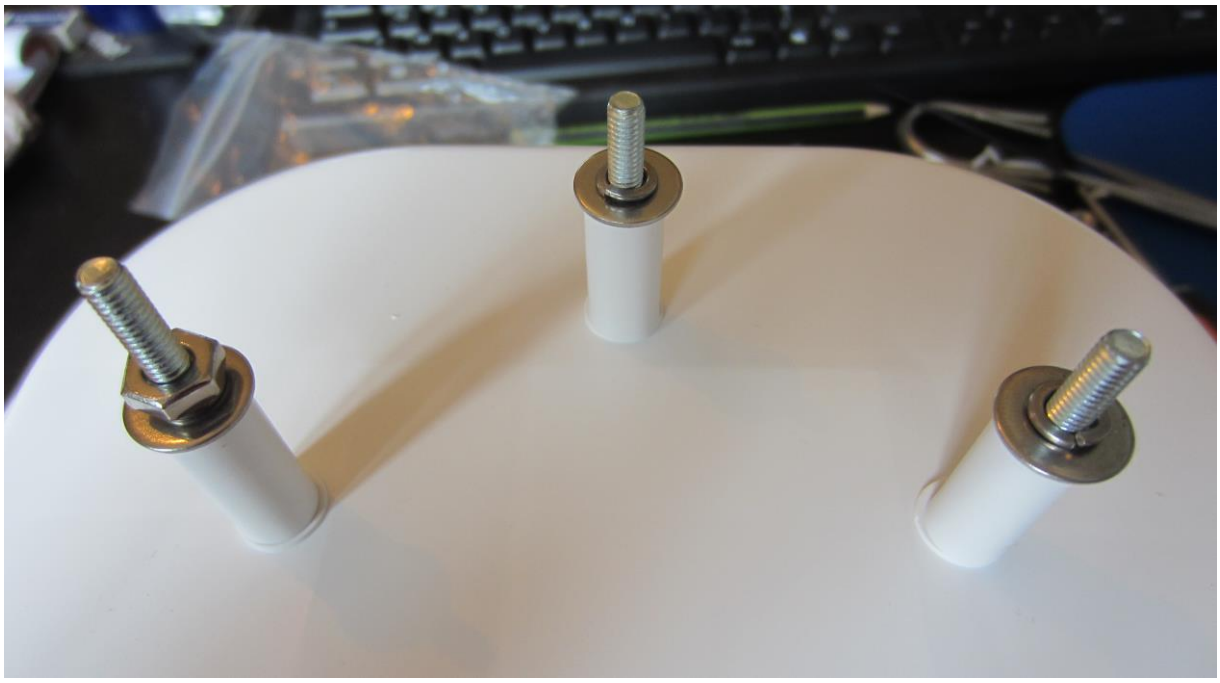
Etape n°6 : Disposer la plaque métallique avec les grandes vis en ayant au préalable insérer 3 vis



Etape n°7 : Fixer l'ensemble avec les bagues transparentes et les ailettes



Etape n° 8 : Insérer la capsule couvercle sur le dessous puis insérer dans l'ordre : 1 tube blanc, 1 rondelle plate, 1 petite rondelle, 1 boulon et sérer l'ensemble



Annexe 3. Tutoriel de la pose de station météorologique

Matériel

- 1 enregistreur de température/hygrométrie en interne et/ou externe avec interface USB optique HOBO datalogger U23 Pro V2 Temp/Rh
- 1 abri météorologique HOBO0039 RS1
- 1 poteau en acacias ou poteau en fer
- 1 Visseuse électrique
- 1 Masse ou Massette
- 1 Tarière
- 1 Pince
- 6 Vis
- 2 Tournevis
- 1 GPS

Etape n°1 :

Landes humides : Faire un trou d'environ 30–40 cm dans le sol avec la tarière

Pelouses calcicoles : … ou étêter un petit arbre isolé

Milieu montagnard : encastrer le poteau avec un tas de roches

Etape n°2 : Consolider en enfonçant le poteau avec la masse ou massette

Etape n°3 : Noter le numéro de l'enregistreur,

Etape n° 4 : Enregistrer le point GPS. Noter les coordonnées GPS, le nom du site, l'altitude, la date de pose, horaire de fonctionnement

Etape n°5 : Fixer le plateau de fixation de la station orienter vers le sud et à 1m30 de hauteur du sol

Etape n°6 : Viser les boulons avec la pince pour fixer la station au plateau

Etape n°7 : Fixer l'enregistreur en dessous de la station avec la bague

Etape n°8 : Fixer la pancarte « Site sous vidéo protection » au-dessus de la station

Etape n °9 : Prendre une photo de la station dans le paysage

Etape n°10 : Remplir le tableau Excel « Code météo »

Renseigner les données suivantes : N° sondes, Département, Structure, Nom du site, Milieu, Taxon, Date de pose, horaire, Position GPS, Altitude

N° sondes	Département	Structure	Nom du site	Milieu	Taxon	Date de pose	horaire	Position GPS		Altitude

Annexe 4. Bordereau d'inventaire phytosociologique (CBNSA) recto et verso

Conservatoire Botanique National
SUD-ATLANTIQUE

BORDEREAU D'INVENTAIRE PHYTOSOCIOLOGIQUE
Aquitaine / Poitou-Charentes
Conservatoire Botanique National Sud-Atlantique
Domaine de Certes – 33980 AUDENGE – Tél. 05 57 76 18 07 – Courriel : contact@cbnsa.fr
Site de l'Observatoire de la Flore Sud-Atlantique (OFSA) : **www.ofsa.fr**

IDENTIFIANT source *(champs obligatoires)*
Nom(s) (Organisme) : .....
.....
Programme (sous-programme) : .....

IDENTIFIANT relevé *(champs obligatoires)*
Date : ..... / ..... / .....
Numéro (PN00x) : ..... **P**

Code photo : .....

LOCALISATION *(champs obligatoires)*
Coordonnées GPS (WGS 84) : N..... E / W *(Entourer la bonne position)*: .....
Précision (m) :..... Code pointage : .....
Département : ..... Commune : ..... Lieu-dit : .....
Précisions géographiques : .....

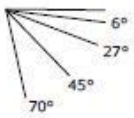
Géométrie :
☐ Ligne
☐ Ponctuel
☐ Polygone

En l'absence de pointage GPS, le formulaire doit être accompagné d'un extrait de carte IGN (1/5 000ème) sur laquelle la station est délimitée.

INFORMATIONS STATIONNELLES *(champs optionnels)*

Topographie stationnelle : ☐ Plat ☐ Replat de versant ☐ Haut de versant ☐ Milieu de versant ☐ Bas de versant ☐ Cuvette ☐ Butte, crête ☐ Falaise/mur

Topographie paysagère : ☐ Plat ☐ Replat de versant ☐ Haut de versant ☐ Milieu de versant ☐ Bas de versant ☐ Fond de vallon ☐ Cuvette ☐ Butte, crête ☐ Falaise



Pente de la station : ☐ < 1° ☐ 1 à 6° ☐ 6 à 27° ☐ 27 à 45° ☐ 45 à 70° ☐ > 70°
Exposition: ☐ Nord ☐ Nord-Est ☐ Est ☐ Sud-Est ☐ Sud ☐ Sud-Ouest ☐ Ouest ☐ Nord-Ouest ☐ Nulle
Altitude :.....

Texture (trois choix max. à numéroter) : ☐ Tourbeuse ☐ Vaseuse ☐ Argileuse ☐ Limoneuse ☐ Sableuse ☐ Graveleuse ☐ Caillouteuse ☐ Rocheuse
Type d'humus : ☐ Mor ☐ Dysmoder ☐ Eumoder ☐ Hémimoder ☐ Dysmull ☐ Oligomull ☐ Mésomull ☐ Eumull ☐ Absent
Type de sol (référentiel pédologique, 2008) : ..... **Profondeur du sol (m):** .....
Hydromorphie : ☐ Sec ☐ Humide ☐ Engorgé ☐ Inondé (☐ Trace d'hydromorphie) **Niveau d'eau :**.....
Fréquence d'immersion : ☐ Absente ☐ Indéterminée ☐ Occasionnelle ☐ Périodique ☐ Permanente ☐ Inconnue
Ecoulement de l'eau : ☐ Stagnante ☐ Source ☐ Suintement ☐ Peu courante ☐ Courante ☐ Torrentielle
Roche mère : ☐ Craie ☐ Calcaire dur ☐ Marne ☐ Argile ☐ Alluvions ☐ Colluvions ☐ Limons ☐ Tourbe ☐ Sable ☐ Grés ☐ Schiste ☐ Micaschiste ☐ Granite ☐ Gneiss
Eclairement : ☐ Ombre ☐ Demi-ombre ☐ Lumière **Acidité** (pH) :..... **Réaction HCl :** oui/non **Conductivité** ($S.m^{-1}$): .....

Code menace : ..... **Code gestion observée :** .....

DESCRIPTION GENERALE (physionomique, écologique...) *(champs optionnels)*

Typicité :	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Non évaluée
Floristique	☐	☐	☐	☐
Structurale	☐	☐	☐	☐

Type physionomique : ☐ Forêt ☐ Fourré ☐ Lande ☐ Ourlet/Mégaphorbiaie ☐ Cariçaie/Roselière ☐ Riveraine basse ☐ Prairie ☐ Pelouse ☐ Herbier ☐ Rupicole ☐ Milieux rudéraux ☐ Culture
Type biologique dominant : ☐ Hydrophytaie ☐ Thérophytaie ☐ Géophytaie ☐ Hémicryptophytaie ☐ Hélophytaie ☐ Chaméphytaie ☐ Phanérophytaie ☐ Epiphytaie
Trophie : ☐ Oligotrophile ☐ Mésotrophile ☐ Eutrophile ☐ Hypertrophile ☐ Dystrophile
Hygrologie : ☐ aquatique ☐ Hygrophile ☐ Mésohygrophile ☐ Mésophile ☐ Mésoxérophile ☐ Xérophile
Acidité : ☐ Acidiphile ☐ Acidicline ☐ Neutrophile ☐ Basophile
Salinité : ☐ Glycophile ☐ Oligohalophile ☐ Halophile

Description libre :.....
.....
.....
.....
.....

SUIVI BDD *(champs réservés CBNSA)*

	Date	Auteur	Commentaires		Date	Auteur	Commentaires
☐ Valid. cohérence	..... / ..... /			☐ Saisie	..... / ..... /		

CBNSA – Version 2.5 2016

TYPOLOGIE

Syntaxon : .....

Commentaires :..... ☐ Com. basale

Type de relevé : ☐ Phyto sigmatiste ☐ Phyto synusiale ☐ Floristique ☐ Aucun

Codifications européennes

Natura 2000 :.....

EUNIS :.....

CORINE Biotopes :.....

STRUCTURE

Surface du relevé (m²) : ..... Forme du relevé L x l (m) : ..... ☐ fragmenté

Strate arborée : rec (%) :.....H moy inf (m) :..... **H moy (m) :**..... H moy sup (m) : .....

Strate arbustive : rec (%) :..... H moy inf (m) :..... **H moy (m) :**..... H moy sup (m) : .....

Strate herbacée : rec (%) :..... H moy inf (m) :..... **H moy (m) :**..... H moy sup (m) : .....

Strate bryophytique : rec (%) :..... **H moy (m) :**..... Sphaignes : rec (%) :..... H moy (m) :.....

Strate lichenique : rec (%) :..... **Strate algale :** rec (%) :.....

Rec total (%) :..... **Litière :** rec (%) : ..... **Sol nu :** rec (%).....

Qualité du relevé :

Bonne ☐

Moyenne ☐

Faible ☐

Temps passé:

.....

	Taxons	A	a	h	m
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					

	Taxons	A	a	h	m
31					
32					
33					
34					
35					
36					
37					
38					
39					
40					
41					
42					
43					
44					
45					
46					
47					
48					
49					
50					

Schéma :

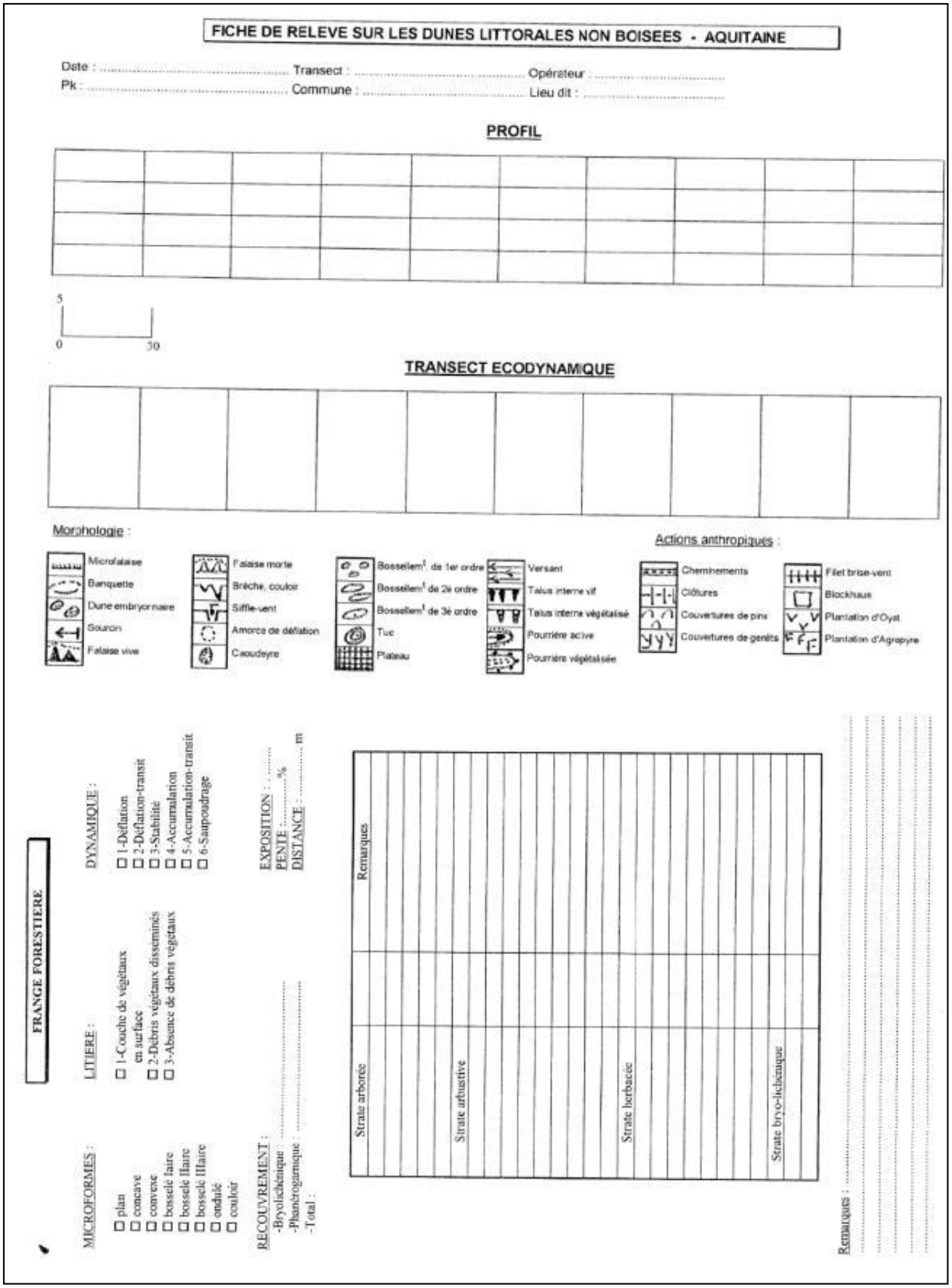
A : espèces supérieures à 7 m a : espèces d'environ 2 à 7 m de hauteur h : espèces inférieures à environ 2 m m : espèces bryolichenioues

Indice d'abondance - dominance

5 : Recouvrement > 75% de la surface de référence
4 : Recouvrement de 50-75% de la surface de référence
3 : Recouvrement de 25-50% de la surface de référence
2 : Individus très nombreux mais recouvrement < 5 %, ou nombre d'individus quelconques mais recouvrement de 5 à 25 %
1 : Individus nombreux mais recouvrement < 1 %, ou nombre d'individus quelconques mais recouvrement de 1 à 5 %
+ : Peu d'individus, avec très faible recouvrement
r : Très peu abondant, recouvrement très faible
i : Individu unique

CBNSA – Version 2.5 2016

Annexe 5. Fiche de relevés dunes littorales non-boisées recto et verso (ONF)



FICHE DE RELEVE SUR LES DUNES LITTORALES NON BOISEES - AQUITAINE

Date : ..... Transect : ..... Opérateur : .....
Pk : ..... Commune : ..... Lieu dit : .....

PROFIL

5
0 30

TRANSECT ECODYNAMIQUE

Morphologie :

Microfalaise
Banquette
Dune embryonnaire
Sourcin
Falaise vive
Falaise morte
Brèche, couloir
Siffle-vent
Amorce de déflation
Caoudeyre
Bosselem[1] de 1er ordre
Bosselem[1] de 2è ordre
Bosselem[1] de 3è ordre
Tuc
Plateau
Versant
Talus interne vif
Talus interne végétalisé
Pourrière active
Pourrière végétalisée

Actions anthropiques :

Cheminements
Clôtures
Couvertures de pins
Couvertures de genêts
Filet brise-vent
Blockhaus
Plantation d'Oyat
Plantation d'Agropyre

FRANGE FORESTIERE

LITIERE :
☐ 1-Couche de végétaux en surface
☐ 2-Débris végétaux disséminés
☐ 3-Absence de débris végétaux

DYNAMIQUE :
☐ 1-Déflation
☐ 2-Déflation-transit
☐ 3-Stabilité
☐ 4-Accumulation
☐ 5-Accumulation-transit
☐ 6-Saupoudrage

MICROFORMES :
☐ plan
☐ concave
☐ convexe
☐ bosselé laire
☐ bosselé llaire
☐ bosselé llaire
☐ ondulé
☐ couloir

EXPOSITION : .....
PENTE : ..... %
DISTANCE : ..... m

RECOUVREMENT :
-Bryolichénique : .....
-Phanérogamique : .....
-Total :

	Remarques
Strate arborée	
Strate arbustive	
Strate herbacée	
Strate bryo-lichénique	

Remarques : .....

	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	N° 6	N° 7	N° 8	N° 9	N° 10	N° 11	N° 12	N° 13	N° 14	N° 15
Distance															
Faciès															
Pente (%)															
Exposition															
Recouvrement total (%)															
R. bryolichénique (%)															
R. phanérogamique (%)															
Mésoformes															
Litière															
Dynamique															
Faune	ESPECES VEGETALES														
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-															

Remarques par relevé :

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15

FACIES

1 - Avant-dune
2 - Banc d'accrétion
3 - Falaise
4 - Cordon dunaire à dune vive
5 - Cordon dunaire à dune semi-fixée
6 - Cordon de dune fixée
7 - Arrière-dune
8 - Frange forestière

(NB : voir détail des faciès sur le document « Les paysages et communautés végétales des dunes littorales non boisées d'Aquitaine » Décembre 1999).

Abondance-dominance
- Individu unique
- Individus peu abondants (recouv. < 5 %)
- peu abondants à abondants (< 5 %)
- abondants à très abondants (5 à 25 %)
- En nombre variable (25 à 50 %)
- En nombre variable (50 à 75 %)
- en nombre variable (75 à 100 %)

Faune
Présence de déjection de lapins (et ou lièvres)
1 - Peu
2 - Beaucoup

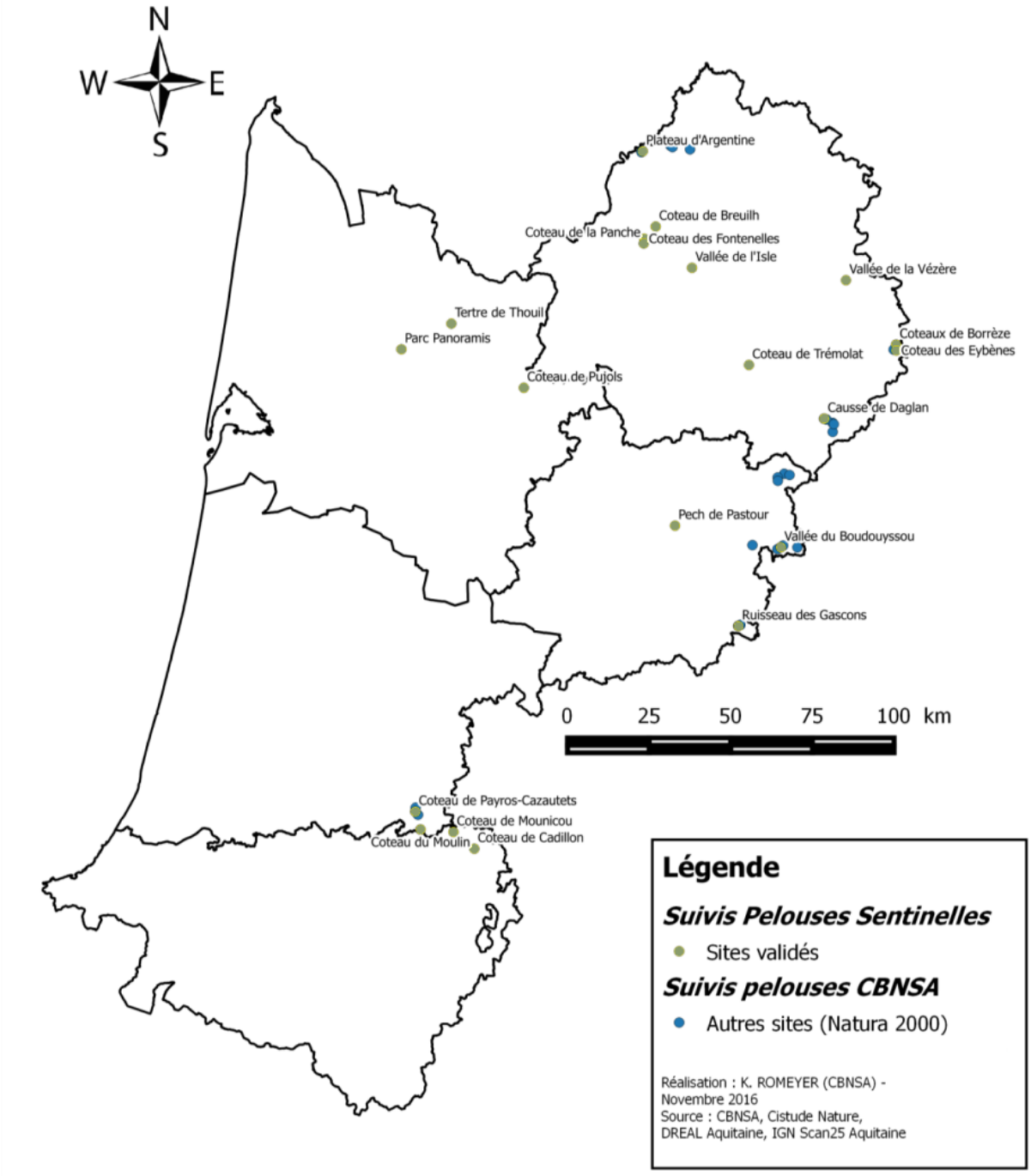
Litière
1 - Présence d'une couche de débris végétaux en surface
2 - Présence de débris végétaux disséminés
3 - Absence de débris végétaux

Dynamique
1 - Défaton
2 - Accumulation
3 - Saupoudrage
4 - Stabilité

Mésoformes
10 - Plat
20 - Concave
30 - Convexe
41 - Bosselé 1ère ordre
42 - Bosselé IIème ordre
43 - Bosselé IIIème ordre
50 - Ondulé
60 - Couloir

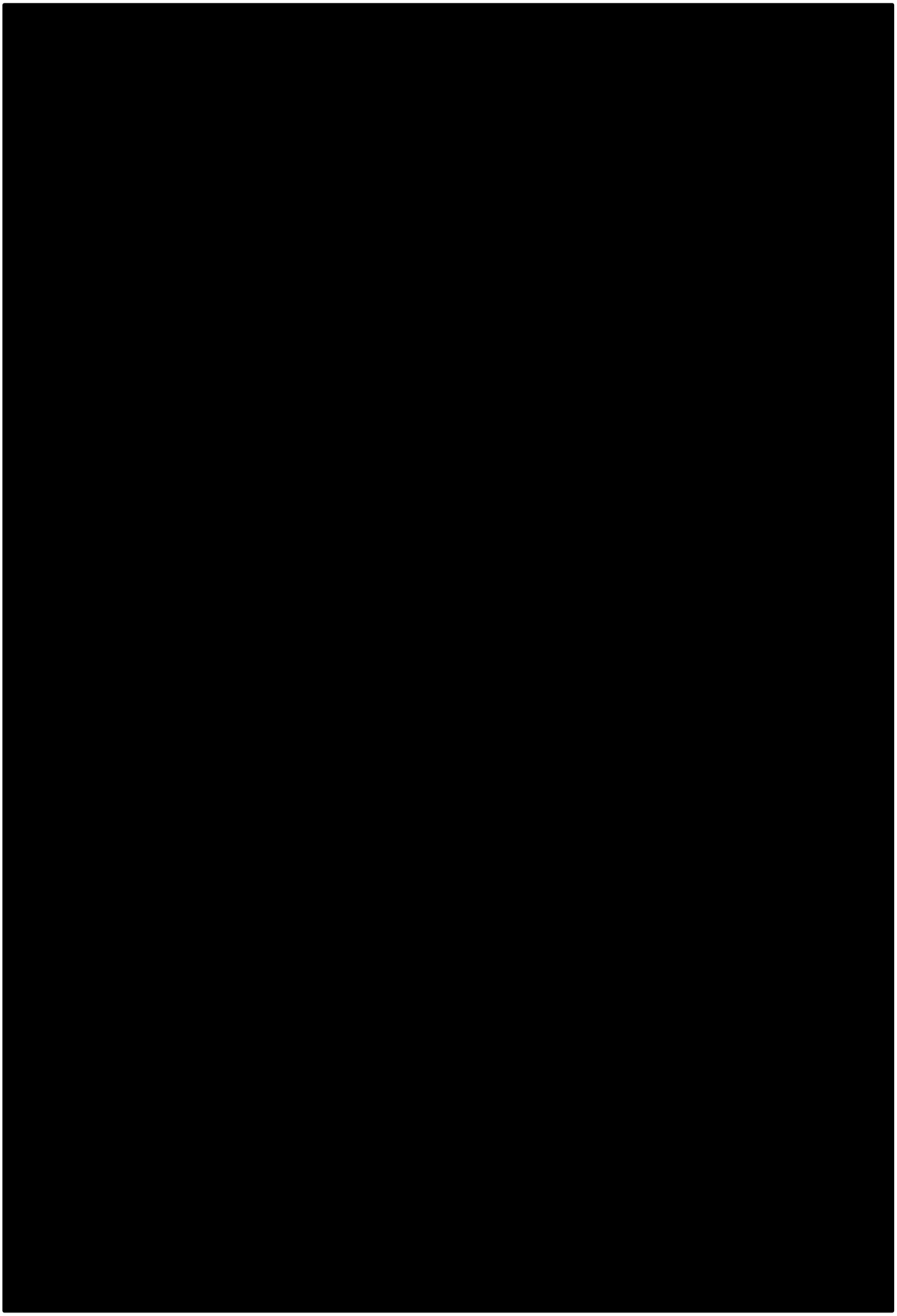
Remarques générales

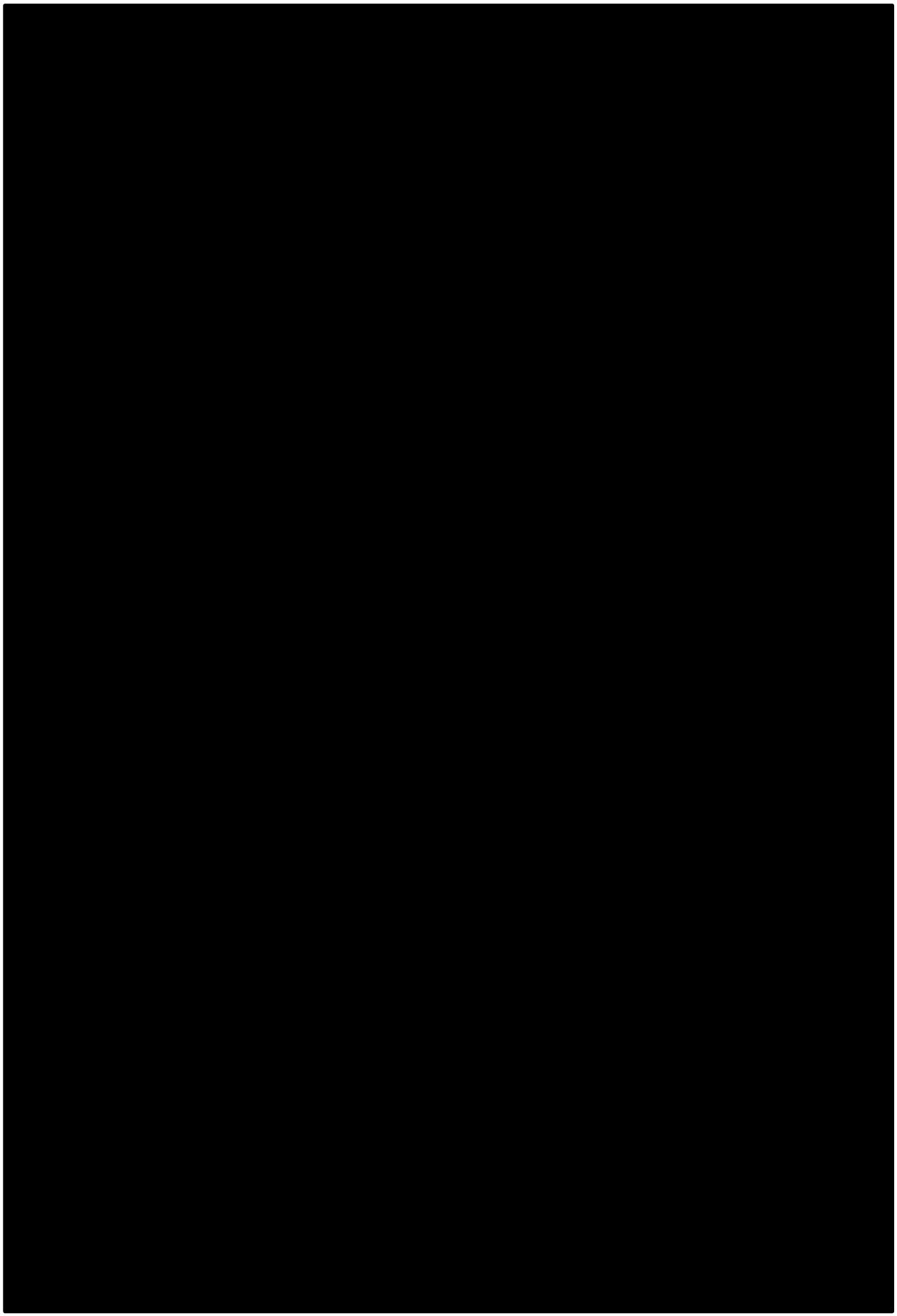
Annexe 6. Localisation des suivis de pelouses sèches Sentinelles et Natura 2000

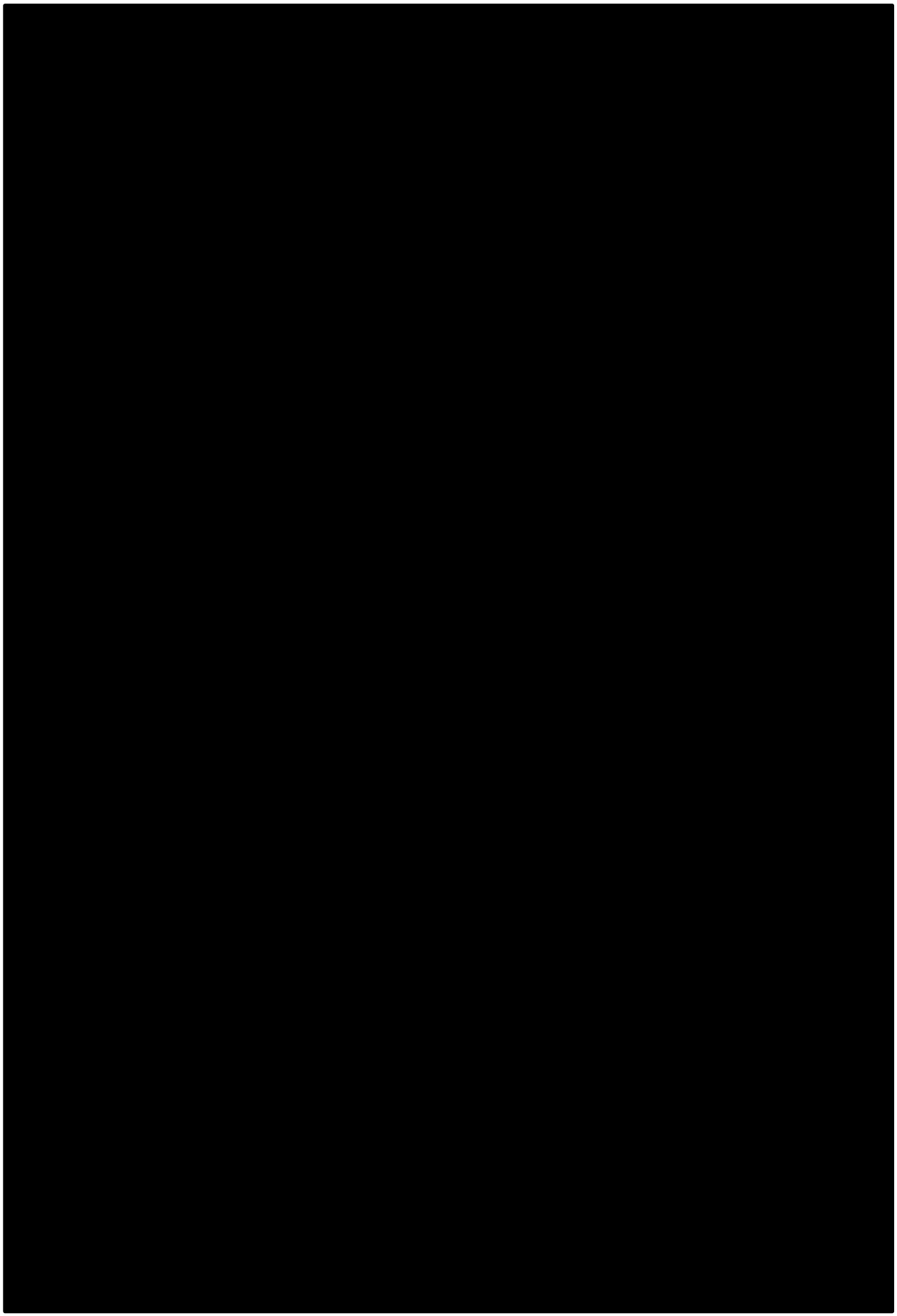


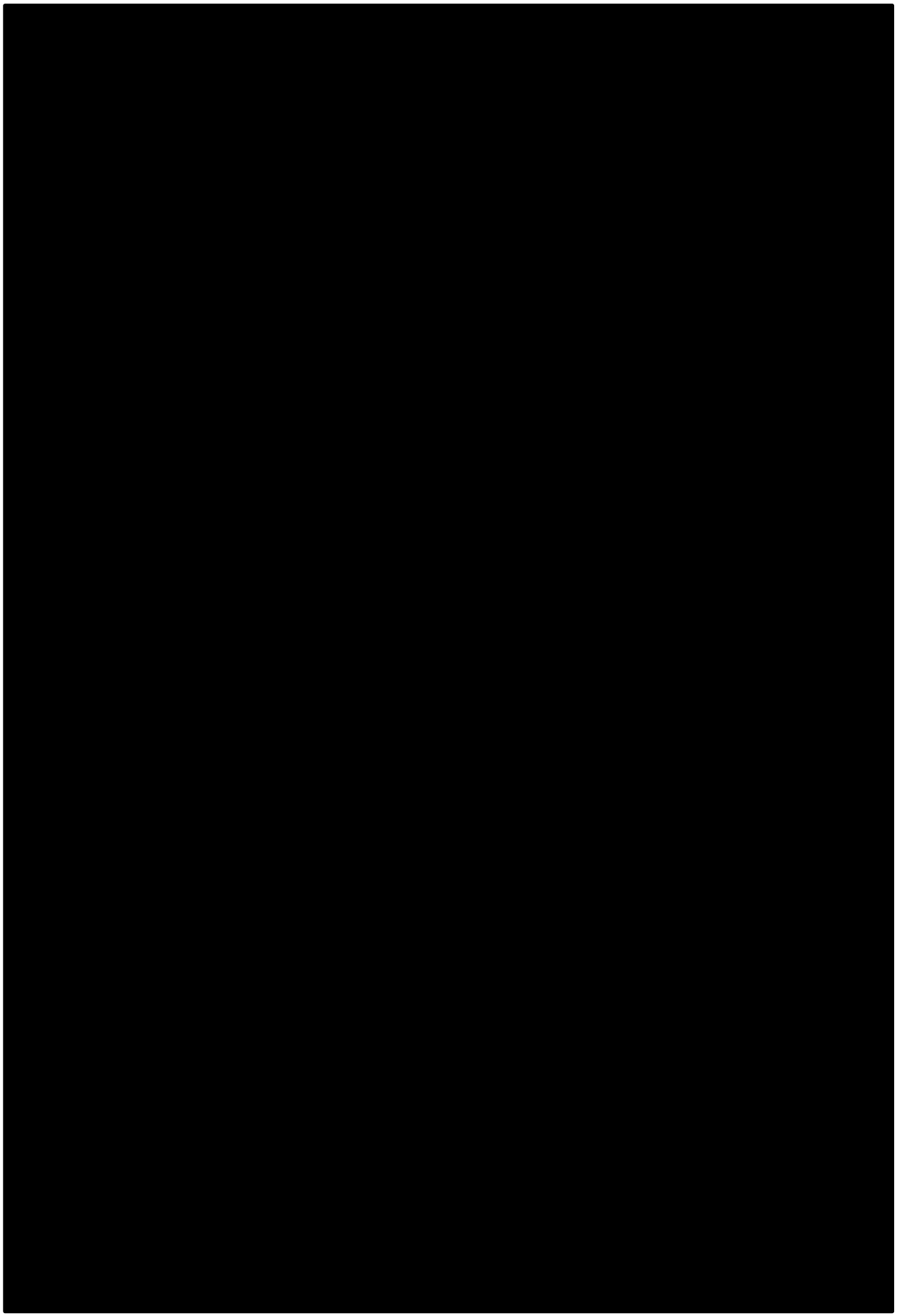
Situation géographique des sites de suivi de pelouses sèches calcicoles.

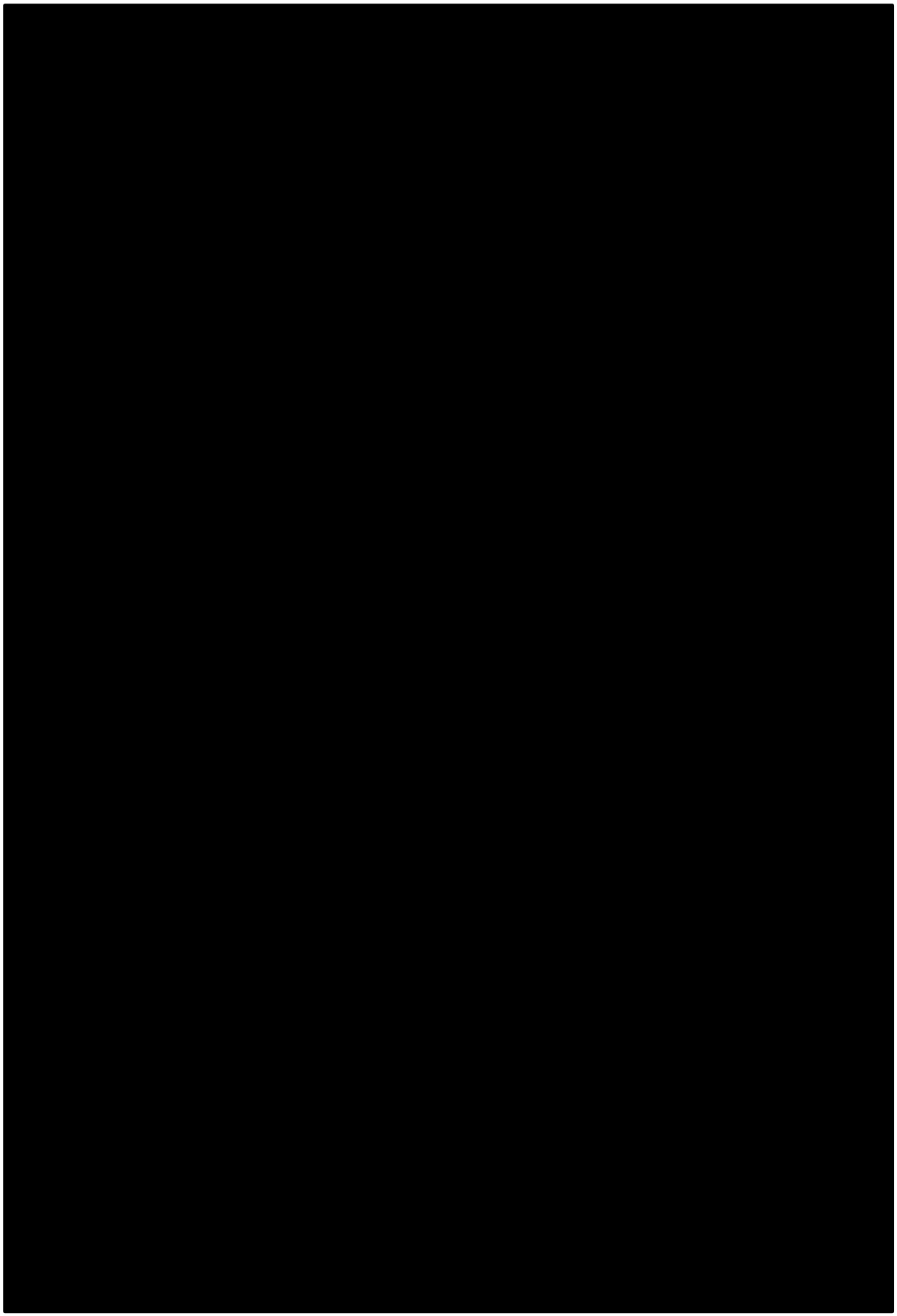
Annexe 7. Cartes de situation des quadrats de pelouses sèches

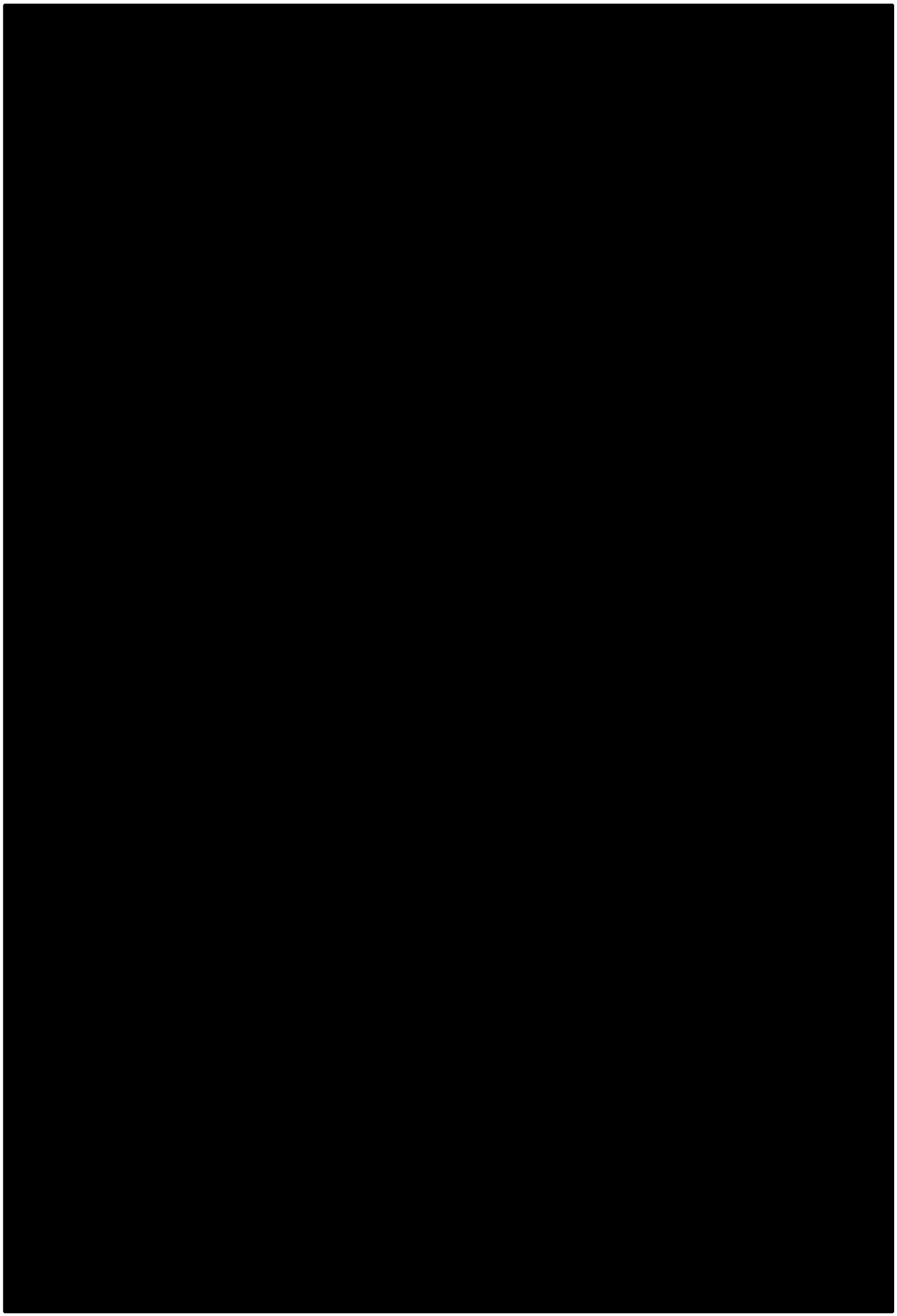


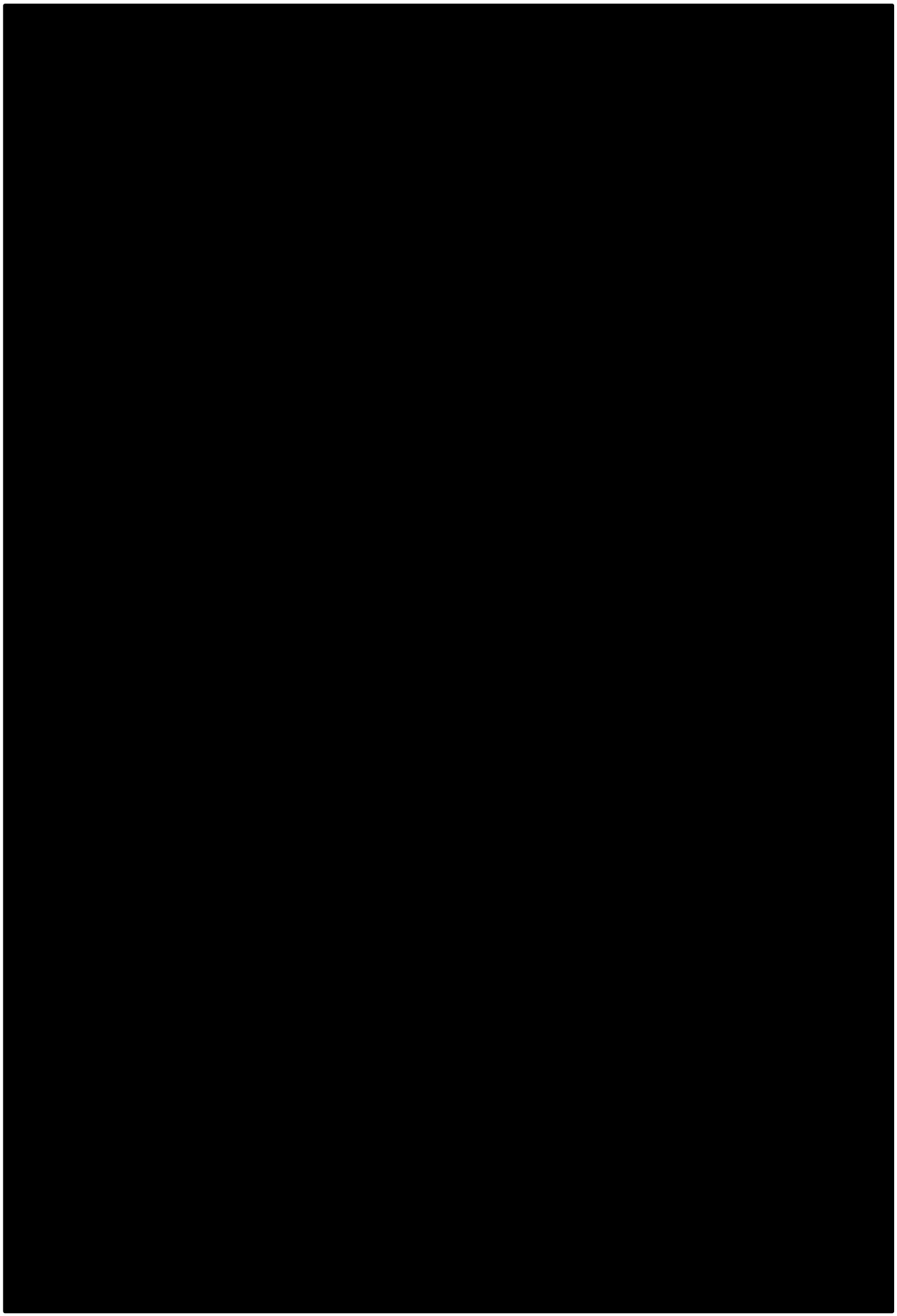


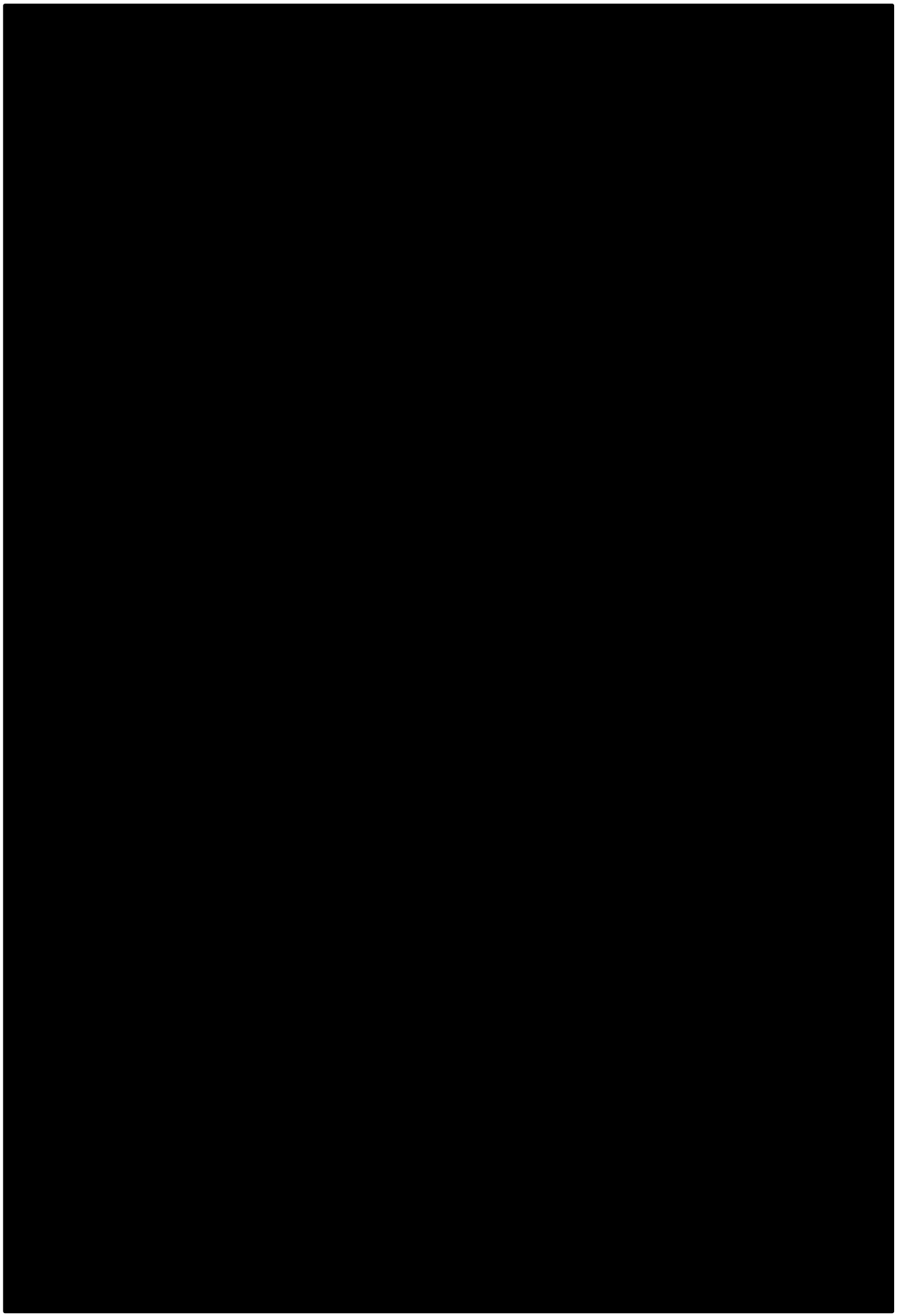




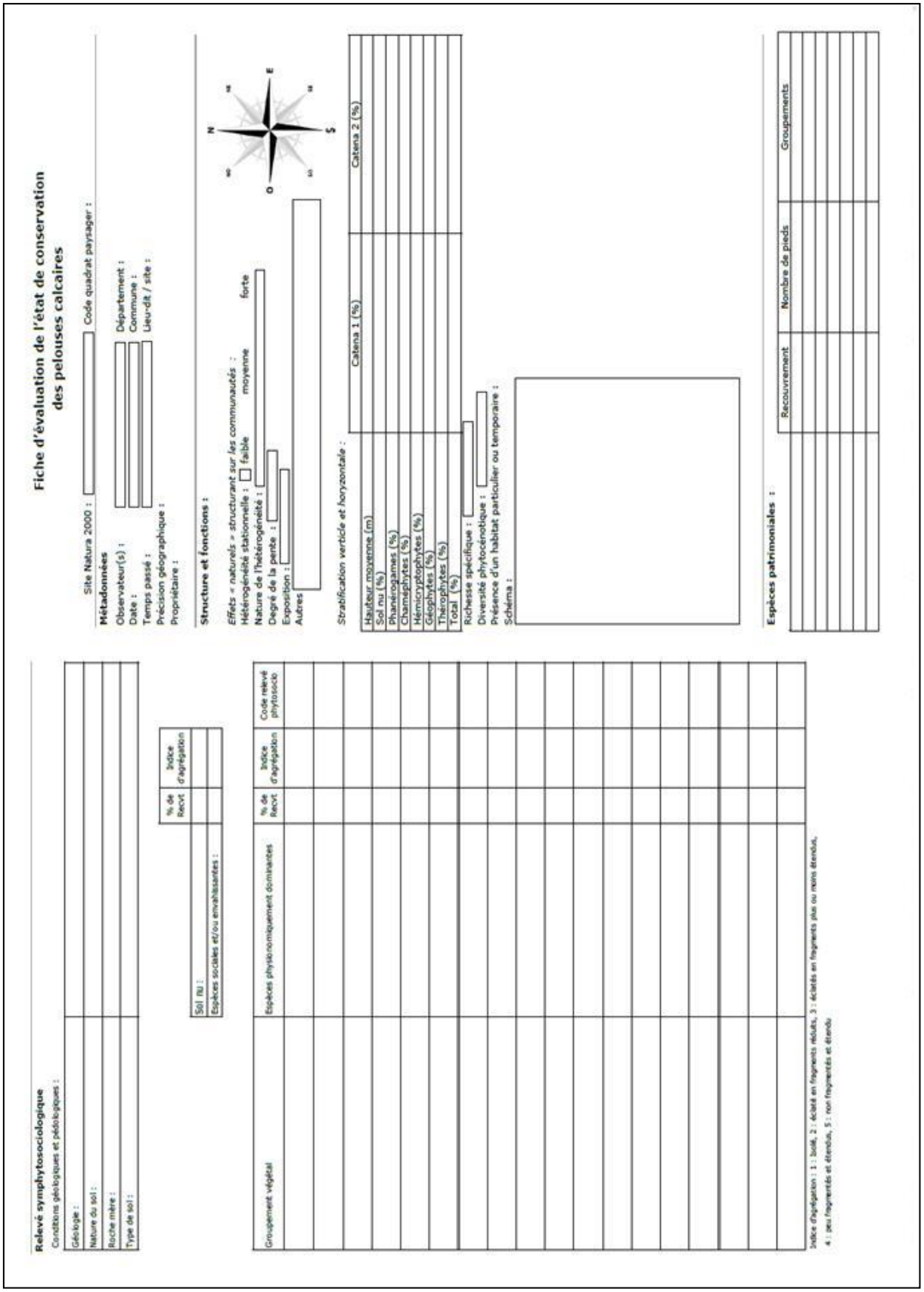








Annexe 8. Fiche de relevé pour le quadrat paysager de pelouses sèches (recto et verso)



Fiche d'évaluation de l'état de conservation des pelouses calcaires

Site Natura 2000 : Code quadrat paysager :

Métadonnées
Observateur(s) : Département :
Date : Commune :
Temps passé : Lieu-dit / site :
Précision géographique :
Propriétaire :

Structure et fonctions :

Effets « naturels » structurant sur les communautés :
Hétérogénéité stationnelle : faible moyenne forte
Nature de l'hétérogénéité :
Degré de la pente :
Exposition :
Autres

Stratification verticale et horyzontale :

	Catena 1 (%)	Catena 2 (%)
Hauteur moyenne (m)		
Sol nu (%)		
Phanérogames (%)		
Chaméphytes (%)		
Hémicryptophytes (%)		
Géophytes (%)		
Thérophytes (%)		
Total (%)		

Richesse spécifique :
Diversité phytocénotique :
Présence d'un habitat particulier ou temporaire :
Schéma :

Espèces patrimoniales :

	Recouvrement	Nombre de pieds	Groupements

Relevé synphytosociologique
Conditions géologiques et pédologiques :

Géologie :	
Nature du sol :	
Roche mère :	
Type de sol :	

	% de Recvt	Indice d'agrégation
Sol nu :		
Espèces sociales et/ou envahissantes :		

Groupement végétal	Espèces physionomiquement dominantes	% de Recvt	Indice d'agrégation	Code relevé phytosocio

Altérations

Liste des atteintes :

	Recouvrement	Habitats	Niveau d'impacts
Atteintes biologiques			
Atteintes physiques			
Atteintes hydrauliques			
Atteintes chimiques			
Autres atteintes			

Perspectives futures

Altérations présentes ou prévisibles menaçant le maintien des habitats sur le long terme :

Atteintes biologiques (EEE)
Atteintes physiques
Atteintes hydrauliques
Atteintes chimiques
Autres atteintes

Mesures de conservation :
Date de mise en gestion : / /
Gestionnaire :
Mesures de gestion principales :

Relevé floristique complémentaire

Taxon	Freq	Taxon	Freq	Taxon	Freq

Annexe 9. Fiche de relevé pour les quadrats de fréquence de pelouses sèches

Site Natura 2000								Géologie													
Code quadrat composé								Nature du sol													
Code quadrat paysager								Roche mère													
Coordonnées GPS								Type de sol													
Date								Degré de la pente													
Observateur(s)								Exposition													
Photos								Autres conditions stationnelles													
Communauté(s) végétale(s)																					
Localisation du quadrat élémentaire																					
Sol nu (%)																					
Litière (%)																					
Strate bryolichenique (%)																					
Strate 1																					
Strate 2																					
Strate 3																					
Hauteur strate 1 (cm)																					
Hauteur strate 2 (cm)																					
Hauteur strate 3 (cm)																					
Recouvrement strate 1 (%)																					
Recouvrement strate 2 (%)																					
Recouvrement strate 3 (%)																					
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																					
32																					
33																					
34																					
35																					
36																					
37																					
38																					
39																					
40																					
41																					
42																					
43																					
44																					
45																					
46																					
47																					
48																					
49																					
50																					

Annexe 10. Liste des espèces de lépidoptères à détermination délicate

Liste des espèces de détermination délicate (nécessitant capture sur le terrain ou prélèvement)	Landes humides	Pelouses sèches
Leptidea sinapis	X	X
Leptidea reali	X	X
Pyrgus alveus		X
Pyrgus armoricanus	(X)	X
Pyrgus malvae	X	X
Pyrgus malvoides	X	X
Jordanita globulariae		X
Jordanita budensis		X
Adscita geryon		X
Adscita mannii		X
Adscita statices		X
Colias crocea	X	X
Colias hyale	X	X
Colias alfacariensis		X
Melitaea deione		X
Melitaea athalia	(X)	X
Melitaea parthenoides	X	X
Pieris rapae	X	X
Pieris mannii		X
Hipparchia alcyone		X
Hipparchia fagi		X
Plebejus idas	X	X
Plebejus argyrognomon	X	X
Zygaena transalpina		X
Zygaena filipendulae		X

Annexe 11. Liste des espèces de lépidoptères et d'ascalaphes et un exemple d'arbre phylogénétique

En 2016, 65 espèces et 693 d'individus de lépidoptères ont été observés pendant la phase des tests de protocole dont 183 lépidoptères de landes humides et 510 lépidoptères de pelouses calcicoles (Tab. LXII).

Tab. LXII. Nombre d'individus par espèce observé dans les sites de landes humides et de pelouses calcicoles.

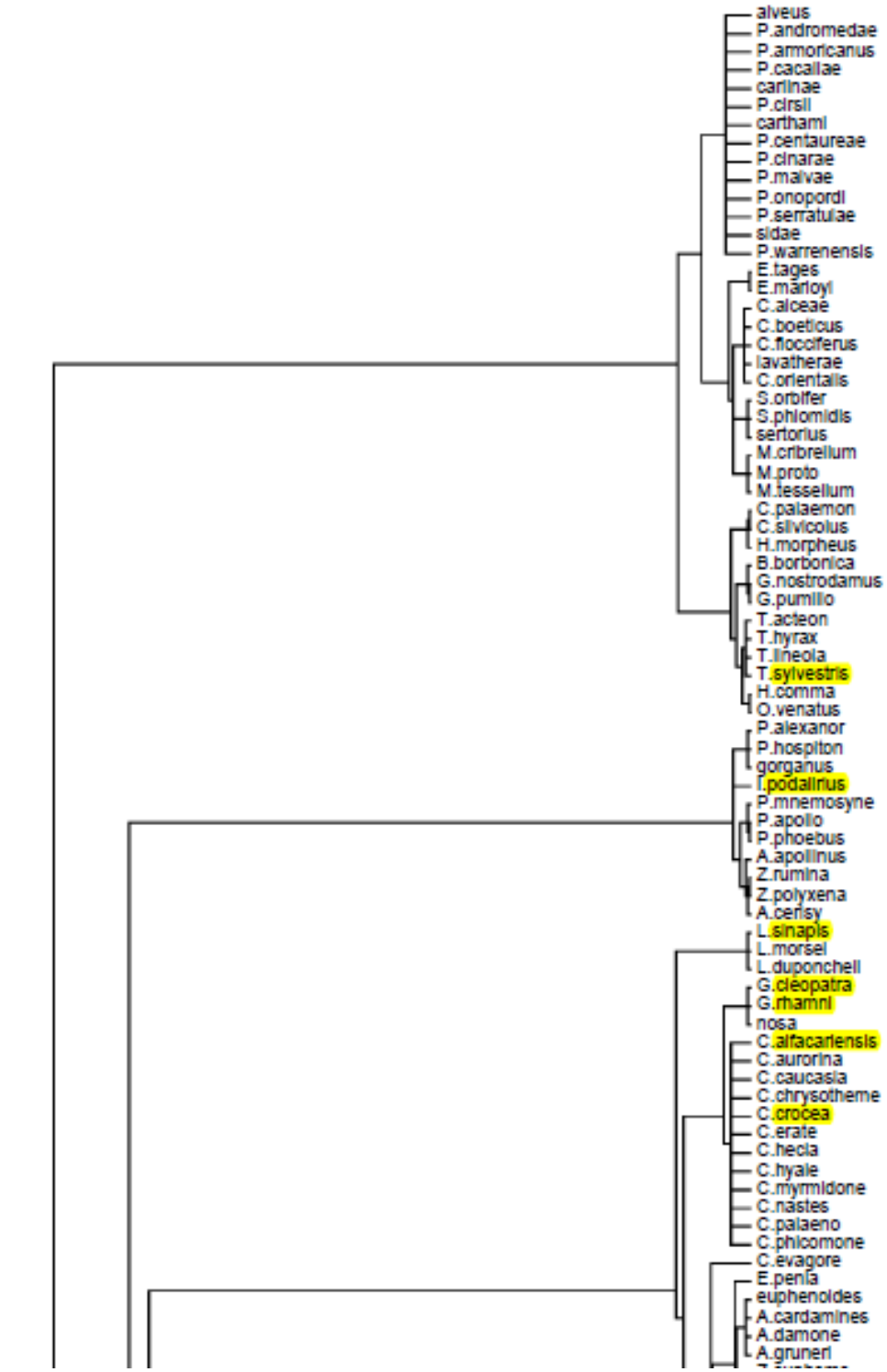
Espèces		Landes humides	Pelouses calcicoles
Nom vernaculaire	Nom scientifique	Nombre d'individus	
Collier de corail	Aricia agestis	1	12
Azuré sp.	Azuré sp.	0	5
Petite violette	Boloria dia	0	8
Silène	Brintesia circe	0	14
Thècle de la ronce	Callophrys rubi	0	1
Azuré des nerpruns	Celastrina argiolus	14	0
Hespérie de l'alcée	Charcharodus alcae	0	2
Céphale	Coenonympha arcania	0	1
Fadet des laîches	Coenonympha oedippus	18	0
Fadet commun	Coenonympha pamphilus	10	13
Souci	Colias croceus	3	10
Fluoré	Colias hyale / C. alfacariensis	0	62
Azuré du trèfle	Cupido argiades	35	13
Point-de-Hongrie	Erynnis tages	0	1
Damier de la succise	Euphydryas aurinia	0	1
Azuré de la faucille	Everes alcetas	0	5
Citron de provence	Gonepteryx cleopatra	0	8
Citron	Gonepteryx rhamni	0	3
Hespérie sp.	Hespérie sp.	0	1
Faune	Hipparchia statilinus	1	0
Miroir	Heteropterus morpheus	8	0
Indéterminé	Indéterminé	0	3
Flambé	Iphiclides podalirius	0	18
Azuré porte-queue	Lampides boeticus	12	2
Satyre/Mégère	Lasiommata megera	0	1
Piéride de la moutarde	Leptidea sinapis	0	3
Sylvain azuré	Limenitis reducta	0	1
Leptidea sp.	Leptidea sp.	0	5

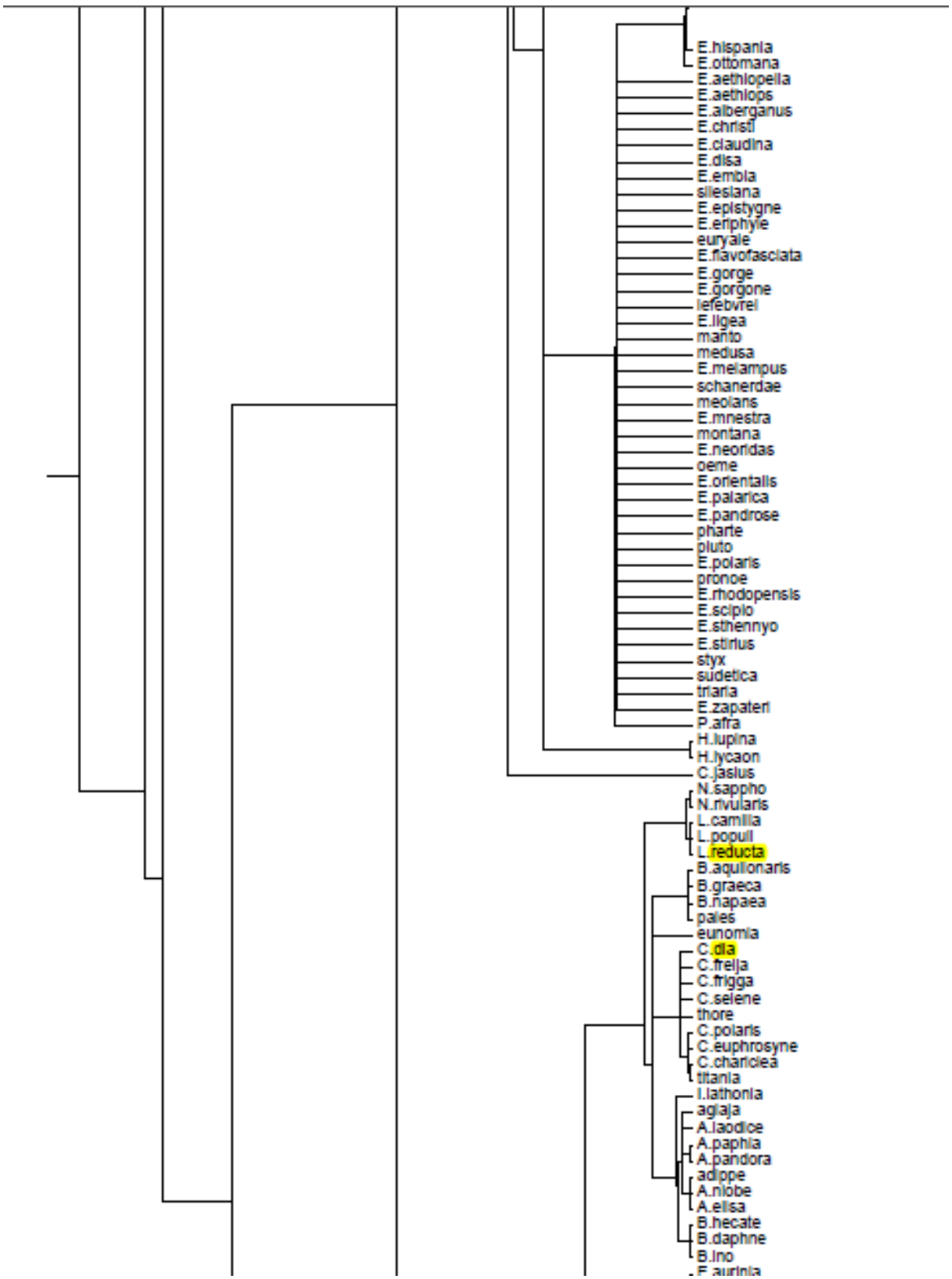
Espèces		Landes humides	Pelouses calcicoles
Nom vernaculaire	**Nom scientifique**	**Nombre d'individus**	
Ascalaphe soufré	Libelloides coccajus	0	3
Sylvain azuré	Limenitis reducta	0	0
Cuivré commun	Lycaena phlaeas	0	1
Cuivré fuligineux	Lycaena tityrus	0	3
Bel Argus	Lysandra bellargus	0	66
Azuré du serpolet	Maculinea arion	0	2
Moro-sphinx	Macroglossum stellatarum	0	1
Azuré des mouillères	Maculinea alcon	44	0
Myrtil	Maniola jurtina	5	77
Demi-deuil	Melanargia galathea	0	34
Mélitée orangée	Melitaea didyma	0	15
Mélitée des centaurées	Melitaea phoebe	0	3
Melitaea sp.	Melitaea sp.	0	3
Mélitée des scabieuses	Melitaea parthenoides	0	1
Grand neigre des bois	Minois dryas	21	7
Sylvaine	Ochlodes venatus	1	0
Machaon	Papilio machaon	1	3
Tircis	Pararge aegeria	1	2
Piéride du chou	Pieris brassicae	1	12
Piéride de la rave	Pieris rapae / P. mannii	0	2
Piéride sp.	Pieris sp.	1	0
Azuré de l'ajonc	Plebejus argus	2	0
Azuré commun	Polyommatus icarus	0	40
Hespérie de l'aigremoine	Pyrgus malvoides	0	3
Pyrgus sp.	Pyrgus sp.	0	2
Amaryllis	Pyronia tithonus	3	9
Thécla des nerpruns	Satyrium spini	0	0
Grande coronide	Satyrus ferula	0	5
Hespérie des sanguisorbes	Spialia sertorius	0	3
Hespérie du chiendent	Thymelicus acteon	0	5
Hespérie du Dactyle	Thymelicus lineola	0	1
Thymelicus sp.	Thymelicus sp.	1	2
Hespérie de la houque	Thymelicus sylvestris	0	3
Zygène de la bruyère	Zygaena fausta	0	1
Zygène de la filipendule	Zygaena filipendulae	0	3

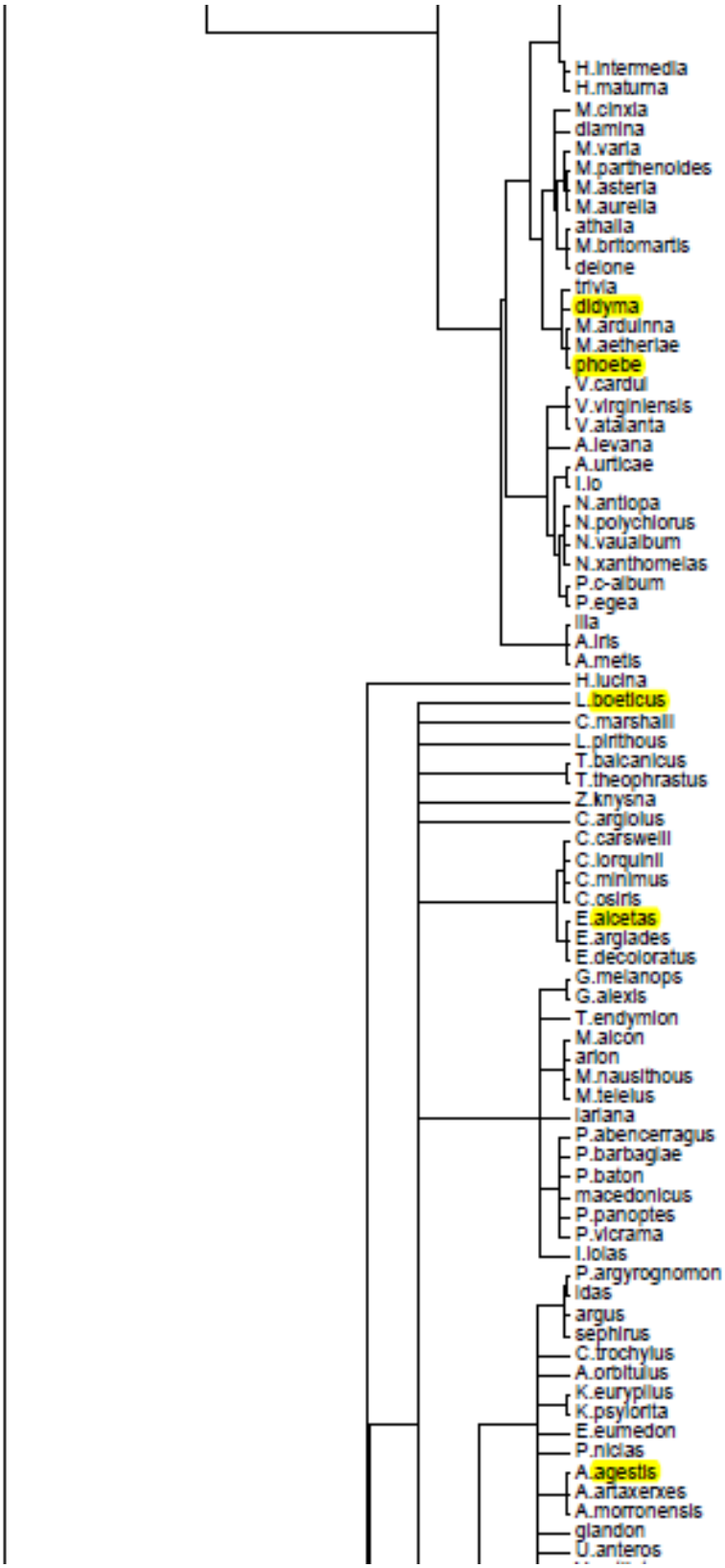
Espèces		Landes humides	Pelouses calcicoles
Nom vernaculaire	Nom scientifique	Nombre d'individus	
Zygène d'Occitanie	Zygaena occitanica	0	1
Zygène du trèfle	Zygaena trifolii	0	4

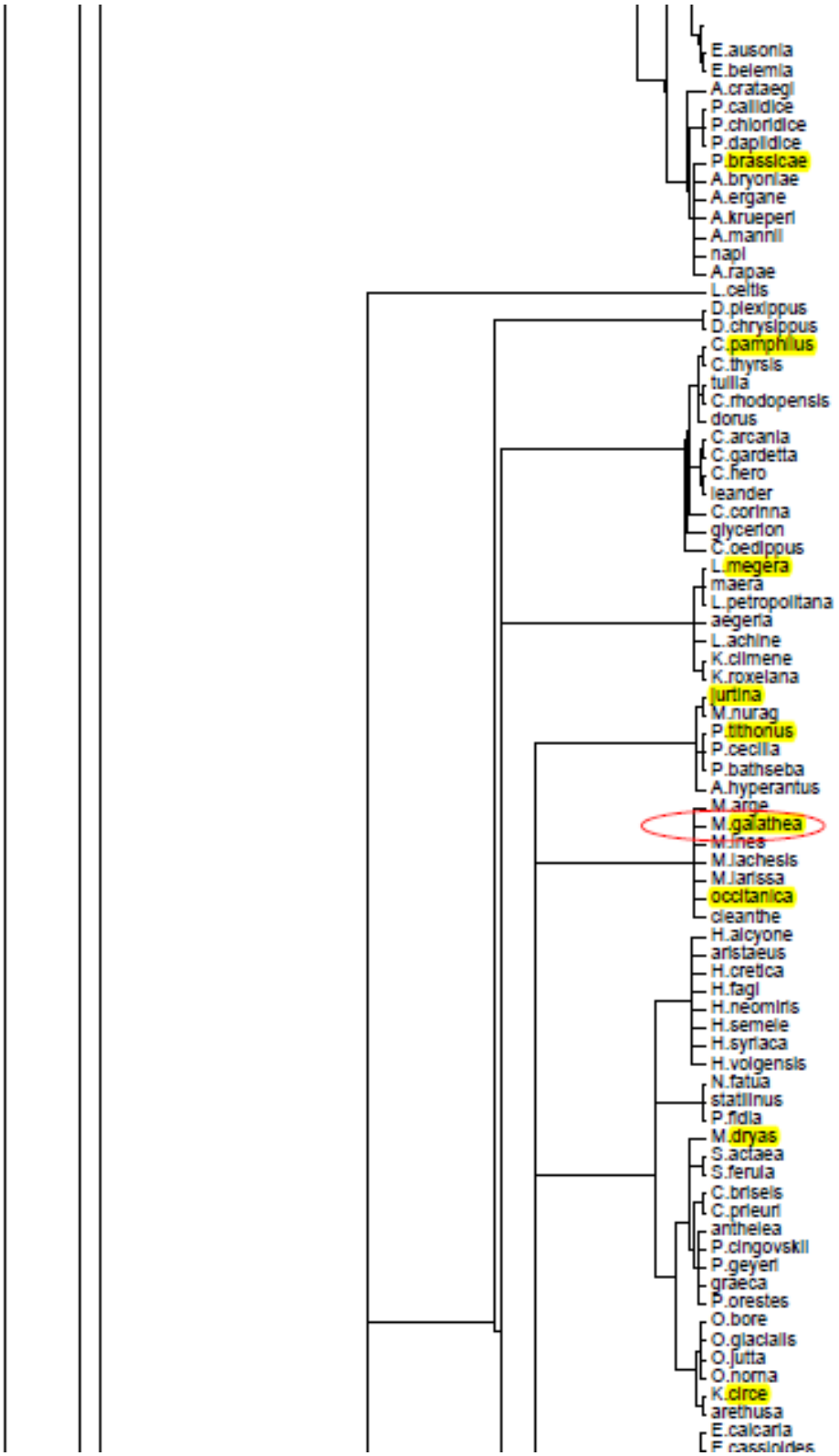
Disposer d'un fichier de données au format Newick comme celui joint avec les longueurs des branches permet de reprendre les nombres de Hill et d'y inclure ce paramètre pour les espèces. Les formulations des diversités α, β, γ, couverture, similarités … sont alors généralisées de façon cohérente. Les figures d'arbre phylogénétique montrent la situation d'espèces observées lors de la campagne de relévés de 2016 (en jaune).

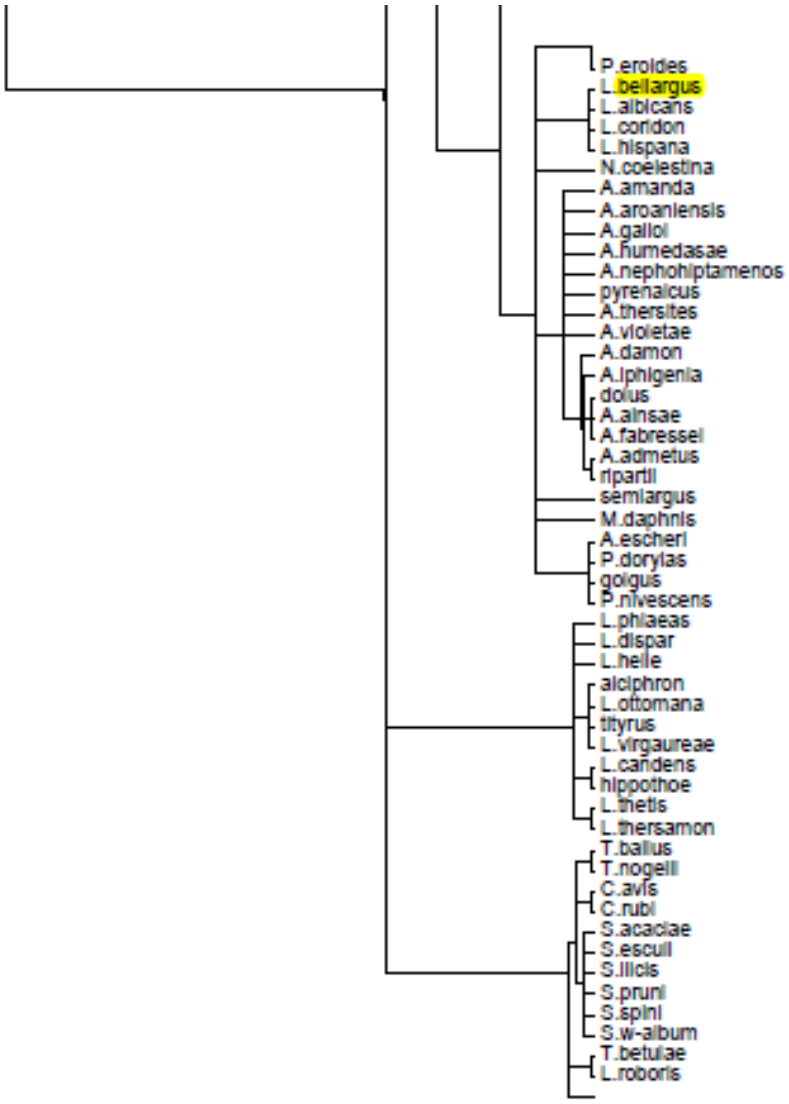
Dirk_Zeuss_publication_308370059_ncomms4874-s1




E.hispania
E.ottomana
E.aethiopella
E.aethiops
E.alberganus
E.christi
E.claudina
E.disa
E.embla
silesiana
E.epistygne
E.eriphyle
euryale
E.flavofasciata
E.gorge
E.gorgone
lefebvrei
E.ligea
manto
medusa
E.melampus
schanerdae
meolans
E.mnestra
montana
E.neoridas
oeme
E.orientalis
E.palarica
E.pandrose
pharte
pluto
E.polaris
pronoe
E.rhodopensis
E.scipio
E.sthennyo
E.stirius
styx
sudetica
triaria
E.zapateri
P.afra
H.lupina
H.lycaon
C.jasius
N.sappho
N.rivularis
L.camilla
L.populi
L.reducta
B.aquilonaris
B.graeca
B.napaea
pales
eunomia
C.dia
C.freija
C.frigga
C.selene
thore
C.polaris
C.euphrosyne
C.charicleа
titania
I.lathonia
agiaja
A.laodice
A.paphia
A.pandora
adippe
A.niobe
A.elisa
B.hecate
B.daphne
B.ino
E.aurinia


H.intermedia
H.maturna
M.cinxia
diamina
M.varia
M.parthenoides
M.asteria
M.aurelia
athalia
M.britomartis
deione
trivia
didyma
M.arduinna
M.aetheriae
phoebe
V.cardui
V.virginiensis
V.atalanta
A.levana
A.urticae
I.io
N.antiopa
N.polychlorus
N.vaualbum
N.xanthomelas
P.c-album
P.egea
ilia
A.iris
A.metis
H.lucina
L.boeticus
C.marshalli
L.pirithous
T.balcanicus
T.theophrastus
Z.knysna
C.argiolus
C.carswelli
C.lorquinii
C.minimus
C.osiris
E.alcetas
E.argiades
E.decoloratus
G.melanops
G.alexis
T.endymion
M.alcon
arion
M.nausithous
M.telelus
iariana
P.abencerragus
P.barbagiae
P.baton
macedonicus
P.panoptes
P.vicrama
I.iolas
P.argyrognomon
idas
argus
sephirus
C.trochylus
A.orbitulus
K.eurypilus
K.psyllorita
E.eumedon
P.niclas
A.agestis
A.artaxerxes
A.morronensis
glandon
U.anteros


E.ausonia
E.belemia
A.crataegi
P.callidice
P.chloridice
P.daplidice
P.brassicae
A.bryoniae
A.ergane
A.krueperi
A.mannii
napi
A.rapae
L.celtis
D.plexippus
D.chrysippus
C.pamphilus
C.thyrsis
tullia
C.rhodopensis
dorus
C.arcania
C.gardetta
C.hero
leander
C.corinna
glycerion
C.oedippus
L.megera
maera
L.petropolitana
aegeria
L.achine
K.climene
K.roxelana
jurtina
M.nurag
P.tithonus
P.cecilia
P.bathseba
A.hyperantus
M.arge
M.galathea
M.ines
M.lachesis
M.larissa
occitanica
cleanthe
H.alcyone
aristaeus
H.cretica
H.fagi
H.neomiris
H.semele
H.syriaca
H.volgensis
N.fatua
statilinus
P.fidia
M.dryas
S.actaea
S.ferula
C.briseis
C.prieuri
anthelea
P.cingovskii
P.geyeri
graeca
P.orestes
O.bore
O.glacialis
O.jutta
O.norna
K.circe
arethusa
E.calcaria
E.cassioides


P.eroides
L.bellargus
L.albicans
L.coridon
L.hispana
N.coelestina
A.amanda
A.aroaniensis
A.gallot
A.humedasae
A.nephohiptamenos
pyrenaicus
A.thersites
A.violetae
A.damon
A.iphigenia
dolus
A.ainsae
A.fabressei
A.admetus
ripartii
semiargus
M.daphnis
A.escheri
P.dorylas
golgus
P.nivescens
L.phlaeas
L.dispar
L.helle
alciphron
L.ottomana
tityrus
L.virgaureae
L.candens
hippothoe
L.thetis
L.thersamon
T.ballus
T.nogelii
C.avis
C.rubi
S.acaciae
S.esculi
S.ilicis
S.pruni
S.spini
S.w-album
T.betulae
L.roboris

Annexe 12. SAR (Species Area Relationships)

SAC–SAR (Species Area Relationships) STAR STAER

Chaque site est constitué de transects, T_1, T_2, ...T_n de longueurs différentes. Chaque transect a une longueur « Long » et une observation réalisée sur une largeur de 5 m. S_{obs} espèces sont repérées. Chacune est constituée de N_i individus, i=1 à S_{obs}.

Les observations à partir de 2017 seront réalisées chaque mois de mai à août. En 2016, les pelouses calcicoles, Borrèzes, Eybennes, Payros-Cazautet, Coteau du Moulin ont fait l'objet de 2 campagnes d'observations. En 2016, les landes humides, Espoune, Buzy, Léon, Souge, Saint-Laurent de Gosse ont été observées lors de 2 campagnes d'observations, les autres sites renferment une seule campagne. Le mois de mesure retenu pour le dépouillement SAC ou SAR est indiqué en suffixe du nom du site. L'analyse est mentionnée dans la mesure où le nombre d'individus repéré est suffisamment important (>20 par exemple) et le nombre d'espèces associé compatible (LOCEY & WHITE, 2013).

Pour simplifier, SAC (Species Area Curves) est confondu ici avec le vocable plus courant SAR (Species Area Relationships). Le terme SAC reste le plus approprié car les efforts d'échantillonnage sur chaque transect ou chaque site ne sont pas identiques. Le cumul des données, par site à partir des transects, à une seule date donnée, donne une information liée à la répartition des espèces sur la surface d'observation, et indique l'effort de comptage. Il est ainsi possible d'en déduire les premiers indices de couverture par la relation de type SAR (Species Area Relationship) dont l'expression la plus utilisée est $SAR = cA^z$, SAR : nombre d'espèces repérées en fonction de la surface examinée A à la puissance z. La forme du lissage est compatible avec la limite SAR=0 et A=0. La donnée SAR=1 entraîne une donnée de surface minimale pour trouver 1 espèce : $A_{min}=\exp(\text{Log}(1/c)/z)$. La variation des cumuls des abondances des espèces en fonction de l'aire n'est pas identique quelle que soit l'échelle (AZAELE *et al.*, 2015), les valeurs de z moyennes sont de l'ordre de 0.25.

L'année de mise en place 2016 ne donne pas accès à des séries mensuelles de mesure, pour l'intégration dans le temps sur l'année puis sur plusieurs années. L'intégration pourrait être abordée par un modèle STAR qui ajoute une composante de cumul dans le temps : STAR = SAR $T^y = C\ A^zT^y$, C<>c. Le couplage entre A et T est possible. Les lois SAR et STAR sont une image de l'effort de comptage et contiennent des informations liées aux diversités alpha, beta, gamma. SAR permet d'estimer la fragilité du milieu si la surface est modifiée.

Il est envisageable d'insérer en plus un terme d'effort de dénombrement qui pourrait être de son côté relié au taux de couverture. Il s'agit alors du modèle dit « STAER » qui ajoute une composante au modèle STAR : STAER = STAR $E^x = C\ A^zT^yE^x$. Dans la mesure où l'effort de dénombrement est obtenu avec les variables A, T, E cela permet d'agréger les données en les rapportant par interpolation et extrapolation à des surfaces A, des temps T et des efforts E comparables.

Paramètres SAR au niveau du site avec plusieurs transects

Le modèle de puissance peut-être remplacé par des modèles plus complets de type Weibull par exemple. Dans la mesure où les données ne peuvent pas être obtenues à différentes échelles de façon indépendantes, le calcul est effectué de façon mixte, en partie par « fenêtre glissante », donc avec imbrications des données. La dépendance de SAR en fonction de A reste

correcte, par contre la variance est biaisée et ne peut pas être facilement estimée. Cette méthode reste admise dans la littérature.

Le protocole suivi dans cette analyse dit en « fenêtre glissante » est :

- le nombre d'espèces S_{obs} des transects Ti, avec leur longueur T_long en m. Dans les cas 2016, T_larg est constant soit 5m. Exemple de cas: transects 1, 2, 3, 4, 5 soit T_1, T_2, T_3, T_4, T_5. Dans ce texte pour déterminer la loi SAR, ces transects sont dits de type « A1 », par exemple 150 m de longueur en moyenne. Ils sont indépendants,
- le nombre d'espèces S_{obs} des transects nommés « A2 » consiste à sommer les individus de 2 transects par exemple T_1+T_2, T_2+T_3, T_3+T_4, T_4+T_5 auxquels on pourrait ajouter T_1+T_3, T_2+T_5, etc… ces transects ont une longueur sommant les deux composantes des transects. Le nombre de combinaisons pour obtenir des données de type A2 pouvant être grand un nombre limité est choisi, par exemple au moins 4 valeurs. Ils ne sont pas indépendants.
- le nombre d'espèces S_{obs} des transects nommés « A3 » consistant à son tour à sommer 3 transects par exemple $T_1+T_2+T_3$ et $T_2+T_3+T_4$ et $T_3+T_4+T_5$, ces transects ont une longueur de 3x150=450m. Ils ne sont pas indépendants entre eux ni avec « A2 ».
- le nombre d'espèces S_{obs} des transects nommés « A4 » consistant à sommer 4 transects par exemple $T_1+T_2+T_3+T_4$ et $T_2+T_3+T_4+T_5$, ces transects ont une longueur de 4x150=600m. Ils ne sont pas indépendants.
- le nombre d'espèces S_{obs} de l'ensemble des transects nommés dans cet exemple « A5 » ou « Tx » consiste à sommer x transects par exemple ici $T_1+T_2+T_3+T_4+T_5$, ces transects ont une longueur de 5x150=750m. Ils ne sont pas indépendants.

Exemple de résultat, la valeur c et z du modèle $Sobs=cA^z$ qui est noté dans Fig. 140 par $y=0.2593x^{0.558}$:

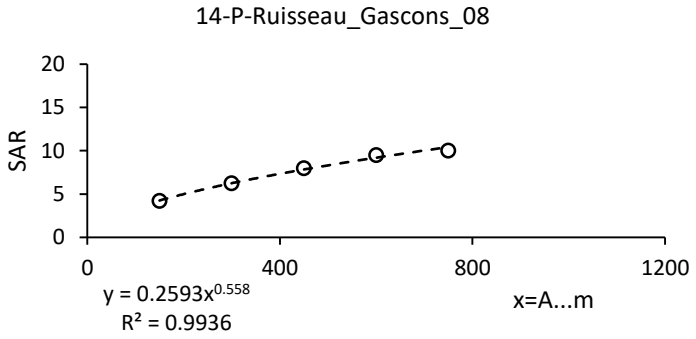


Fig. 140. SAR, applicable de 11m (1 espèce) jusqu'à 750m (10 espèces, 37 individus). (Points de mesure et courbe de lissage en pointillés)

Compte tenu de la forme puissance liée à la surface cA^z, et disposant d'un taux de couverture estimé par exemple à 89% dans le cas cité ci-dessus (11% de probabilité de trouver d'autres espèces), pour certains sites une extrapolation est envisageable, par exemple jusqu'à une surface double. Nous obtenons ainsi un moyen d'agréger les sites. Pour extrapoler et surtout pour passer de « SAR » à « EAR » (Endemics Area Relationships) afin de déterminer l'extinction potentielle des espèces, la valeur moyenne de z n'est alors pas forcément la valeur la plus pertinente à retenir.

Dans le cas des transects, le coefficient z et c sont lissés avec la longueur T_long=L du transect, ce qui est plus lisible, la largeur du transect est T_larg. La valeur de z lissée reste identique quelle que soit l'unité de surface prise en compte. Les transects ont une largeur « T_larg=l », d'où la valeur de C liée à la surface exprimée à partir de la valeur de c liée à la longueur du transect C:

$$SAR = C\ A^z = C\ (l\ L)^z = cL^z \ldots c = C\ l^z\ ou\ C = c\ l^{-z}$$

Au niveau de la région, les transects sont remplacés par les sites et les fenêtres glissantes sont générées de la même façon.

Annexe 13. iNEXT – Comparaison des données

Introduction

Dans ce rapport, les données ne se rapportent pas au même effort d'échantillonnage en nombre d'individus ou en effort de couverture. Ce point a été mentionné. Il s'agit de comparer des diversités d'échantillons avec un nombre d'individus commun ou un taux de couverture identique. Cela correspond à interpoler ou à extrapoler les résultats avec les formulations mentionnées dans ce texte auxquelles des réplicas de bootstrap sont ajoutés pour déterminer leurs incertitudes. Les courbes suivantes résument ces traitements. Le programme iNEXT (iNterpolation and EXTrapolation) disponible réalise ces calculs et donne les tracés correspondants. La documentation de ce logiciel se trouve sur le site (CHAO, 2017). Les auteurs sont Anne Chao, K. H. Ma, et T. C. Hsieh de l'Institute de l'Université : Statistics, National Tsing Hua University, Hsin-Chu, Taiwan 30043. Basée sur R, la version en ligne est disponible sur https://chao.shinyapps.io/iNEXTOnline/

2 types d'analyse sont disponibles l'une « non-asymptotique » est basée sur un processus dit « d'interpolation et d'extrapolation » et l'autre dit « asymptotique ».

La version « non asymptotique » se retrouve dans la référence documentaire : Colwell et al. (2012), Chao and Jost (2012) and Chao et al. (2014). iNEXT calcule par défaut, pour 3 valeurs de q (0, 1 et 2) une interpolation (trait continu) et une extrapolation (traits pointillés) des résultats avec l'incertitude.

L'approche « asymptotique » calcule les « vrais » profils de diversité corrigeant les données d'observation S_{obs} par $S_{obs}+f_0$... quelles que soient les valeurs de q de 0 à l'infini. Les références (CHAO & JOST, 2015 ; HSIEH *et al.*, 2016) sont mentionnées. Par défaut, le nombre de réplicas de Bootstrapping est de 50 et le degré de confiance 95% dans les courbes suivantes.

Analyse par Interpolation/Extrapolation

Les points triangles pour les tracés des pelouses calcicoles en bleu et les points cercles pour les tracés des landes humides en rouge sont les mesures de terrain. L'extrapolation est mentionnée par une courbe en pointillés et l'interpolation par une courbe en continu. Pour comparer les 2 milieux, la valeur maximale de l'abscisse est celle des pelouses calcicoles dont l'échantillonnage est le plus complet (Fig. 141, Tab. LXIII-Tab. LXV).

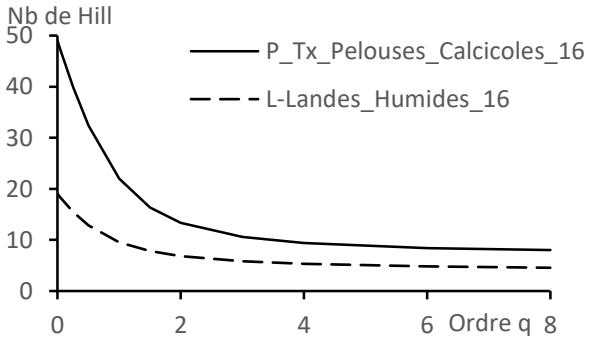


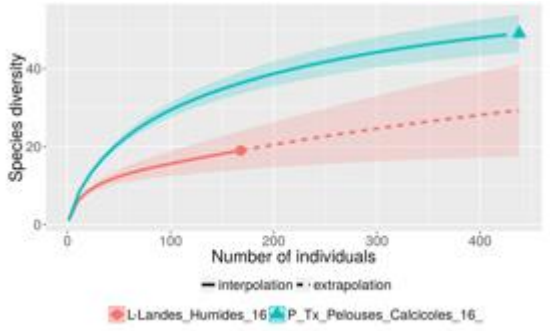
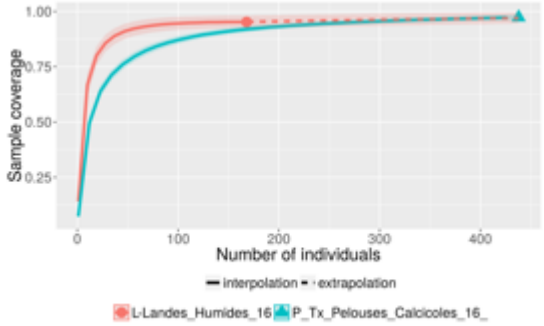
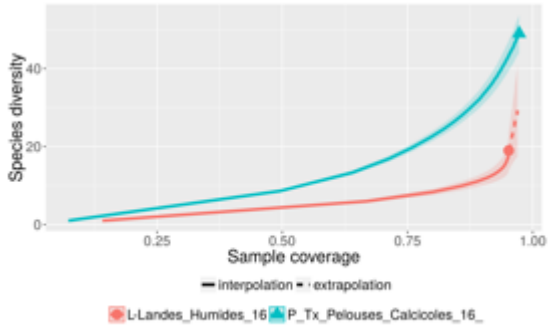
Fig. 141. Profils de diversité des lépidoptères de pelouses calcicoles et de landes humides.

Les 3 types de courbes tracés dans iNEXT correspondent à 3 valeurs de q (Tab. LXIII–Tab. LXV):

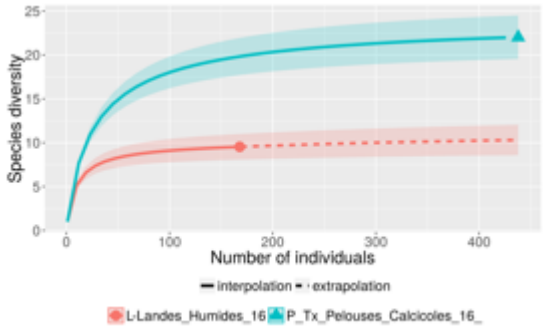
- « species diversity 1» diversité en fonction du nombre d'individus recencés, interpolation et extrapolation des échantillonnages,
- « sample coverage » courbe du taux de couverture en fonction du nombre d'individus,
- « species diversity 2» diversité en fonction du taux de couverture.

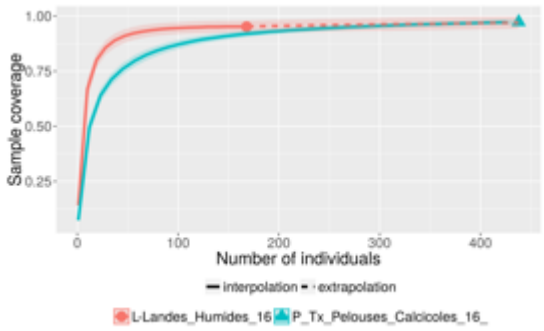
Ces courbes complètent avec leurs incertitudes les profils de diversités.

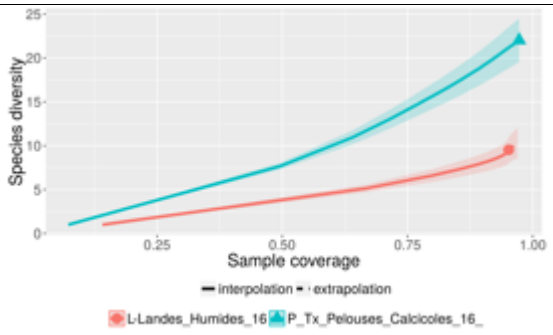
Tab. LXIII. Tracés dans iNEXT : q = 0 Diversité spécifique.

<table>
<tr>
<td> 
</td>
<td> 
</td>
</tr>
<tr>
<td> 
</td>
<td>Les courbes et leurs incertitudes montrent que les deux milieux sont différentiés. Les pelouses sont plus riches en espèces que les landes. Le nombre d'individus de 200 est suffisant pour caractériser les milieux au niveau de la région. Il assure un taux de couverture de 90% environ.</td>
</tr>
</table>

Tab. LXIV. Tracés dans iNEXT : q = 1 diversité de Schannon-Wiener.

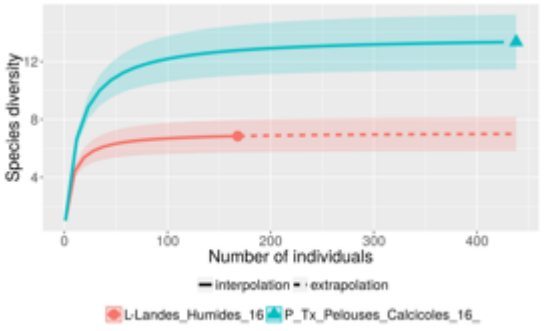


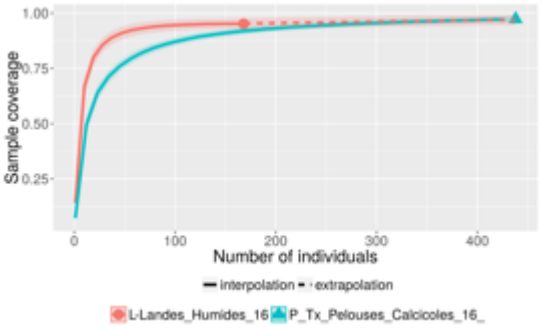


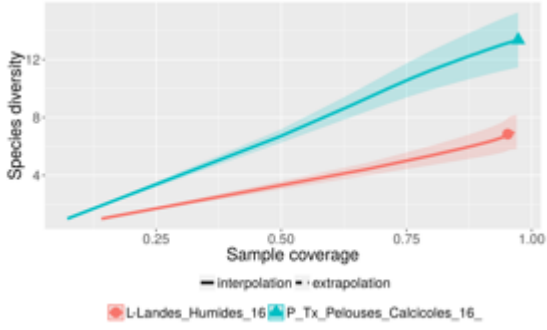


Les courbes et leurs incertitudes montrent que les deux milieux sont très différentiés. Les espèces rares sont repérées plus facilement dans les landes humides.

Tab. LXV. Tracés dans iNEXT : q = 2 diversité de Simpson.







Les espèces communes et abondantes sont repérées plus facilement dans les landes humides.

Analyse Asymptotique

Les profils de diversité mesurés correspondent à la Fig. 142.

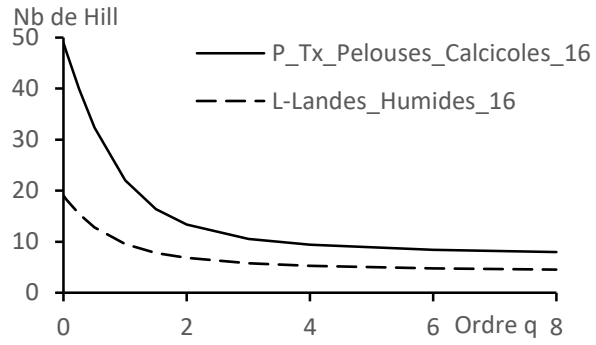


Fig. 142. Profils de diversité des lépidoptères de pelouses calcicoles et de landes humides.

Dans cette analyse dite asymptotique, les profils de diversité avec leurs incertitudes sont estimés par 2 méthodes (Fig. 143, Fig. 144) en calculant des nombres de Hill « vrais » et en les calculant de façon dite empirique. Cette dernière méthode sous-estime la dispersion et n'est pas toujours pertinente dans la zone 0<q<3. Une méthode plus générale est en cours de développement (Chao & Jost, 2015).

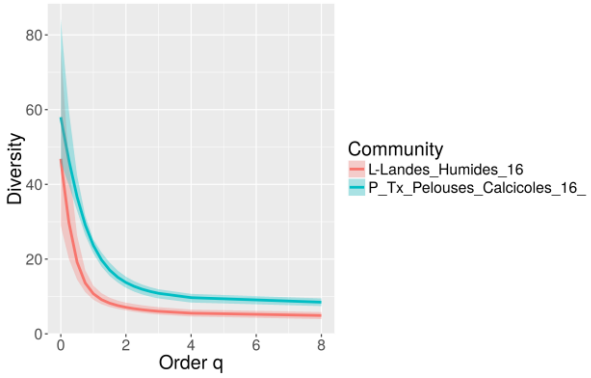


Fig. 143. Profils de biodiversité de la méthode par « estimation ».

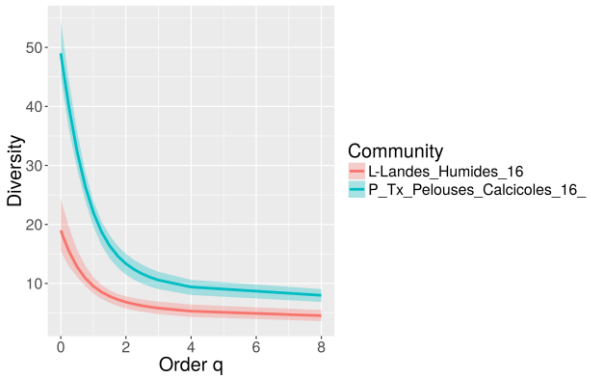


Fig. 144. Profils de biodiversité de la méthode dite « empirique ».

Les courbes de 2 milieux restent différenciées dans tous les cas.

Annexe 14. Bootstraps appliqué aux lissages

Méthode d'estimation par les individus

Le ré-échantillonnage est effectué au niveau des dénombrements des individus N, il pourrait l'être au niveau des espèces. Approximativement, il y a 4 fois plus d'individus N que d'espèces S. Le nombre de bootstraps indépendants avec n éléments est de n(n-1). Dans le cas « Pujol » avec S=11 espèces et N=58 individus, le nombre de bootstraps disponibles avec les espèces est de 110 et de 3306 avec les individus. Le cas Dordogne avec respectivement 8 et 17, les possibilités sont respectivement de 56 et de 272. En conséquence, l'utilisation des individus observés permet d'avoir une matière de ré-échantillonnage admissible. Si le nombre d'espèce dépasse 20, les espèces permettent de simplifier les calculs.

L'estimation des valeurs des lissages obtenues, leur moyenne, écart type, Asymétrie, Kurtosis est donc réalisée dans ce paragraphe par ré-échantillonnage des individus. Exemple d'un exercice de 10 ré-échantillonnages : dans la première colonne en italique se trouvent les données observées « Pujol » sur le terrain, avec 11 espèces et 58 individus, et dans les colonnes 1 à 10 suivantes, les réplicas ou ré-échantillonnages de ces données :

0* …	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
9	10	10	9	8	8	8	8	8	6	10
4	5	6	4	4	2	5	3	2	3	2
1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0
28	24	27	31	27	31	31	28	36	28	26
1	1	0	1	0	2	2	0	1	1	1
1	0	2	1	1	0	1	2	2	1	0
1	0	0	1	1	3	2	1	0	1	1
1	1	1	1	0	1	1	1	0	4	0
3	6	5	2	5	1	6	6	1	5	6
6	10	5	6	7	7	1	4	6	6	8
3	1	2	2	5	2	0	4	2	2	4

L'algorithme consiste à tirer au sort, ici 58 fois, effectuer le tirage avec remise, soit 1 : obtenir un individu parmi les 58, 2 : noter son espèce, 3 : incrémenter l'espèce de 1 individu… Cela introduit alors un biais puisqu'il ne peut pas y avoir plus d'espèces que celles qui ont été dénombrées. Il est à noter la présence des 0 par exemple dans les tirages au sort, éliminant des espèces. Les ré-échantillonnages analysent les résultats obtenus dans l'échantillon initial des S espèces.

Estimation du biais

Dans « An introduction to Bootstrap », page 138 § 10.6, 1993 » (EFRON & TIBSHIRANI, 1994), la correction des biais conduit à une expression simple et applicable. Soit x_{obs} la moyenne observée et x_{boot} la moyenne donnée par les ré-échantillonnages, alors la moyenne estimée « sans biais » est $x_{corr}=2x_{obs}-x_{boot}$. A partir des données des espèces observées, il est intuitif que les ré-échantillonnages, ne posant pas que des espèces sont absentes, répartissent statistiquement les individus en atténuant le rôle des espèces rares présentes en singletons.

Les tirages « Boot » diminuent en moyenne les nombres de Hill, courbe en continu dans Fig. 145.

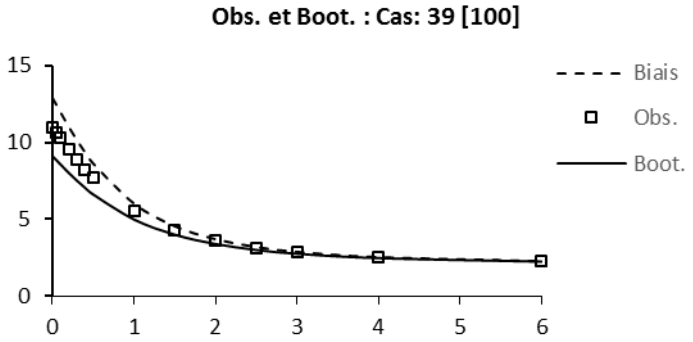


Fig. 145. Nombre de Hill observé, Boot et Biais

La figure Fig. 146 montre en complément que le profil de biodiversité lissé est peu sensible au biais. Sans être une démonstration, le lissage du profil dans la plage des ordonnées D_{infini} à D_0, ordonnées rapportées à une valeur entre 0 et 1, pourrait être une composante peu sensible aux biais d'échantillonnage pris comme référence. Seule la valeur du nombre d'espèces réel D_0 reste alors le paramètre d'incertitude.

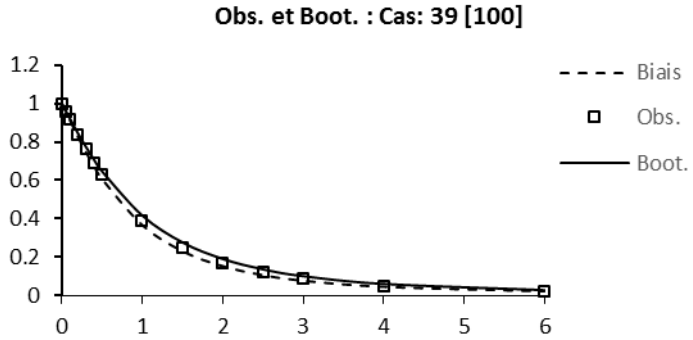


Fig. 146. Profil de biodiversité, Observations, ré-échantillonnage, biais

Exemple dit « Pujol »

Un exemple de résultats numériques est illustré sur un cas avec un échantillonnage faible, le cas « Pujol » dénommé 39-Rh_16_08_Puj_ avec 58 individus répartis dans 11 espèces lors de l'observation (Fig. 147).

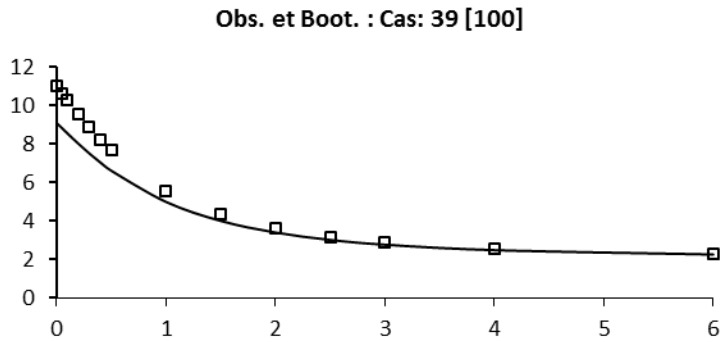


Fig. 147. Nombres de Hill : observations lissées « carrés » et ré-échantillonnage « trait »

Les ré-échantillonnages confirment la stabilité du lissage du profil dont les paramètres générés sont ensuite peu dispersés, indiquant qu'il peut être ainsi résumé par 4 valeurs, beta, m_0, m_{inf} et b et extrapolable à un nombre d'espèces plus important sans réajustement du nombre d'espèces (Fig. 148).

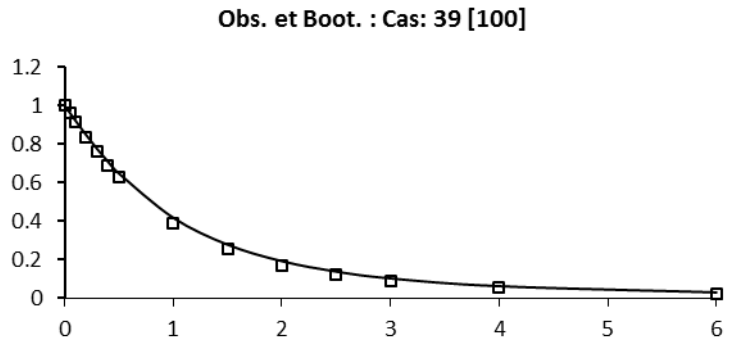


Fig. 148. Profil de diversité : observations lissées « carrés » et ré-échantillonnage « trait »

Dans le tableau suivant, les valeurs lissées du cas observé « Pujol » sont mises entre parenthèses ().

Les tirages sont obtenus avec la fonction RND de VBA. Ils sont effectués 100, 200 une première fois, 200 une deuxième fois et finalement 1000 tirages. Le calcul avec la formulation de biais donnée par Efron cité précédemment conduit aux valeurs des nombres de Hill pour qa=0.05, qb=2, qc=8 :

- Nombres de Hill, pour les 4 valeurs d'identifications : qa=0.05, q_1=1, qb=2, qc=8

Tirages	Sobs (11)	Nind	D_qa (10.6)	D_q_1 (5.6)	D_qb (3.6)	D_qc (2.3)	Dinf (2.07)
100	9.099±0.935	58	8.828±0.901	5.007±0.626	3.41±0.513	2.268±0.287	2.045±0.227
200-1	9.100±0.872		8.835±0.847	5.103±0.596	3.512±0.491	2.332±0.286	2.096±0.225
200-2	9.184±0.900		8.912±0.868	5.086±0.614	3.48±0.514	2.313±0.299	2.081±0.236
1000	9.072±0.848		8.807±0.822	5.078±0.596	3.493±0.484	2.32±0.28	2.087±0.221

- Nombre de singletons, doubletons… et « corrections de Chao » f_0, f_1

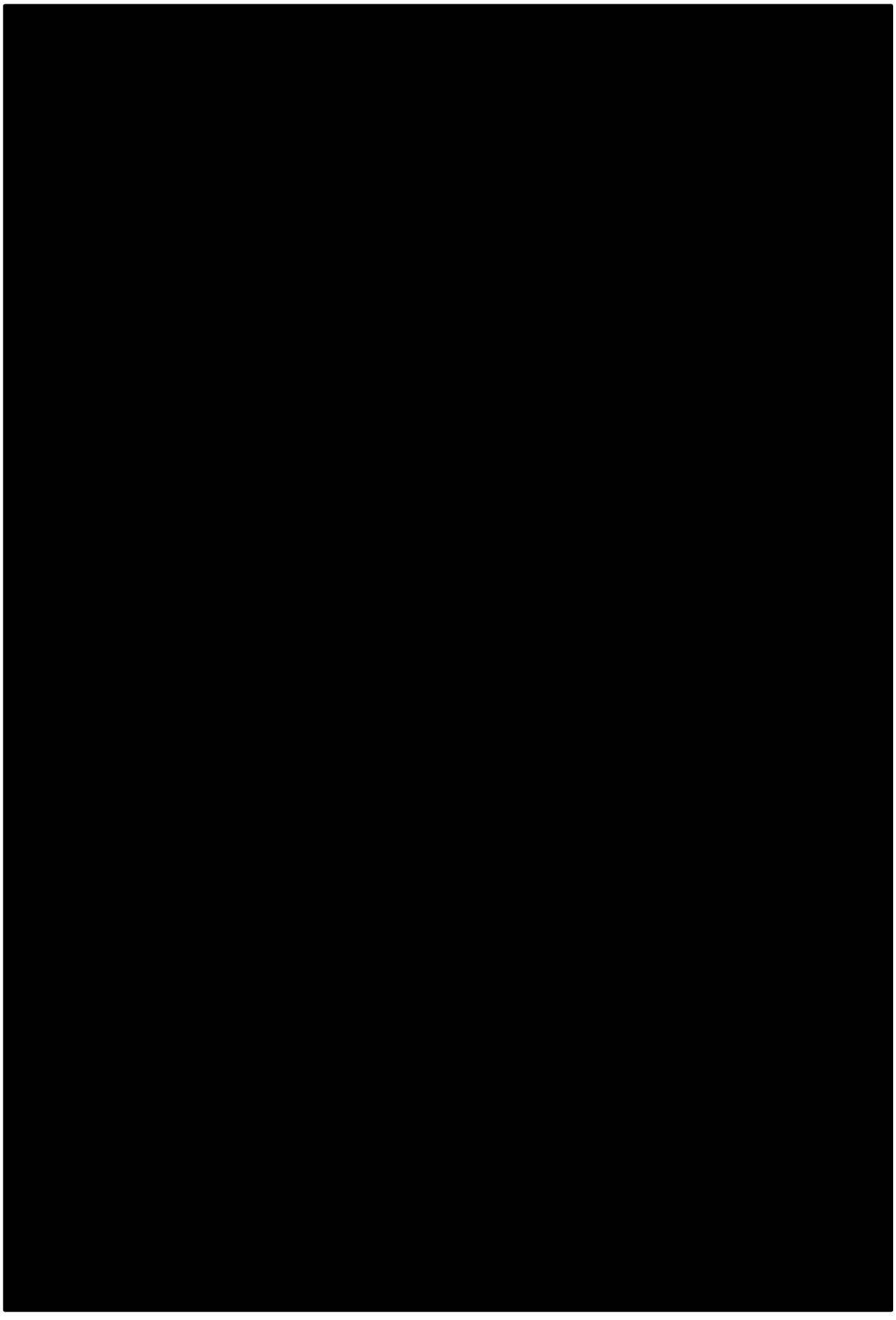
f0 (10)	f0_corr	f1	f1_corr	f2 (0)	f3 (2)	f4 (1)
2.317±2.327	6.396±9.733	2.277±1.161	3.554±3.501	1.663±1.014	1.01±0.708	0.881±0.698
2.159±1.963	5.209±9.736	2.224±0.966	2.825±3.518	1.572±0.933	1.169±0.798	0.776±0.71
2.289±2.113	7.622±11.436	2.323±1.071	3.824±3.882	1.701±0.967	0.985±0.667	0.811±0.67
2.143±1.886	6.766±11.233	2.228±0.997	3.393±3.837	1.643±0.945	1.02±0.71	0.768±0.655

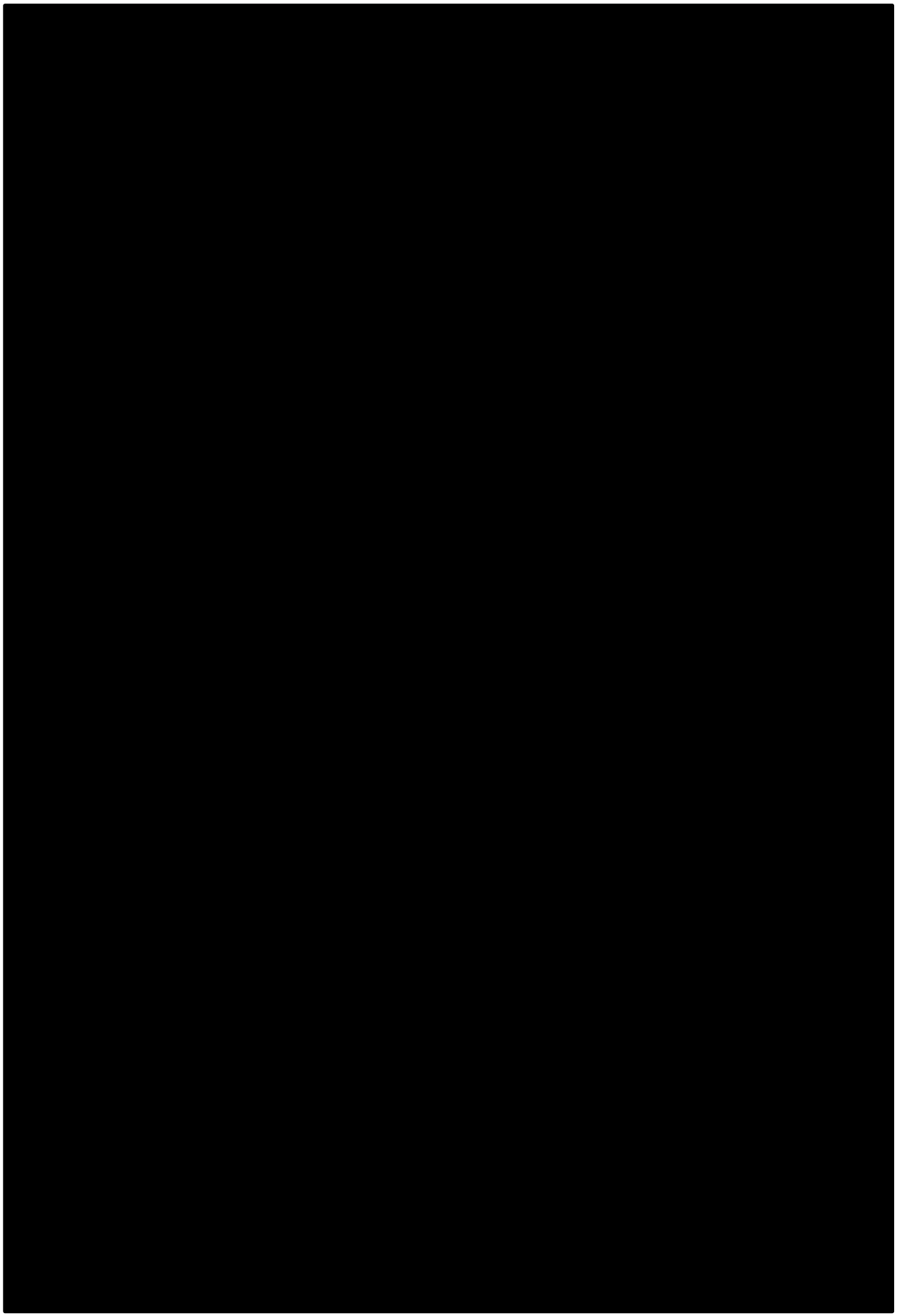
- Le tableau suivant indique les paramètres des lissages dit « 4Pts », avec l'écart-type moyen pour les 100, 200 et 1000 tirages. Les 3 valeurs principales beta, m_0, m_{inf} sont peu dispersées de l'ordre de 1%. (Le terme b est un paramètre de correction d'importance faible). Les nombres de Hill sont plus dispersés, de l'ordre de 10%. Ils dépendent de D_0, dont les corrections par les singletons et doubletons sont dispersées.

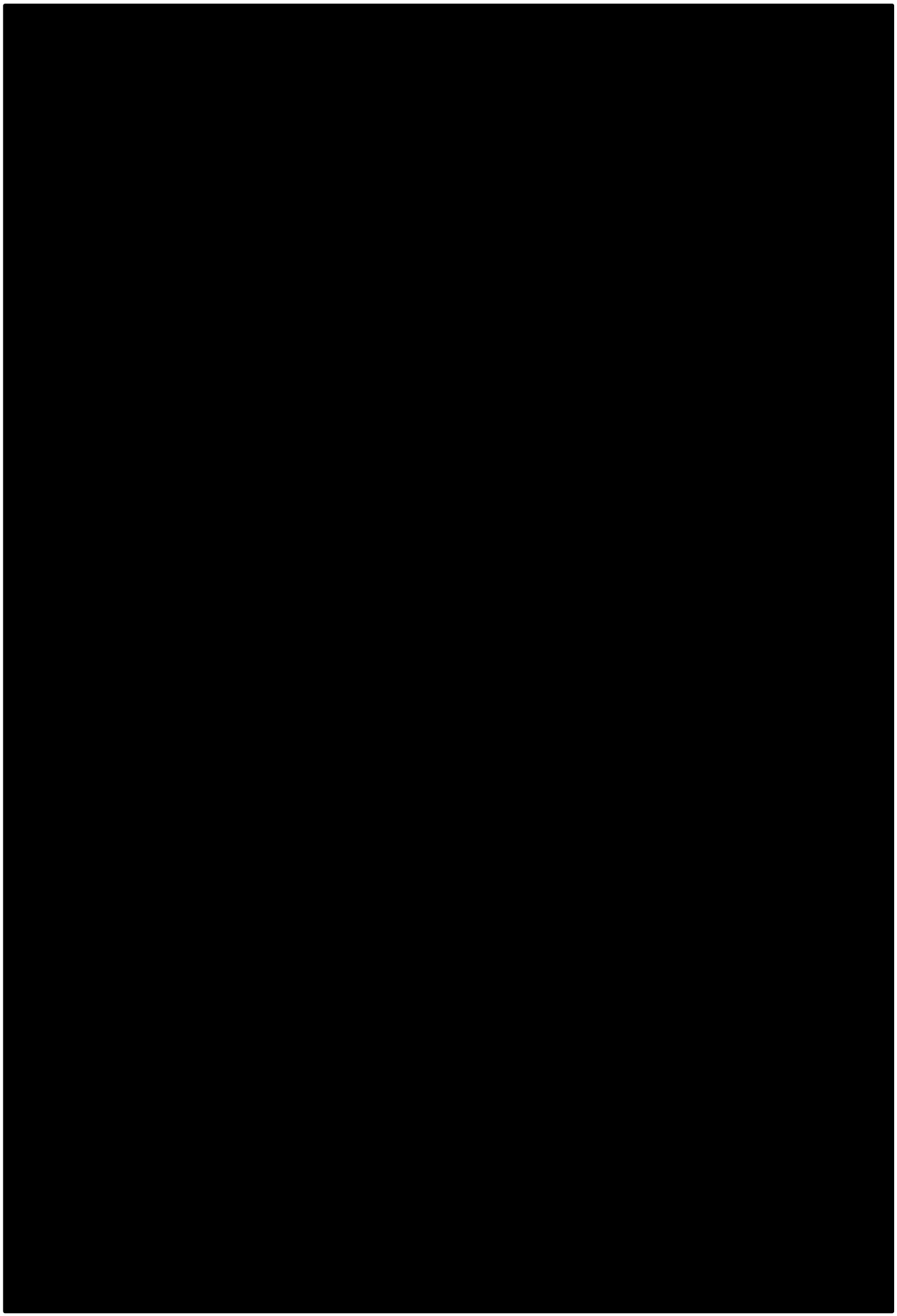
Beta (0.939)	m_1 (0.972)	m_2 (0.073)	m_3 (0.318)	m_0 (1.046)	m_{inf} (0.655)	b (0.207)
0.873±0.133	0.977±0.054	0.067±0.047	0.313±0.041	1.043±0.018	0.664±0.034	0.197±0.11
0.85±0.119	0.973±0.061	0.067±0.053	0.306±0.043	1.04±0.018	0.668±0.036	0.200±0.13
0.865±0.126	0.971±0.057	0.07±0.05	0.309±0.044	1.042±0.018	0.663±0.033	0.209±0.12
0.852±0.12	0.971±0.059	0.068±0.05	0.305±0.045	1.039±0.018	0.667±0.034	0.206±0.13

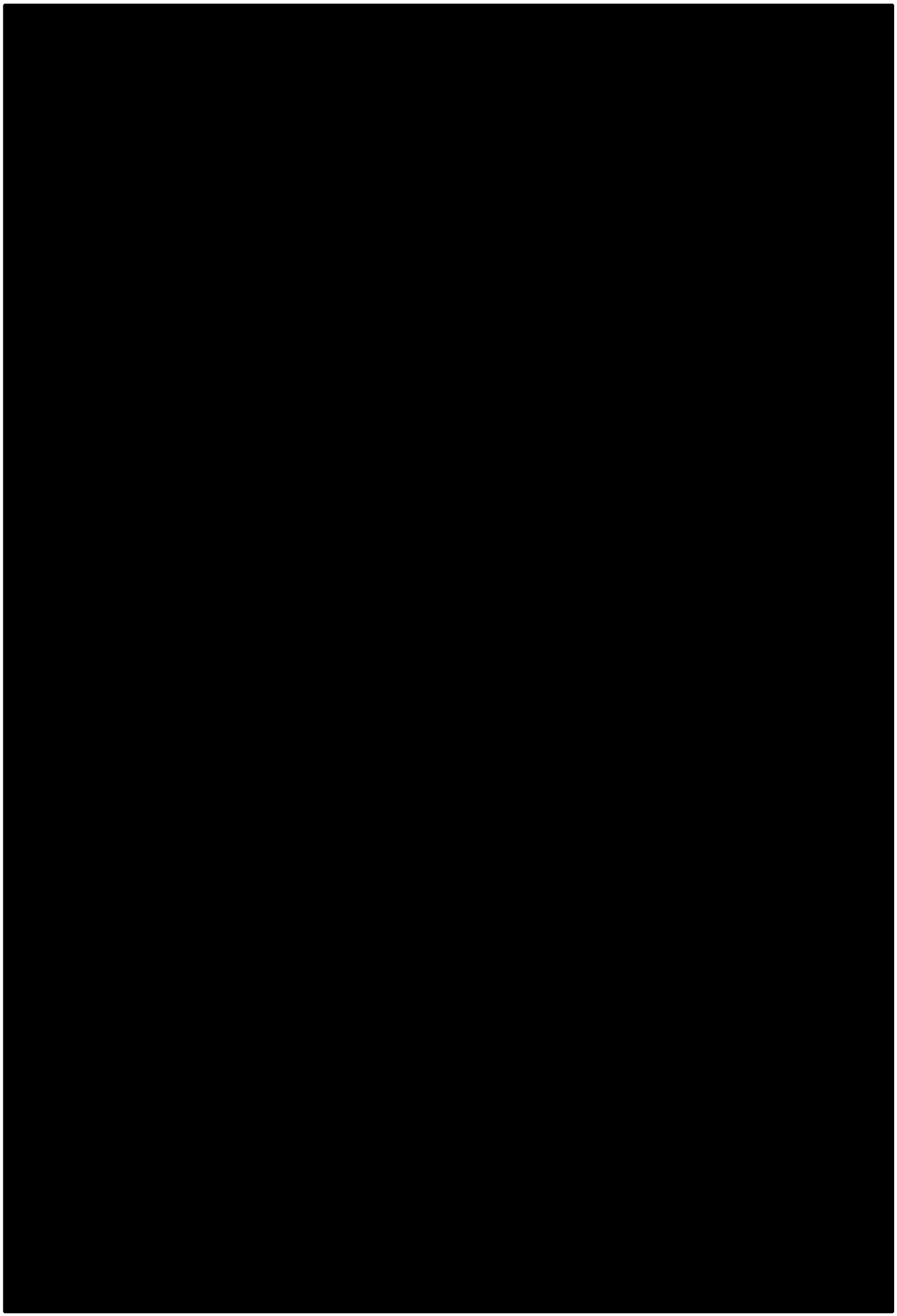
Observé Cas: 39 [100]	Noms des Variables	Moyenne Bootstrap	Ecart-Type moyen	Asymétrie	Kurtosis	Biais
11.00	Nb espèces Observées Sobs	9.099	0.94	-0.30	-0.30	12.90
58.00	Nb individus	58				58
10.63	D_qa qa =0.05	8.828	0.90	-0.32	-0.30	12.44
5.56	D_q1 q1=1	5.007	0.63	-0.06	-0.47	6.12
3.58	D_qb qb=2	3.410	0.51	0.18	-0.37	3.75
2.30	D_qc qc=8	2.268	0.29	0.52	0.16	2.33
2.07	Dinf=1/pmax	2.045	0.23	0.50	0.22	2.10
10.00	f0	2.317	2.33	2.76	9.99	17.68
-5.00	f0_correction	6.396	9.73	2.69	8.30	-16.40
5.00	Singletons f1	2.277	1.16	0.65	0.47	7.72
0.00	f1_corrigé	3.554	3.50	1.84	3.85	-3.55
0.00	Doubletons f2	1.663	1.01	0.19	-0.80	-1.66
2.00	f3	1.010	0.71	0.97	0.95	2.99
1.00	f4	0.881	0.70	0.61	-0.49	1.12
0.94	Beta basé sur Schannon	0.873	0.13	0.74	1.49	1.00
0.97	m1	0.977	0.05	-0.69	0.49	0.97
0.07	m2	0.067	0.05	0.84	0.29	0.08
0.32	m3	0.313	0.04	-0.31	0.53	0.32
1.05	m0=m1+m2	1.043	0.02	0.18	0.76	1.05
0.65	minf	0.664	0.03	-0.43	-0.01	0.65
0.21	B (mu=1)	0.197	0.12	1.07	1.23	0.22

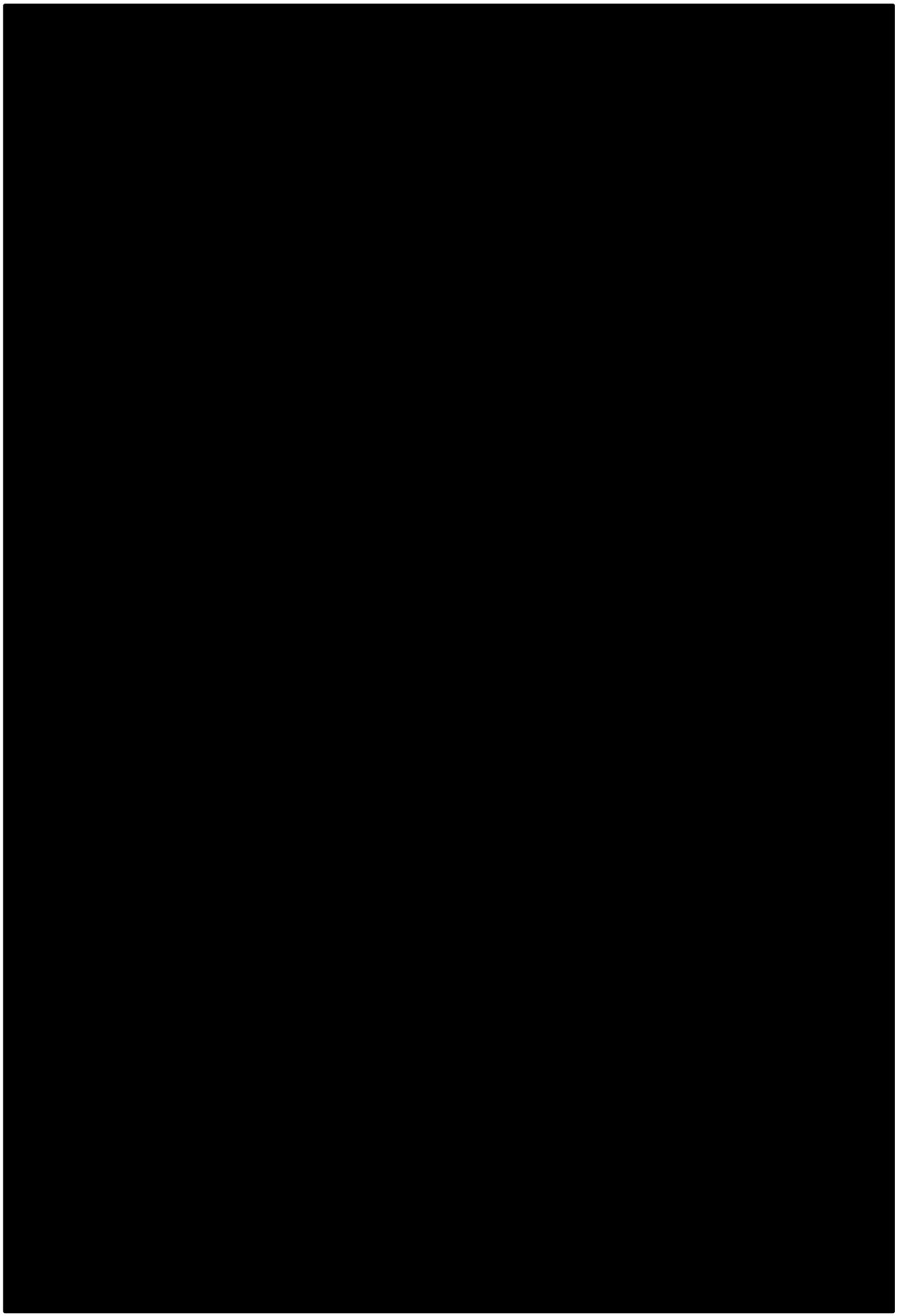
Annexe 15. Positionnement des transects et emprise du site du suivi des lépidoptères de pelouses calcicoles

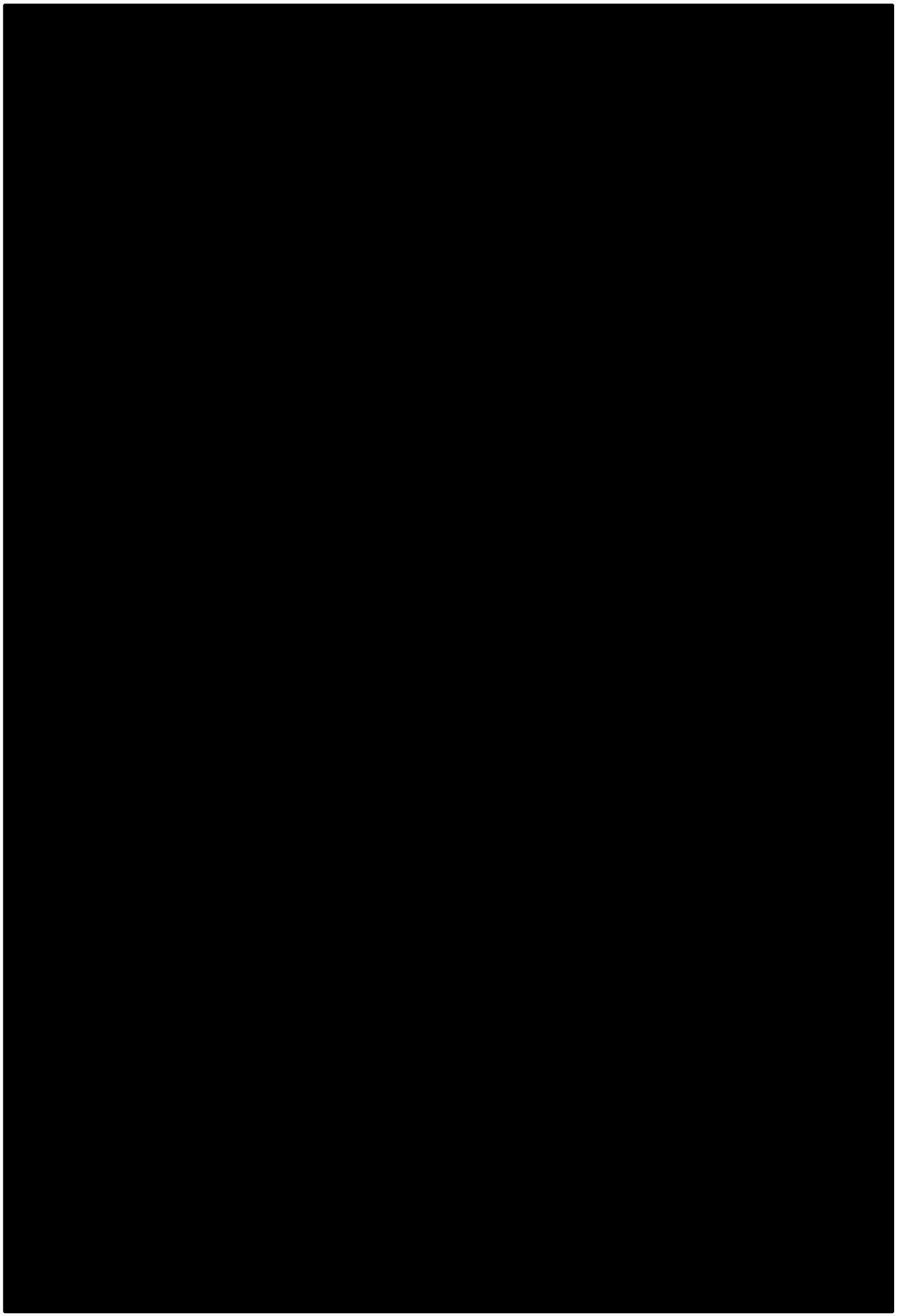


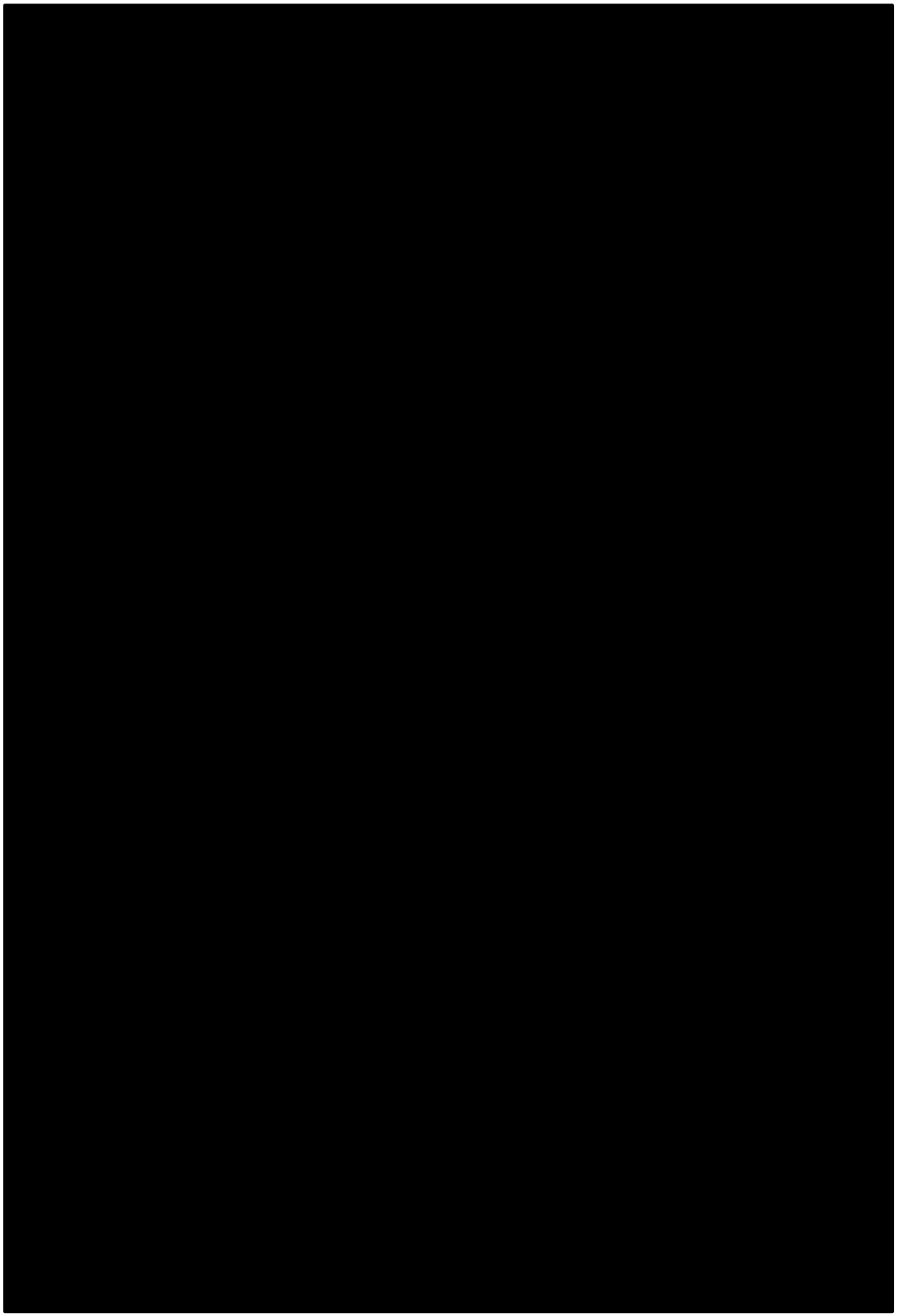


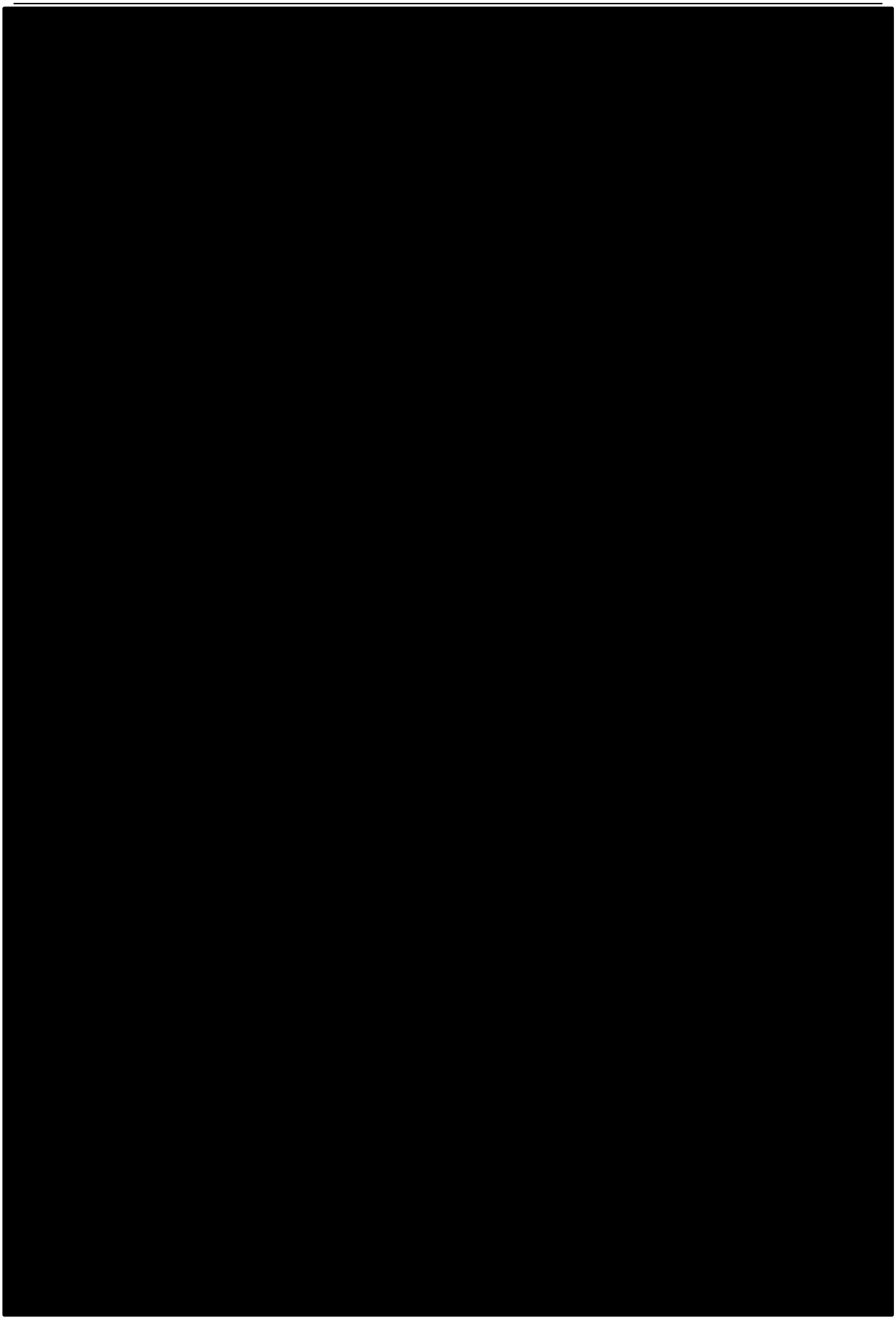


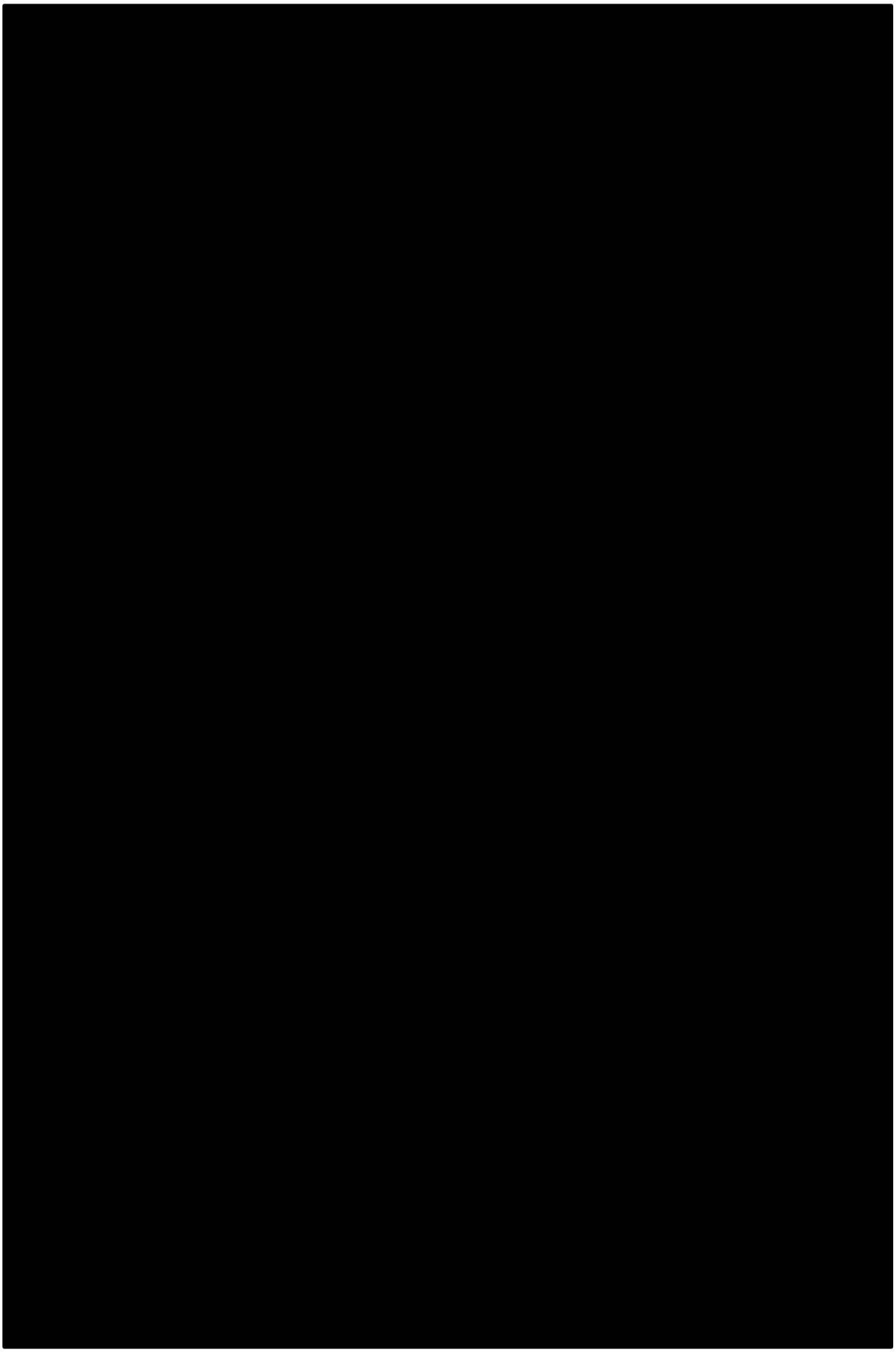


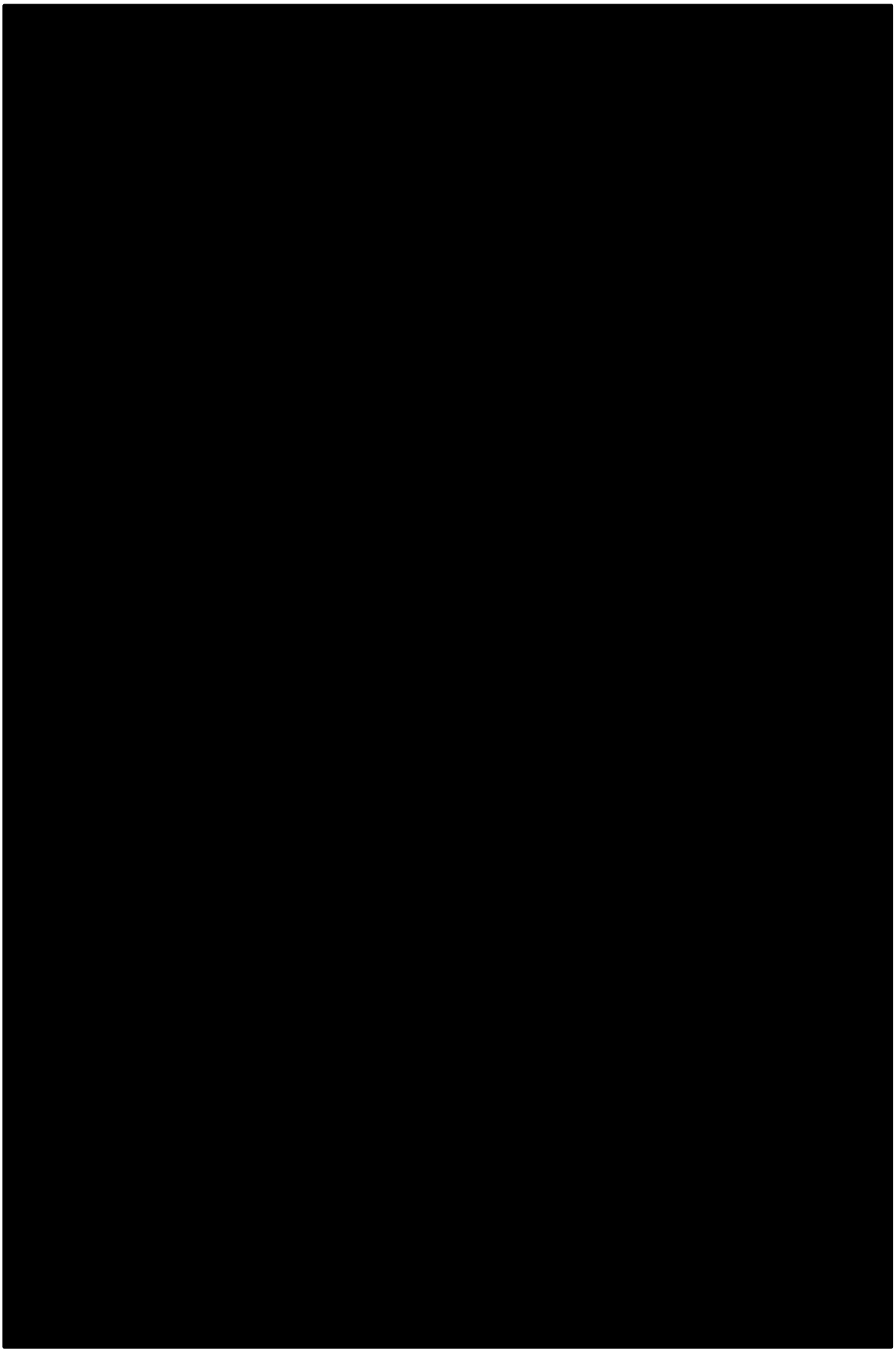


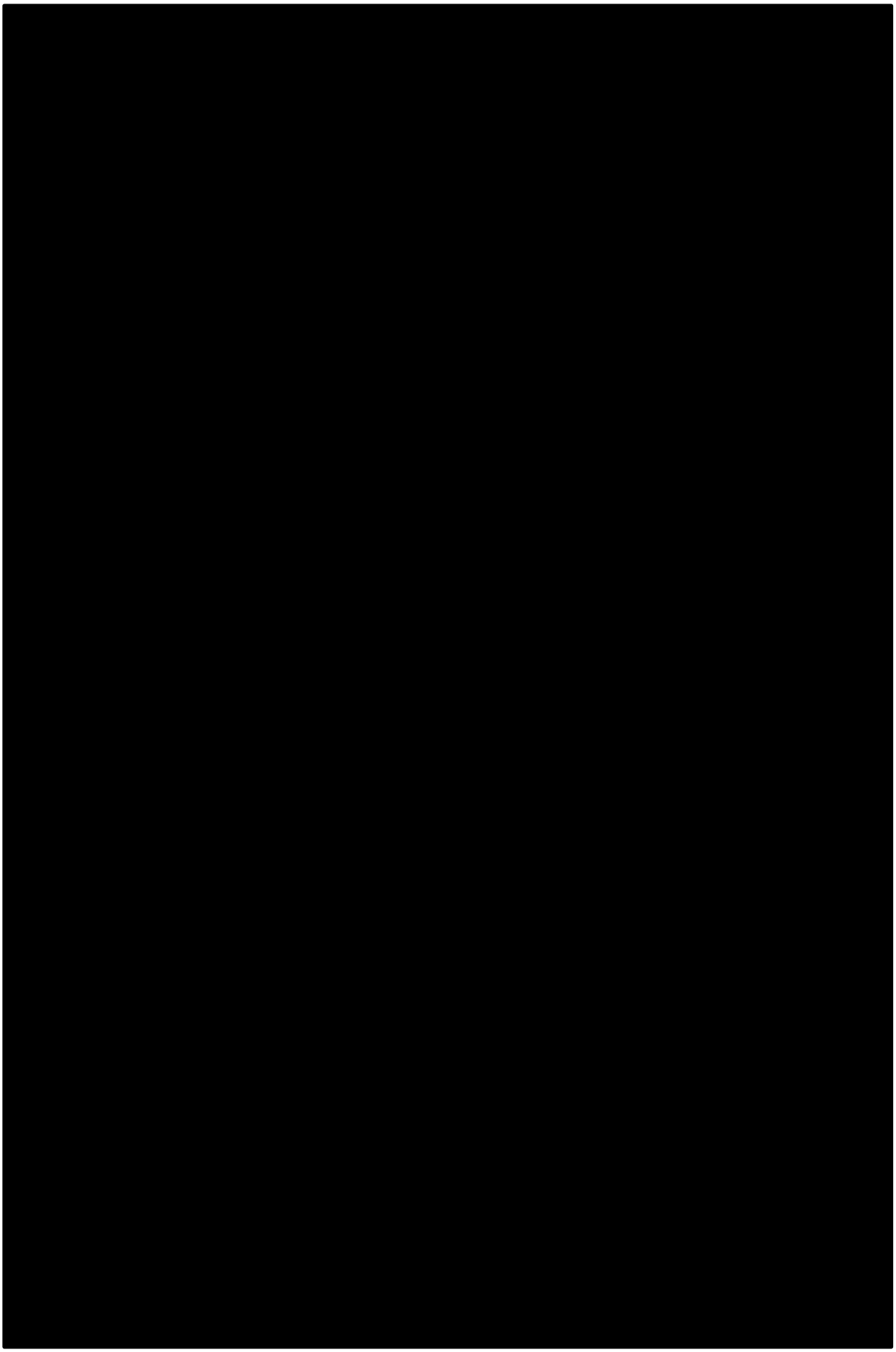


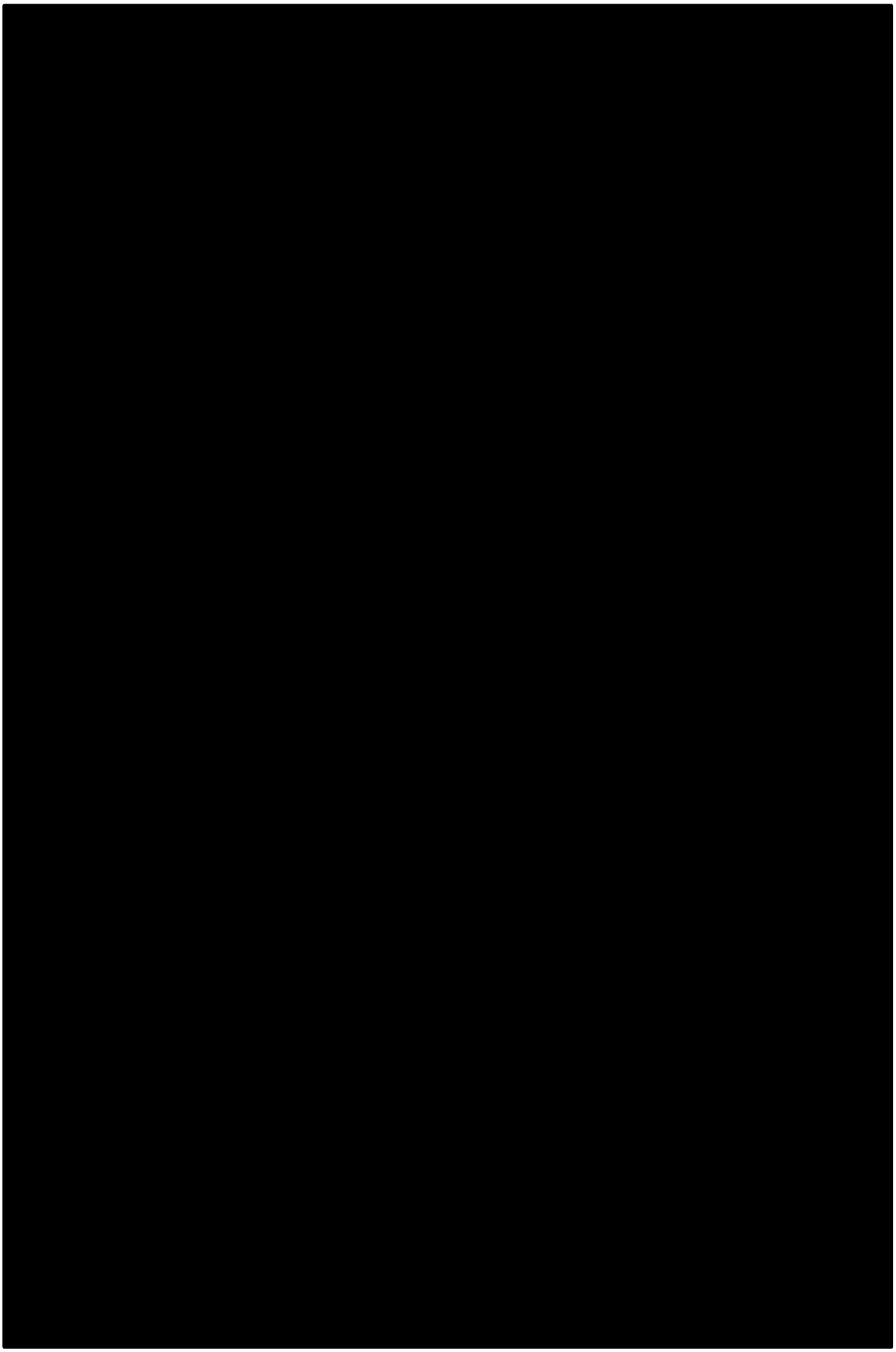


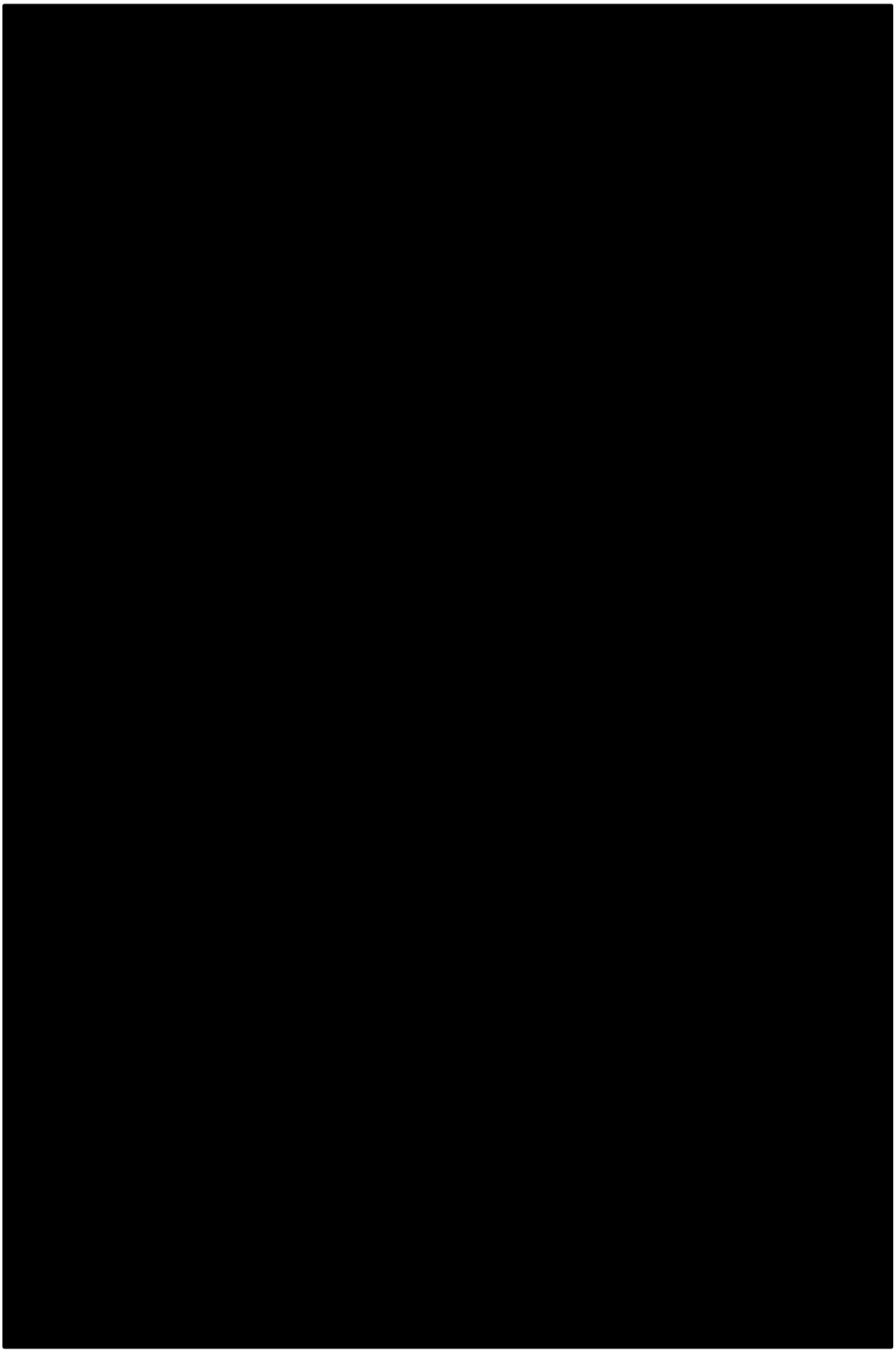


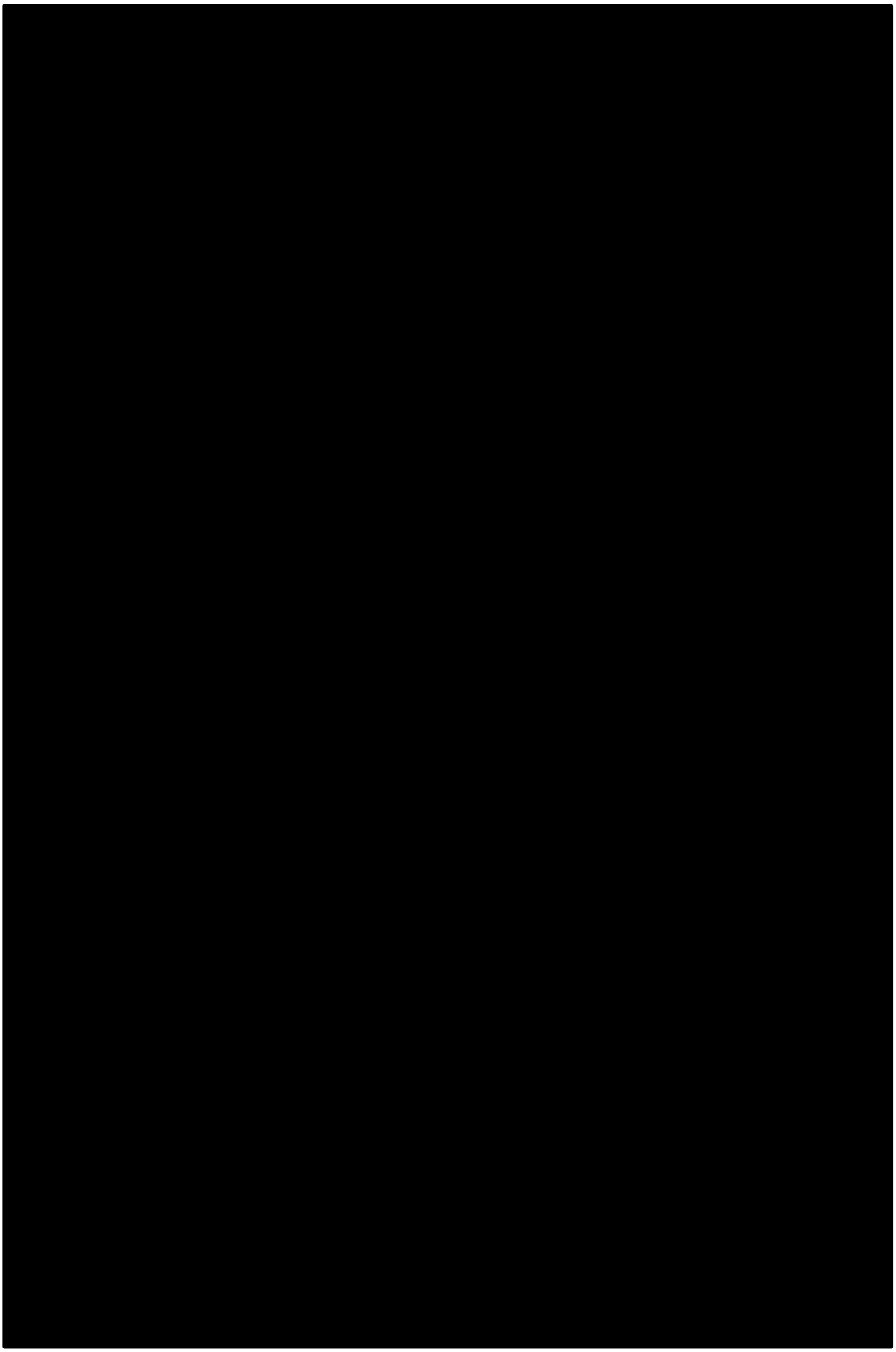


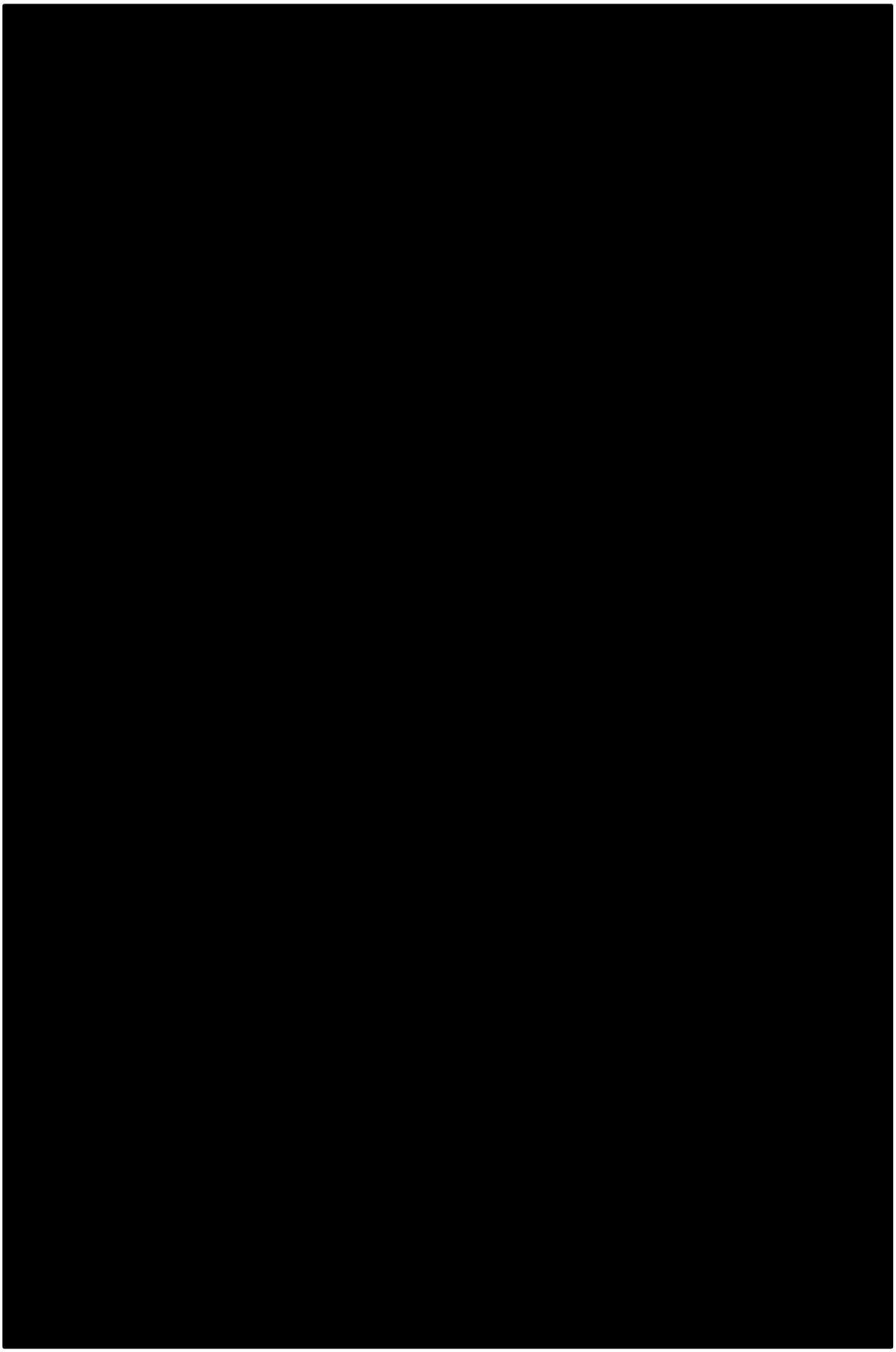


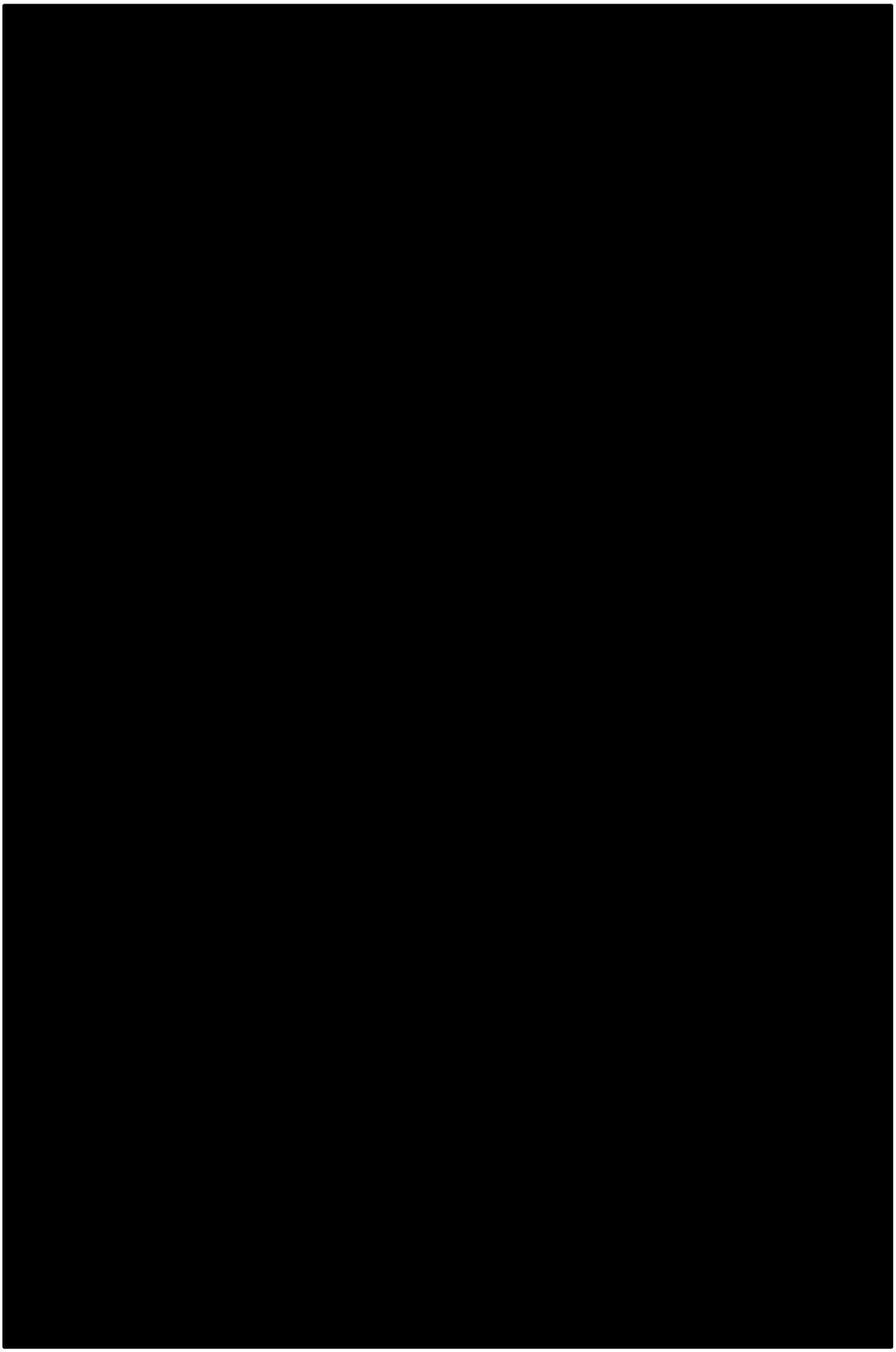


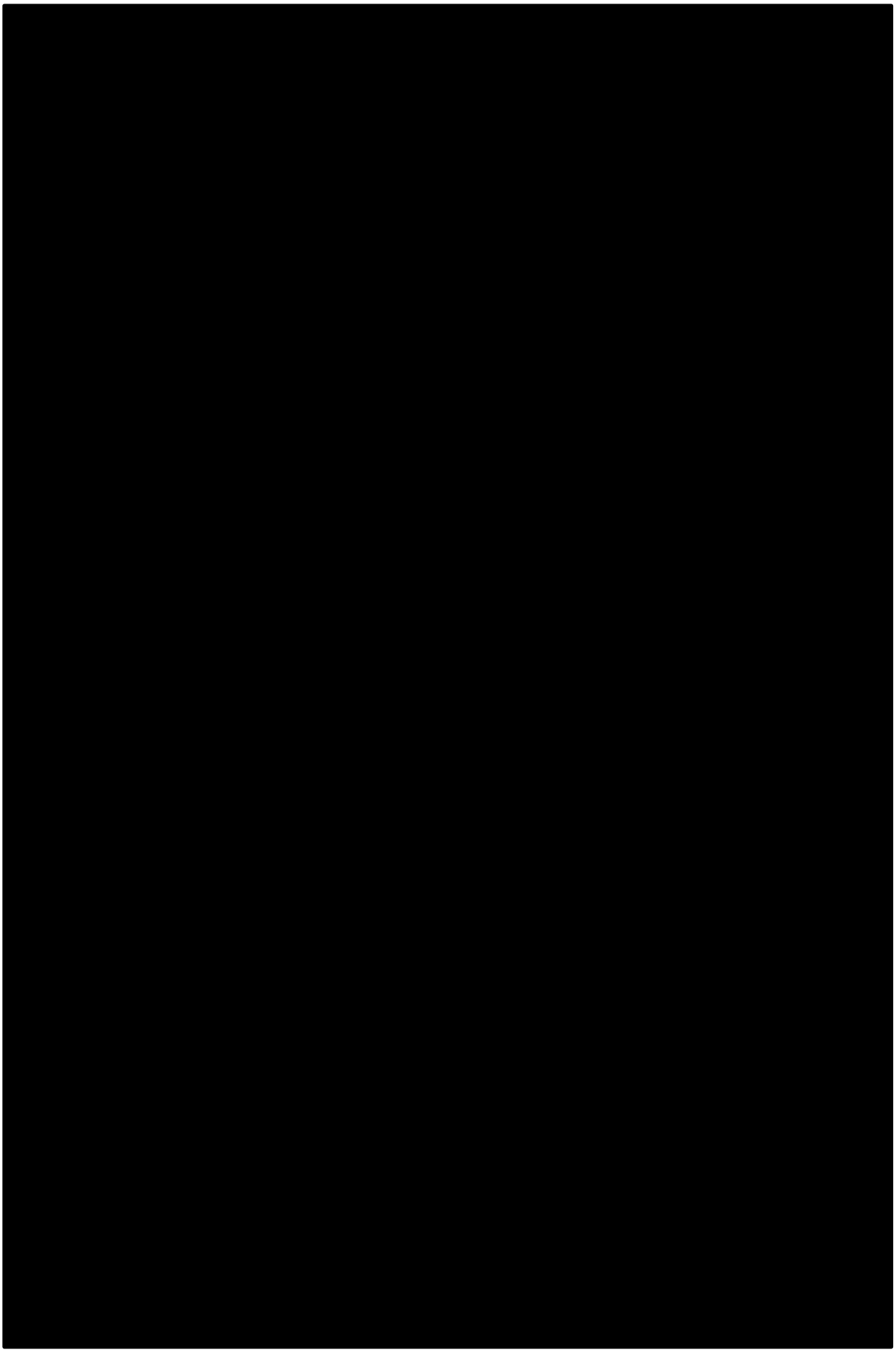


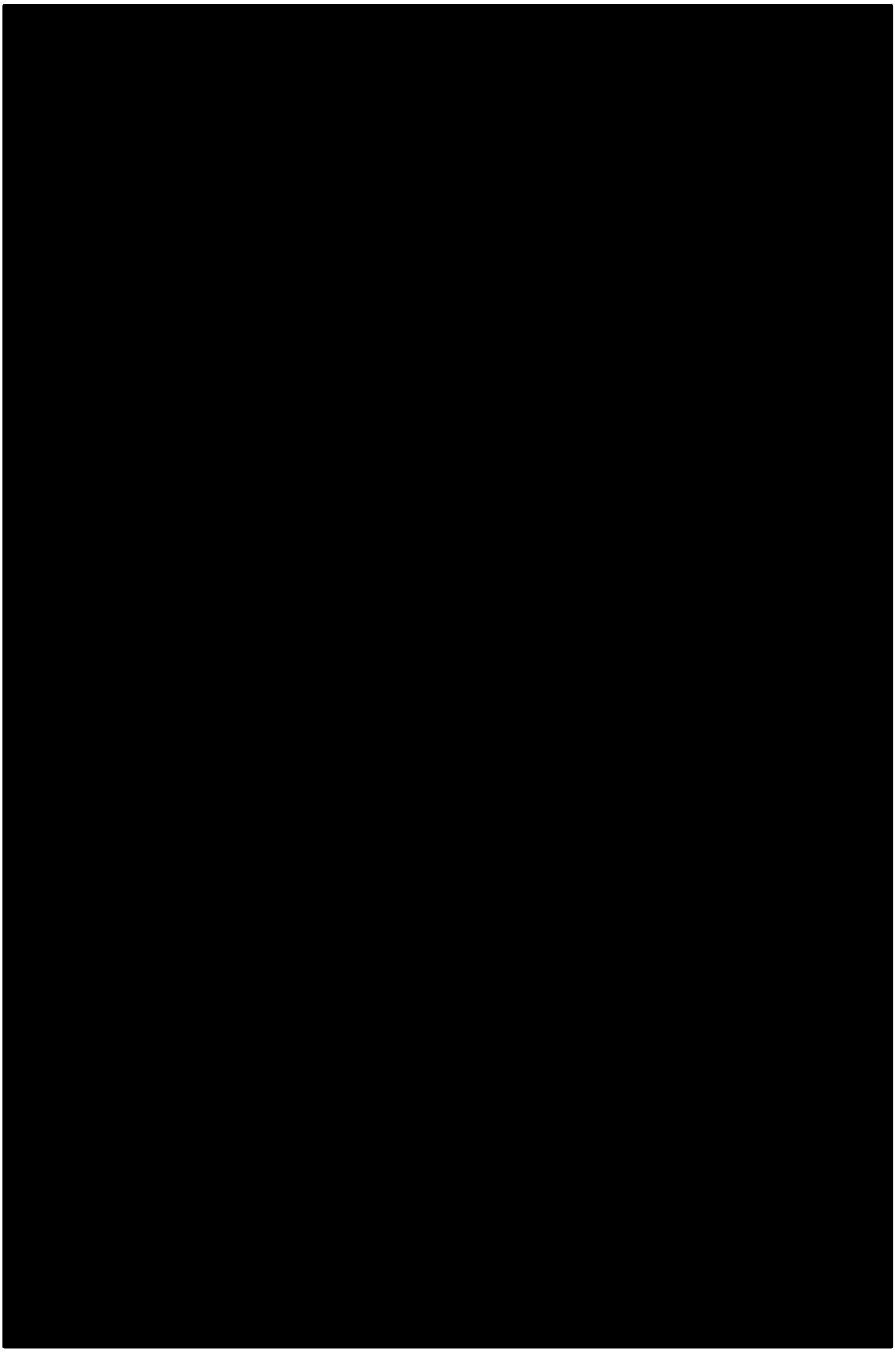


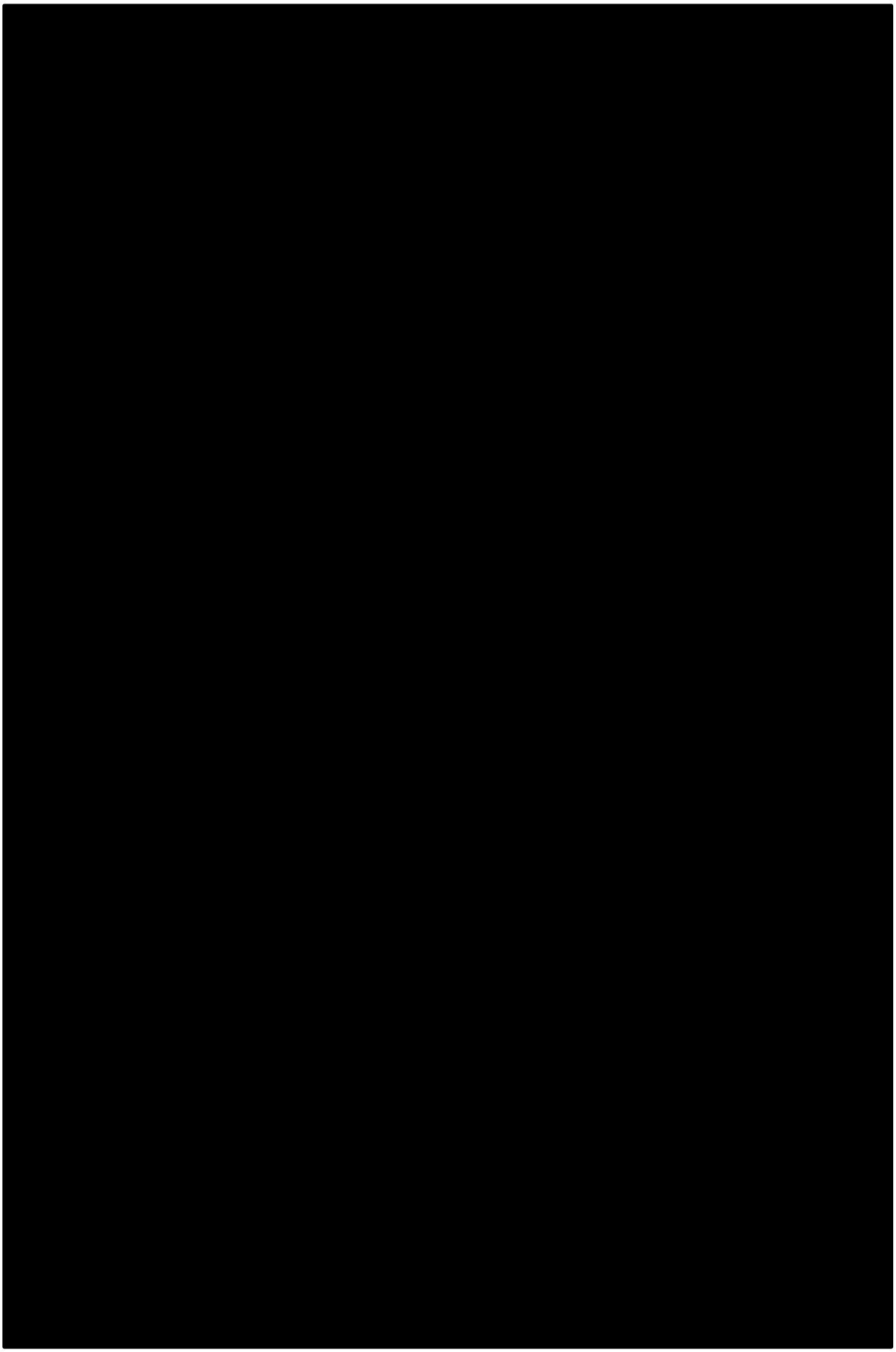


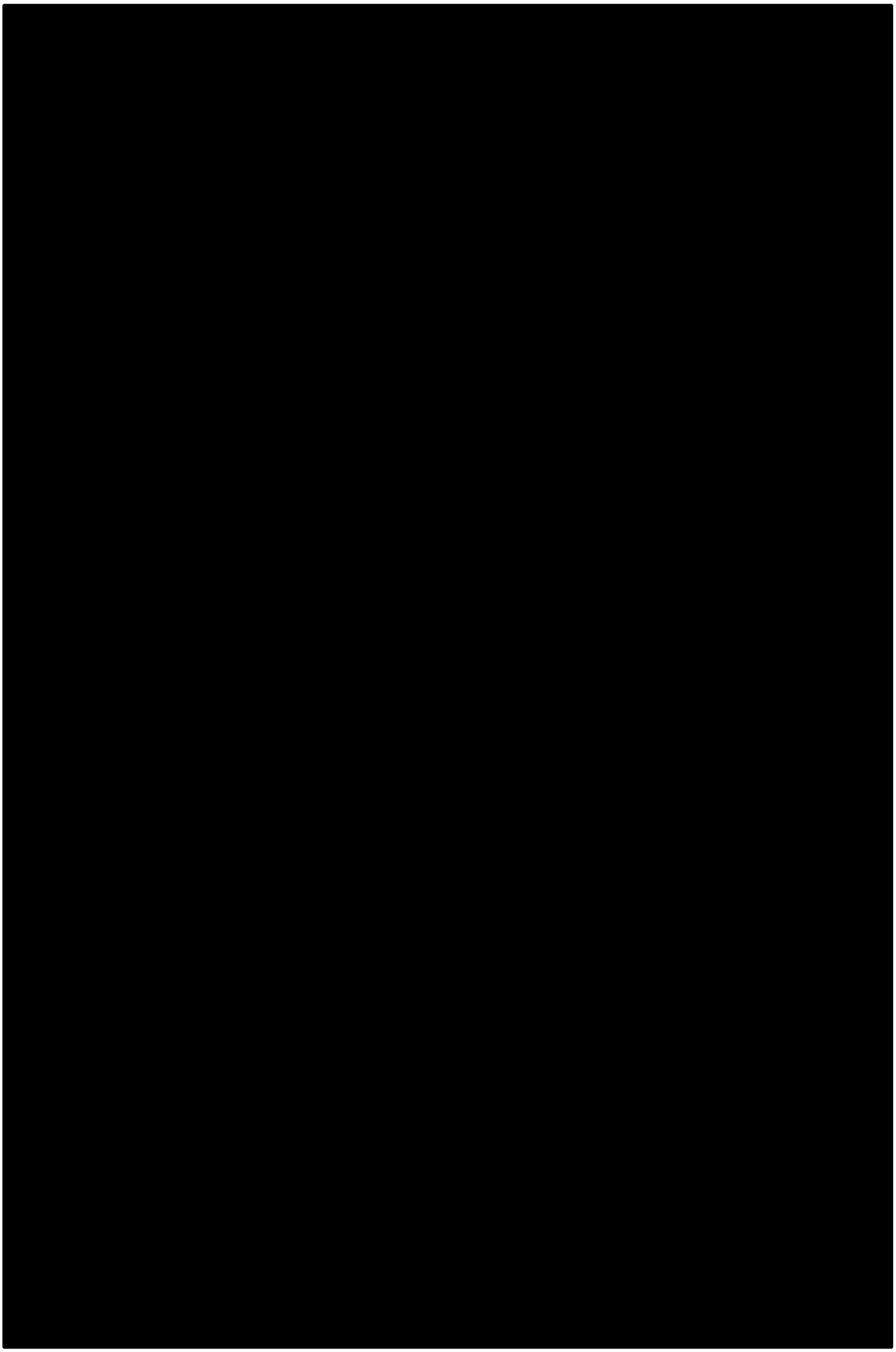


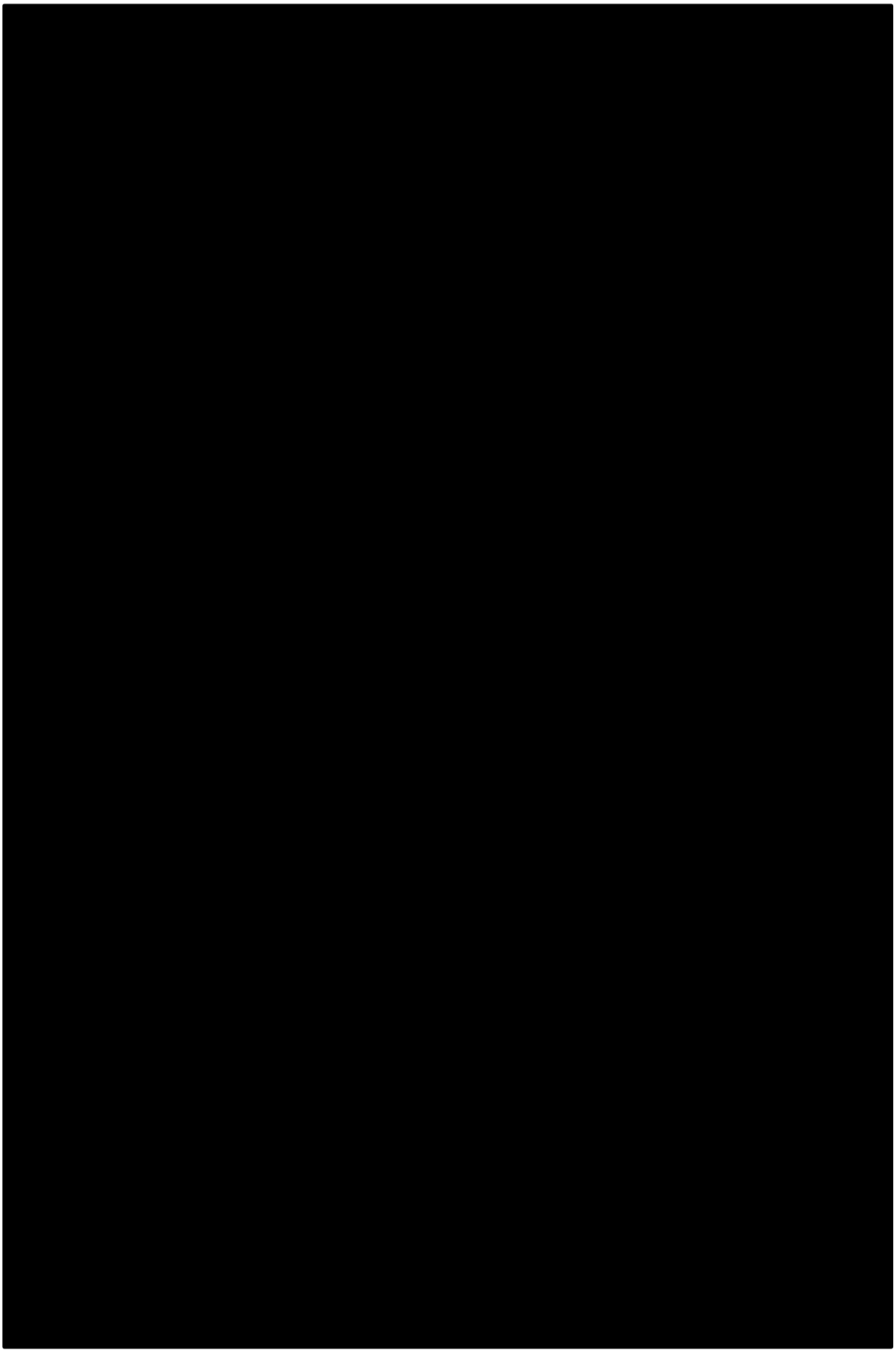


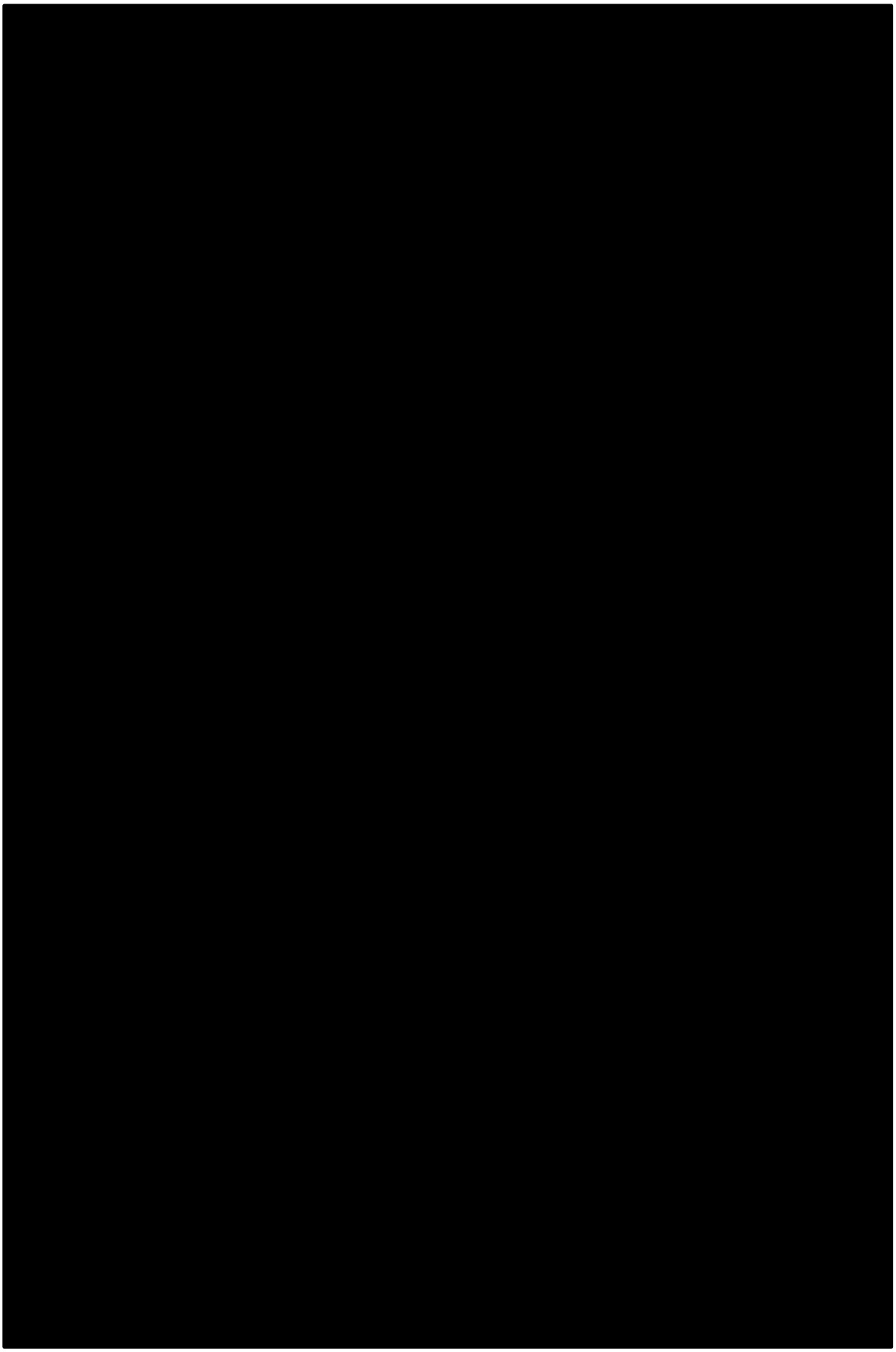


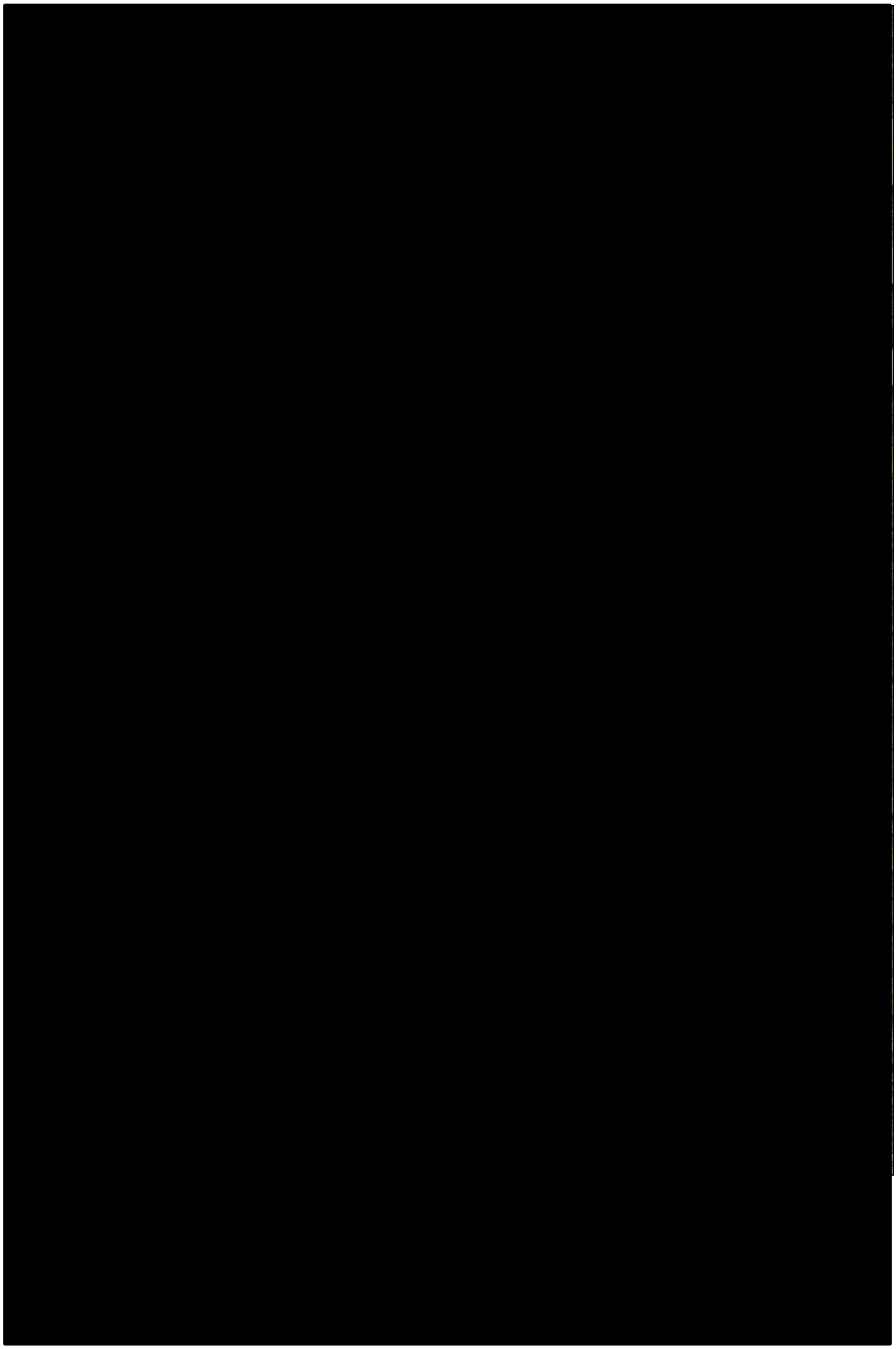


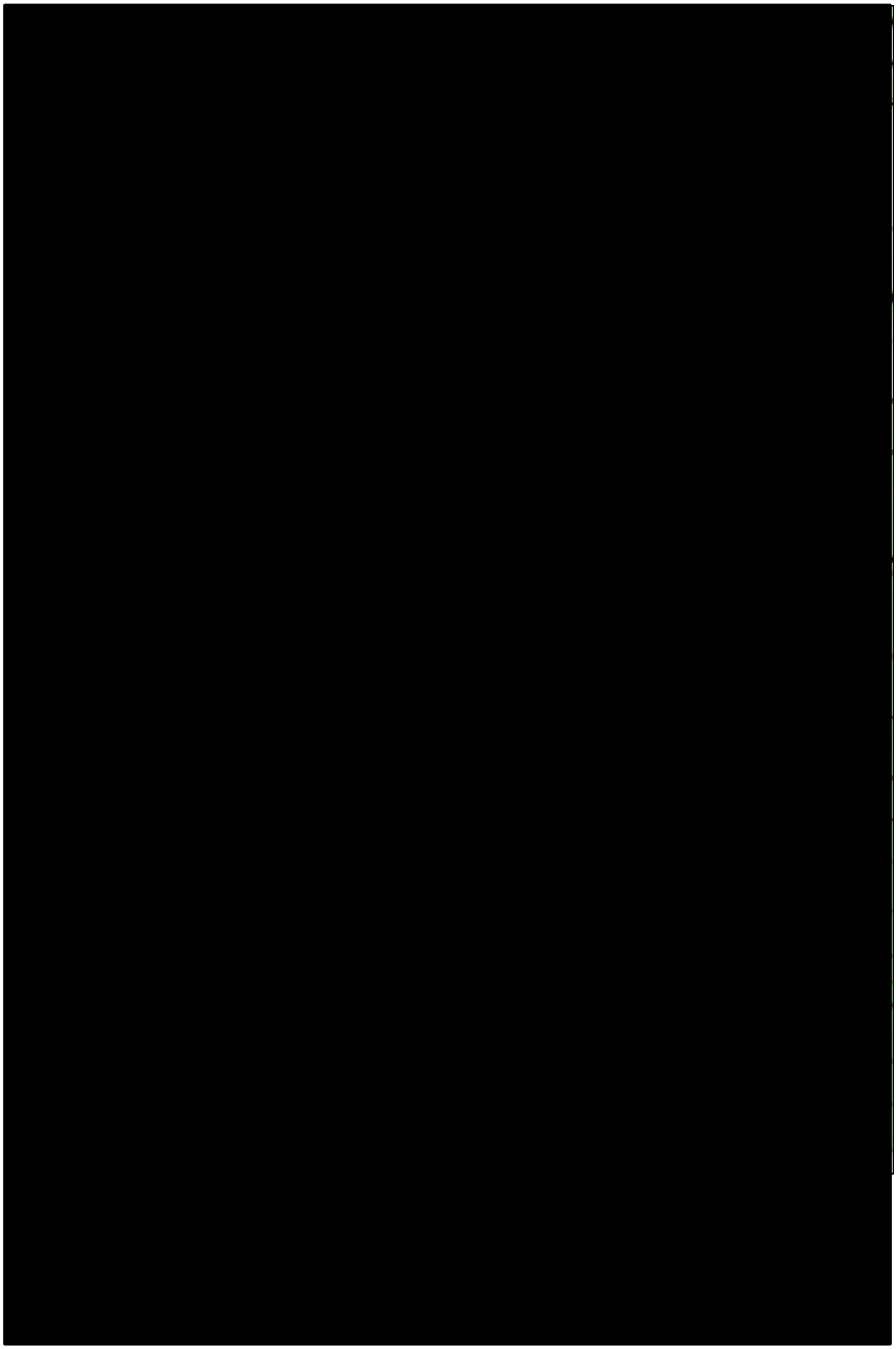


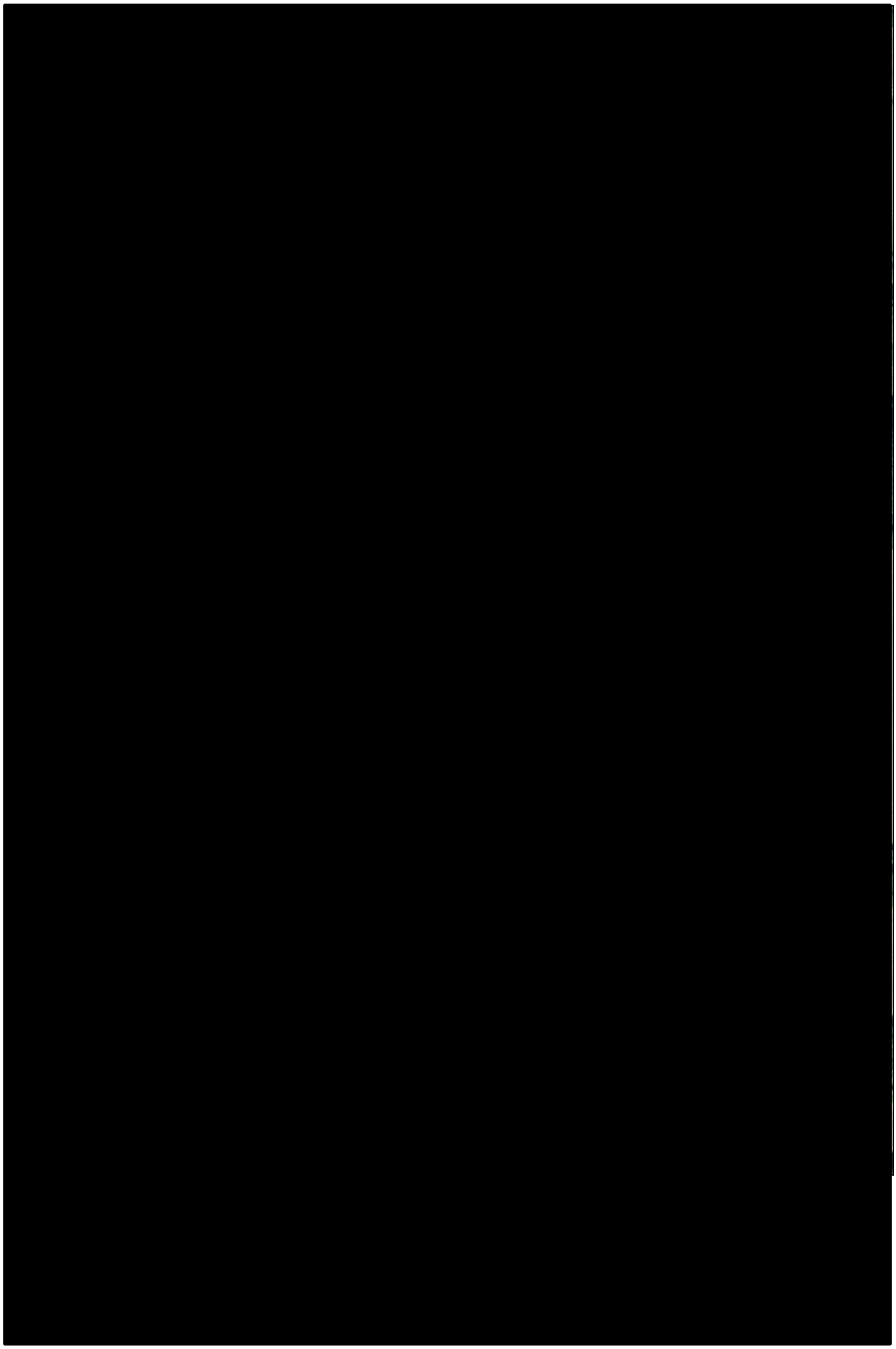


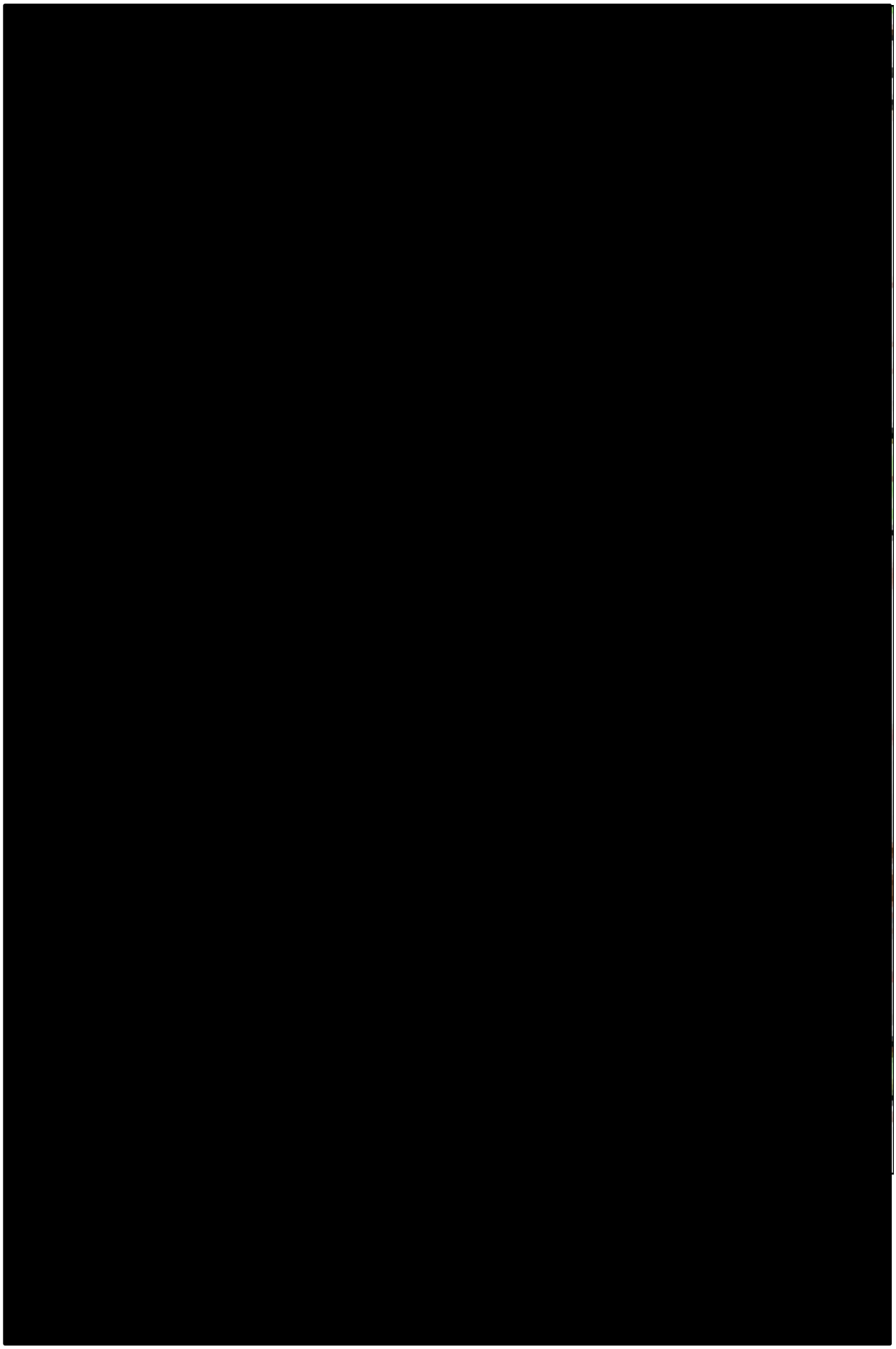


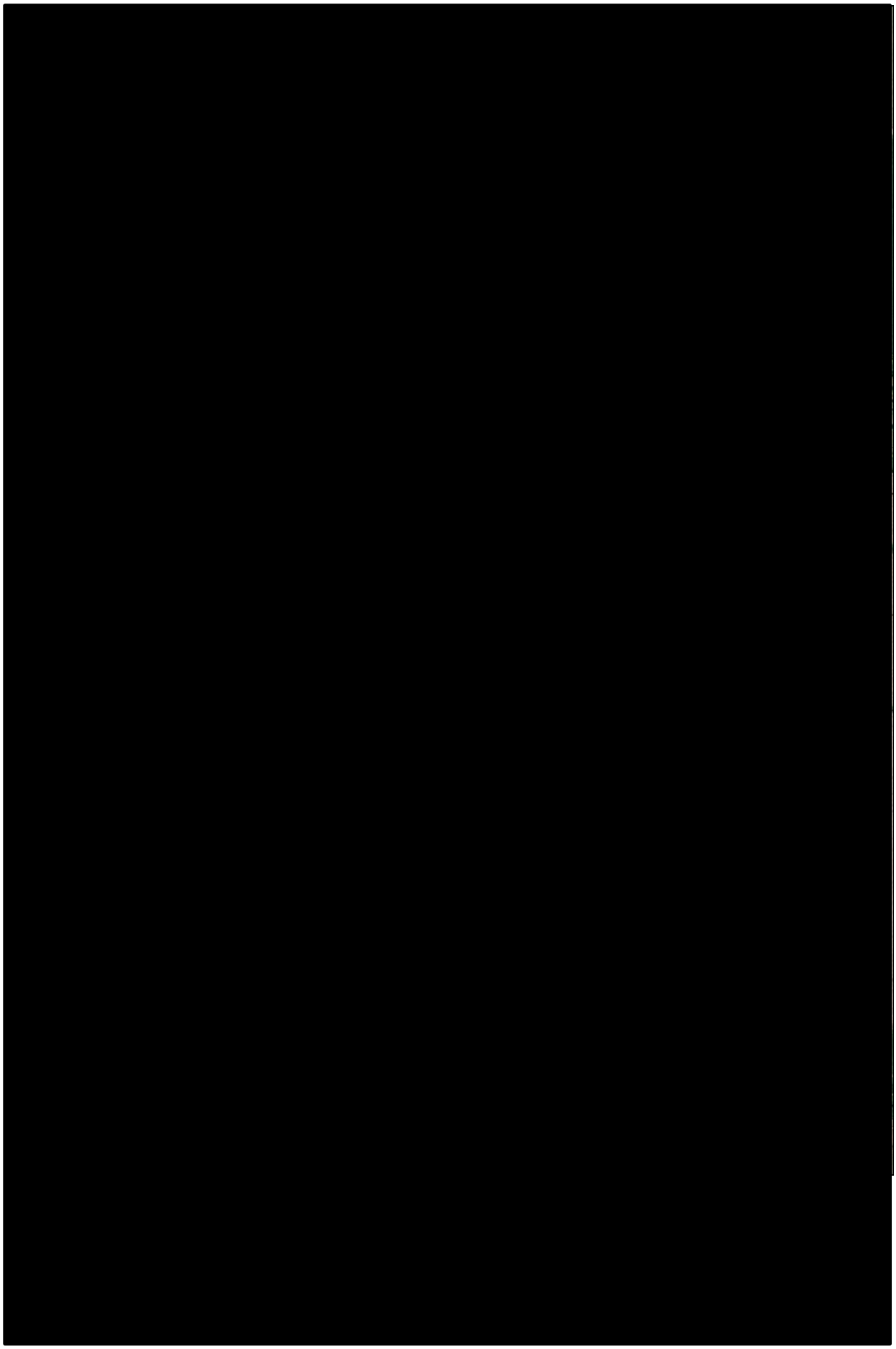


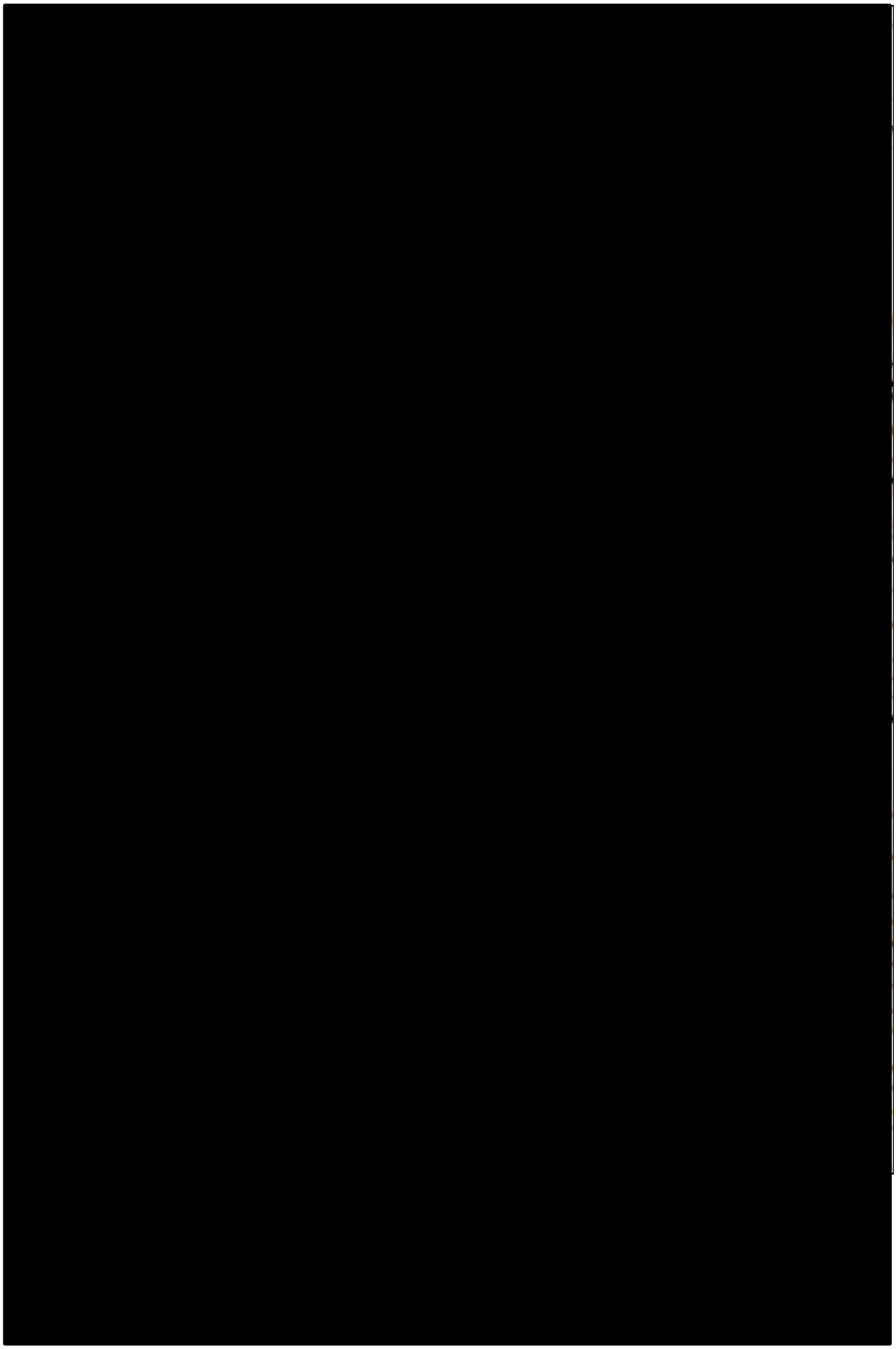


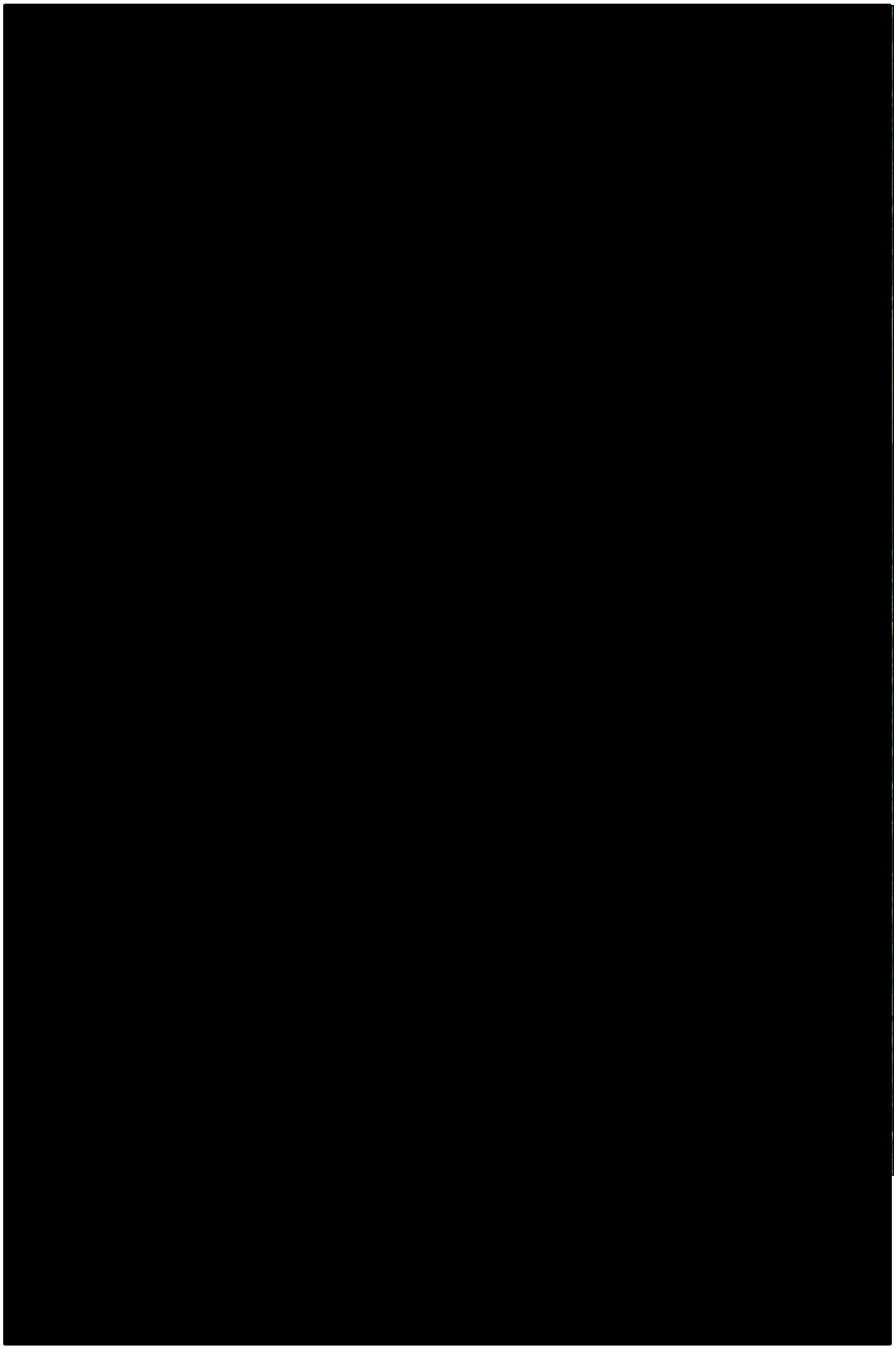


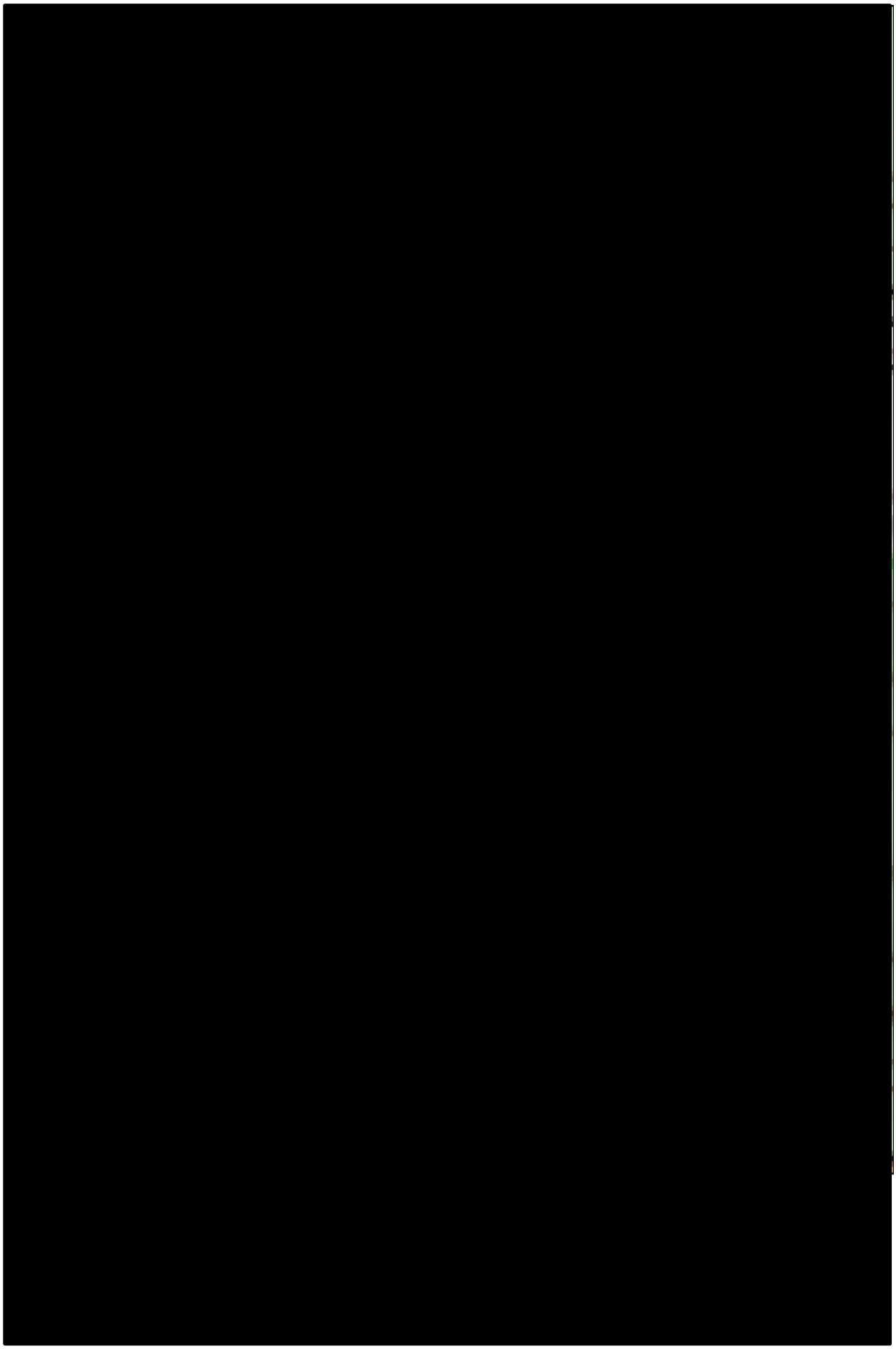


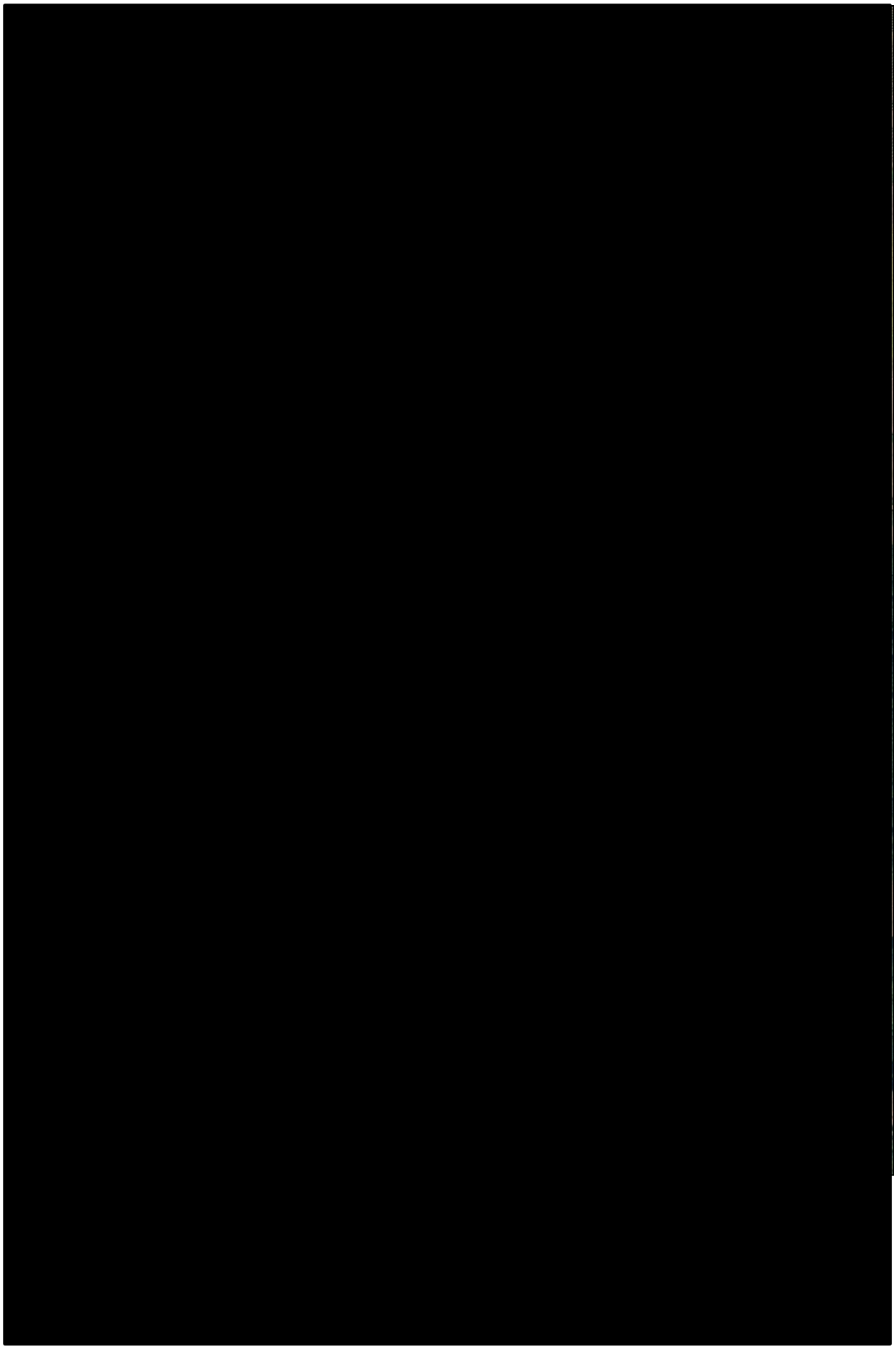


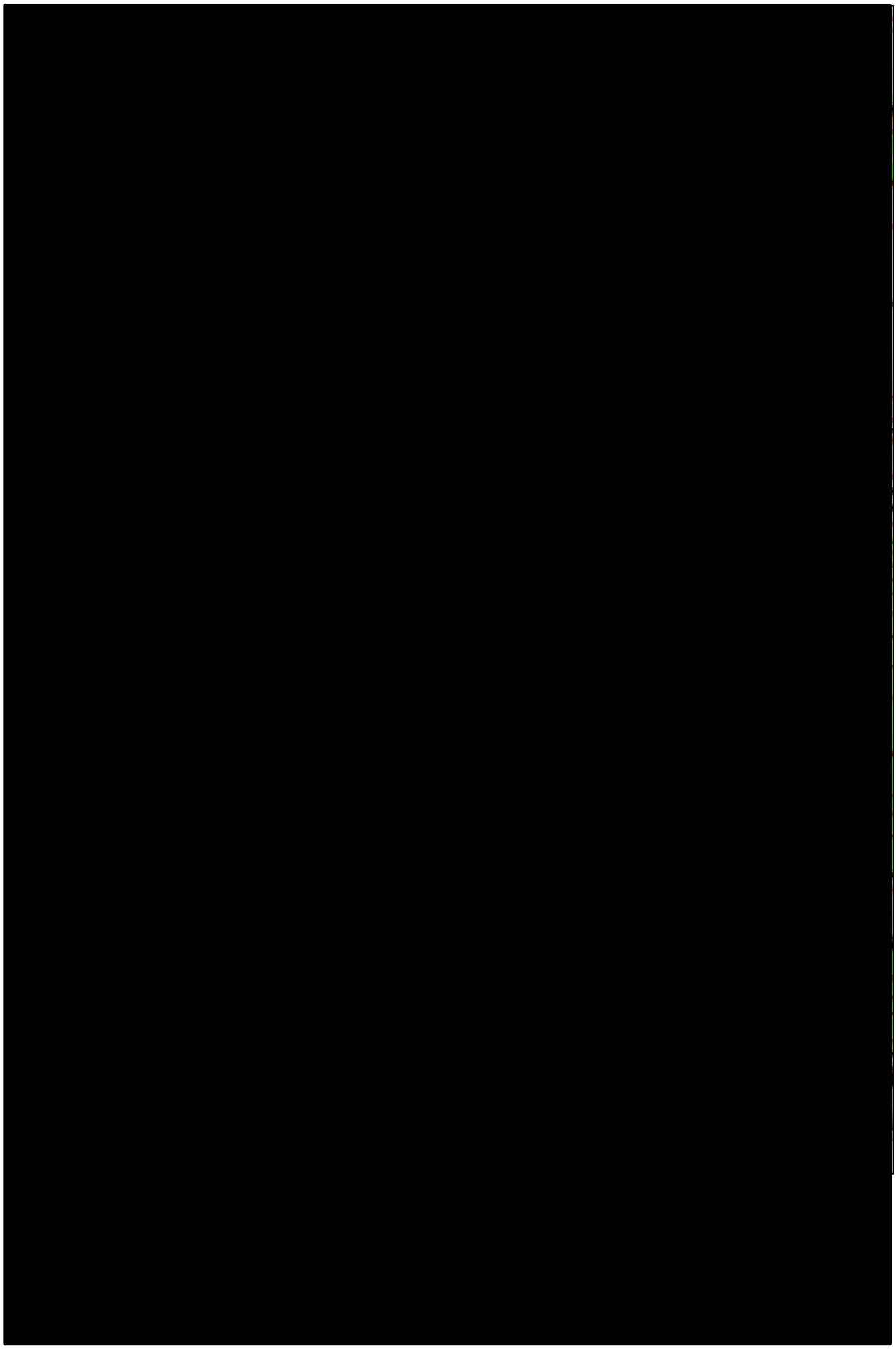


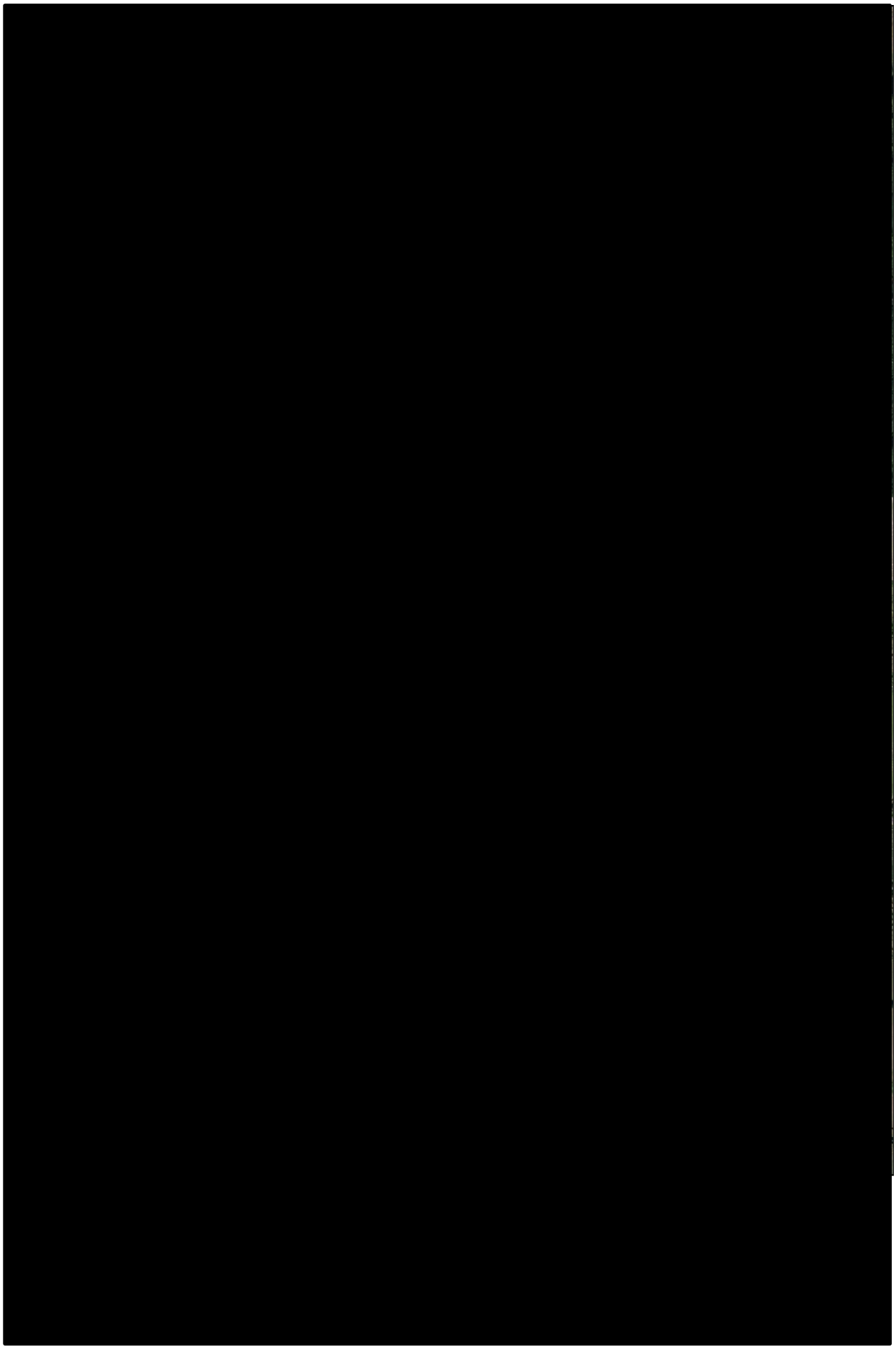


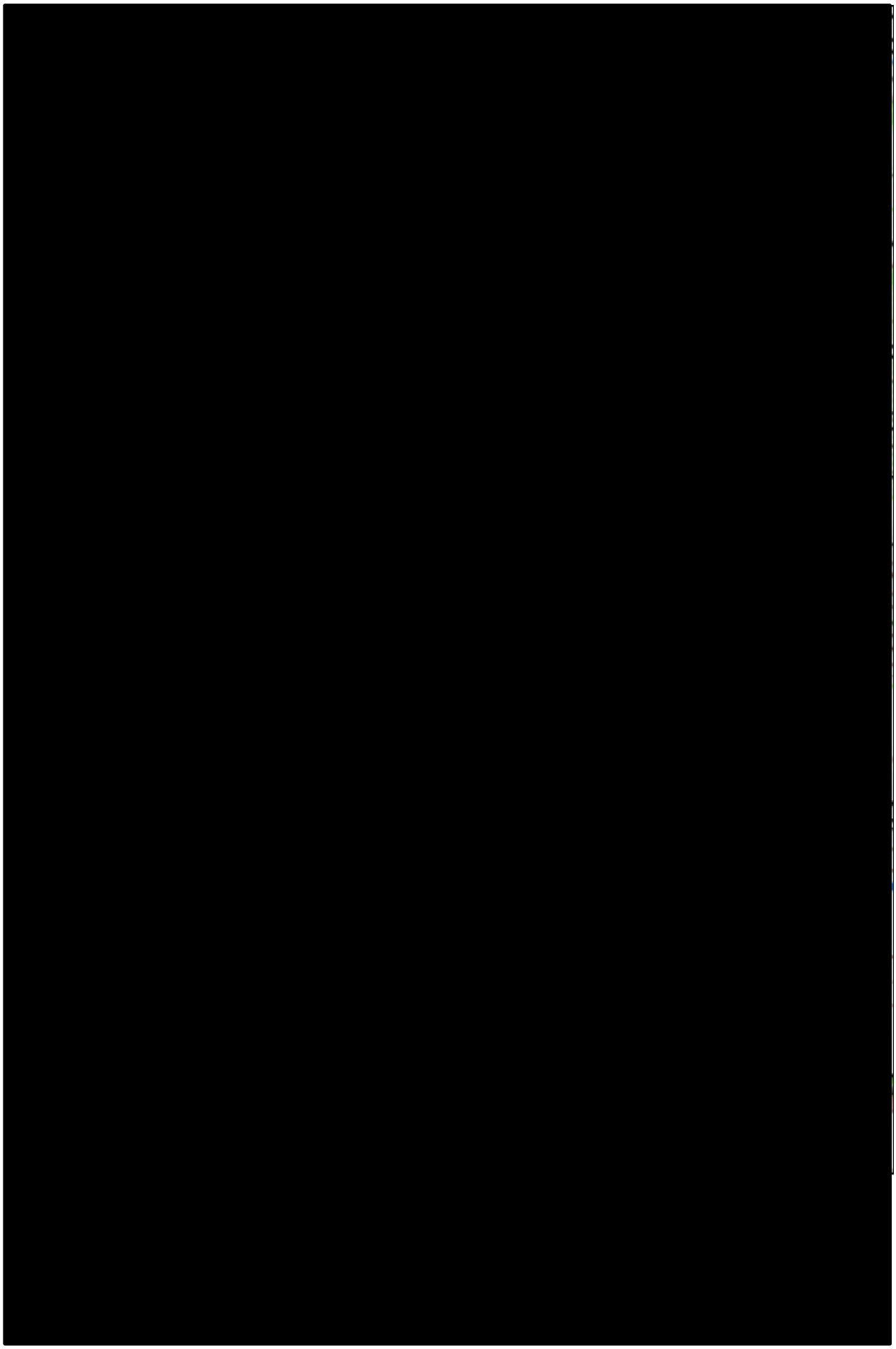


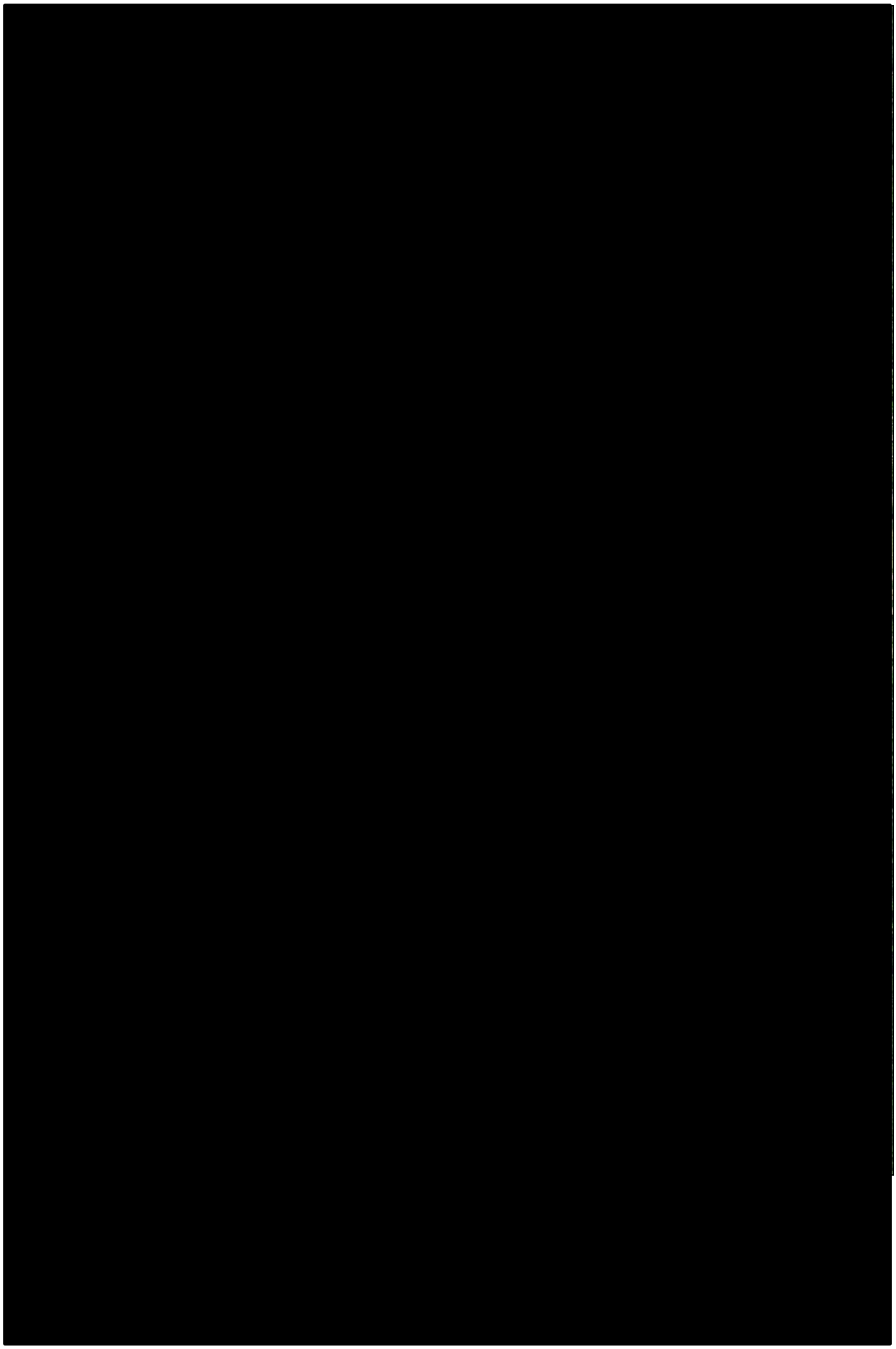


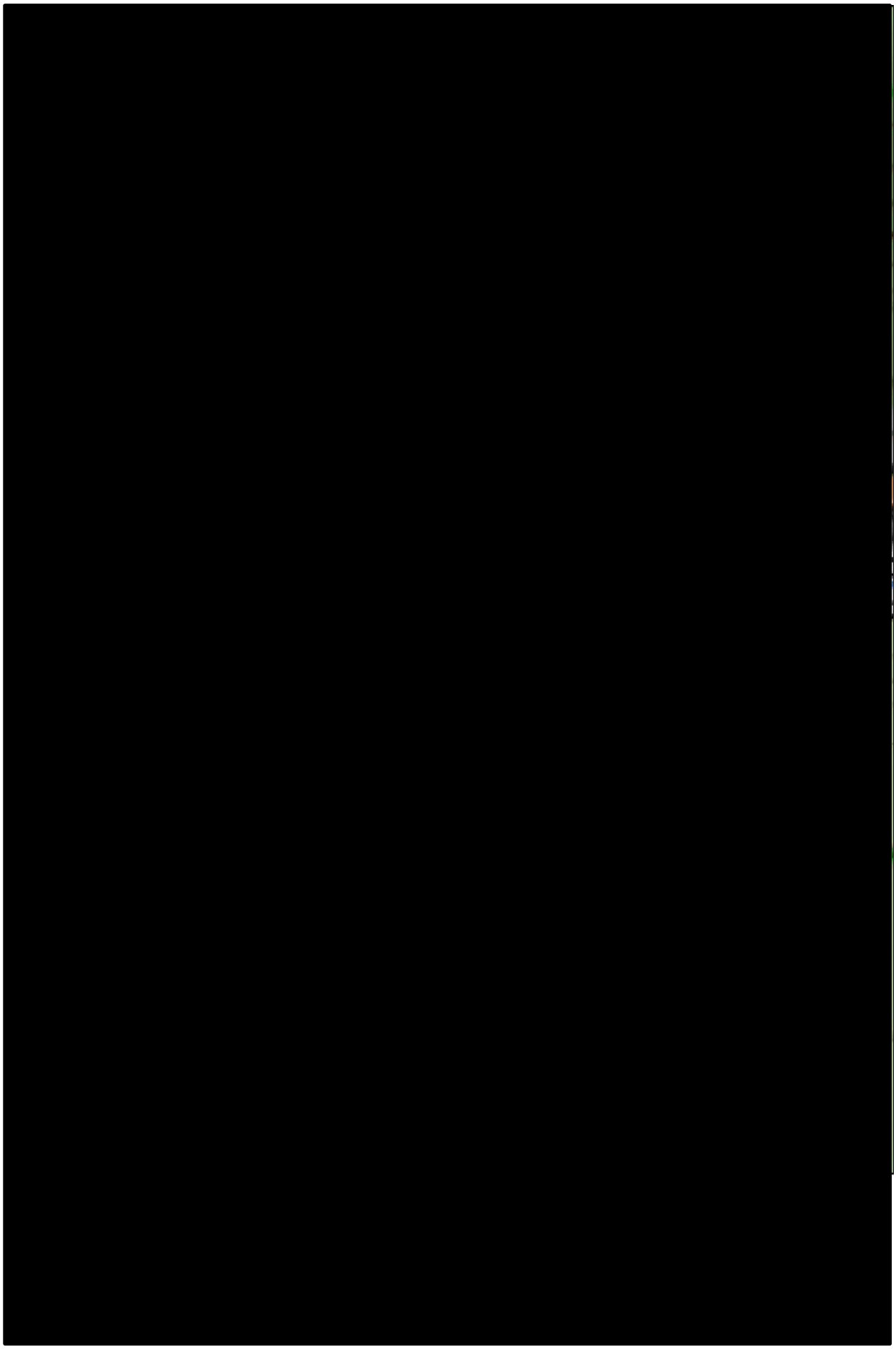


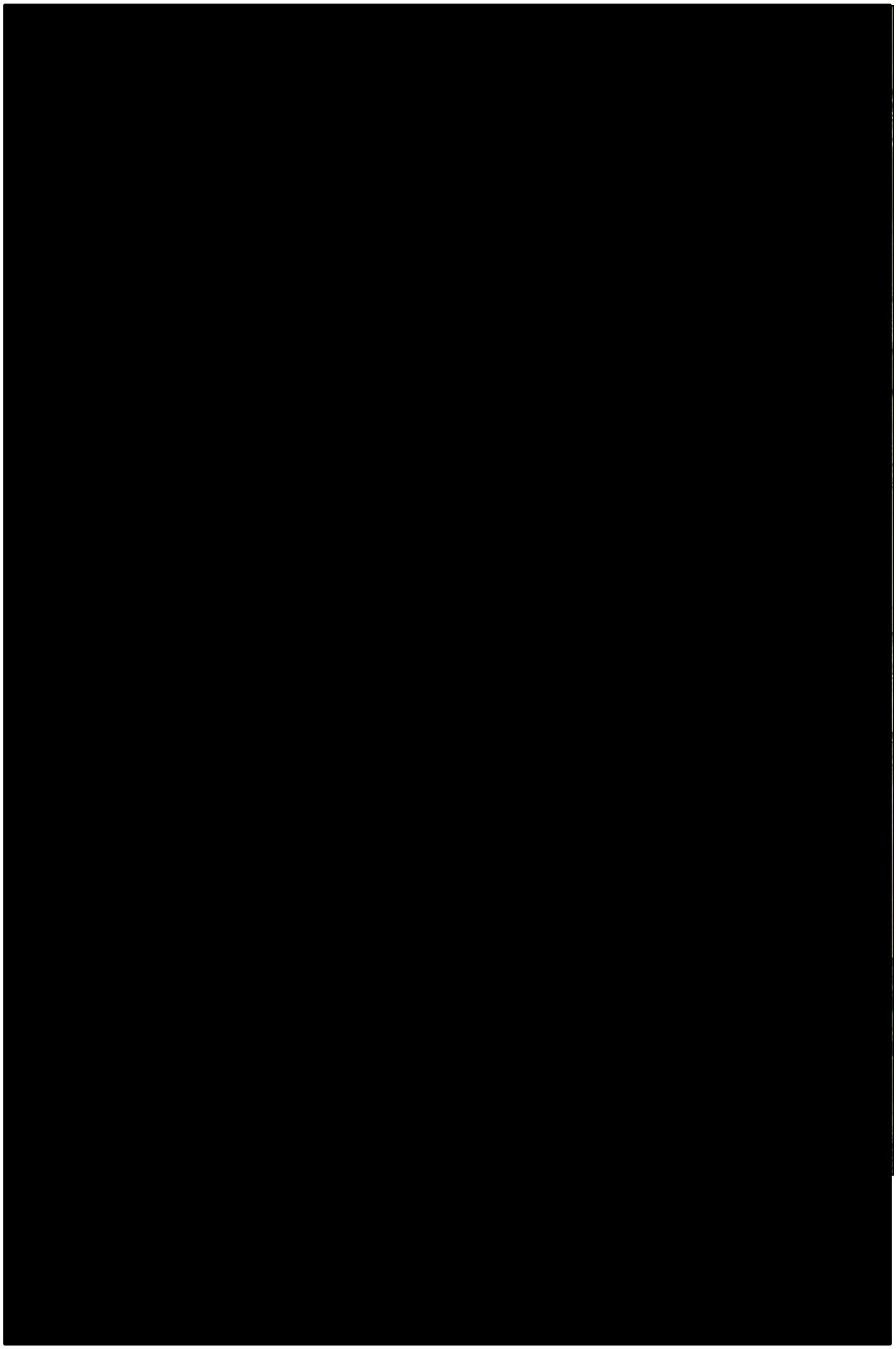


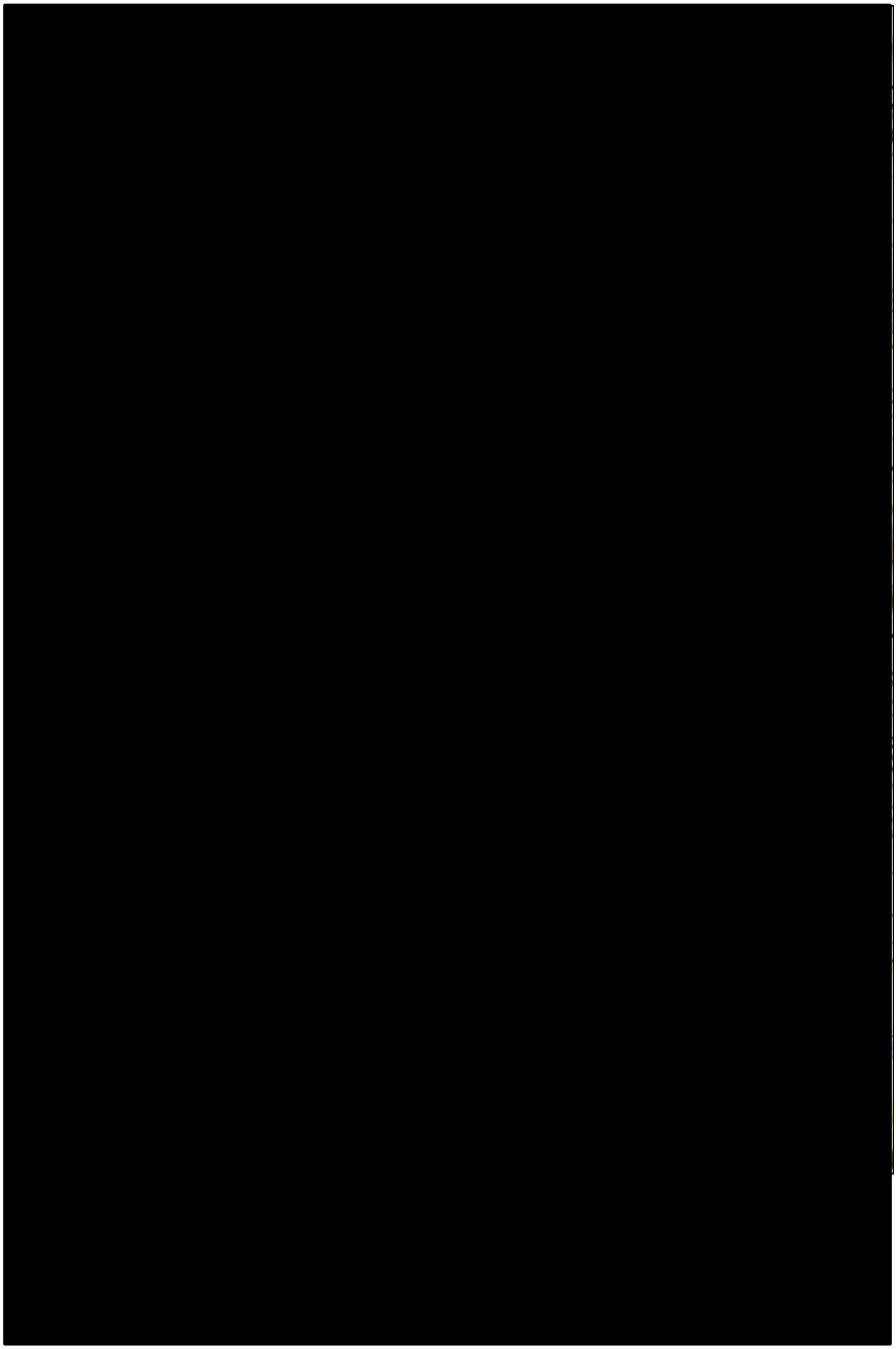


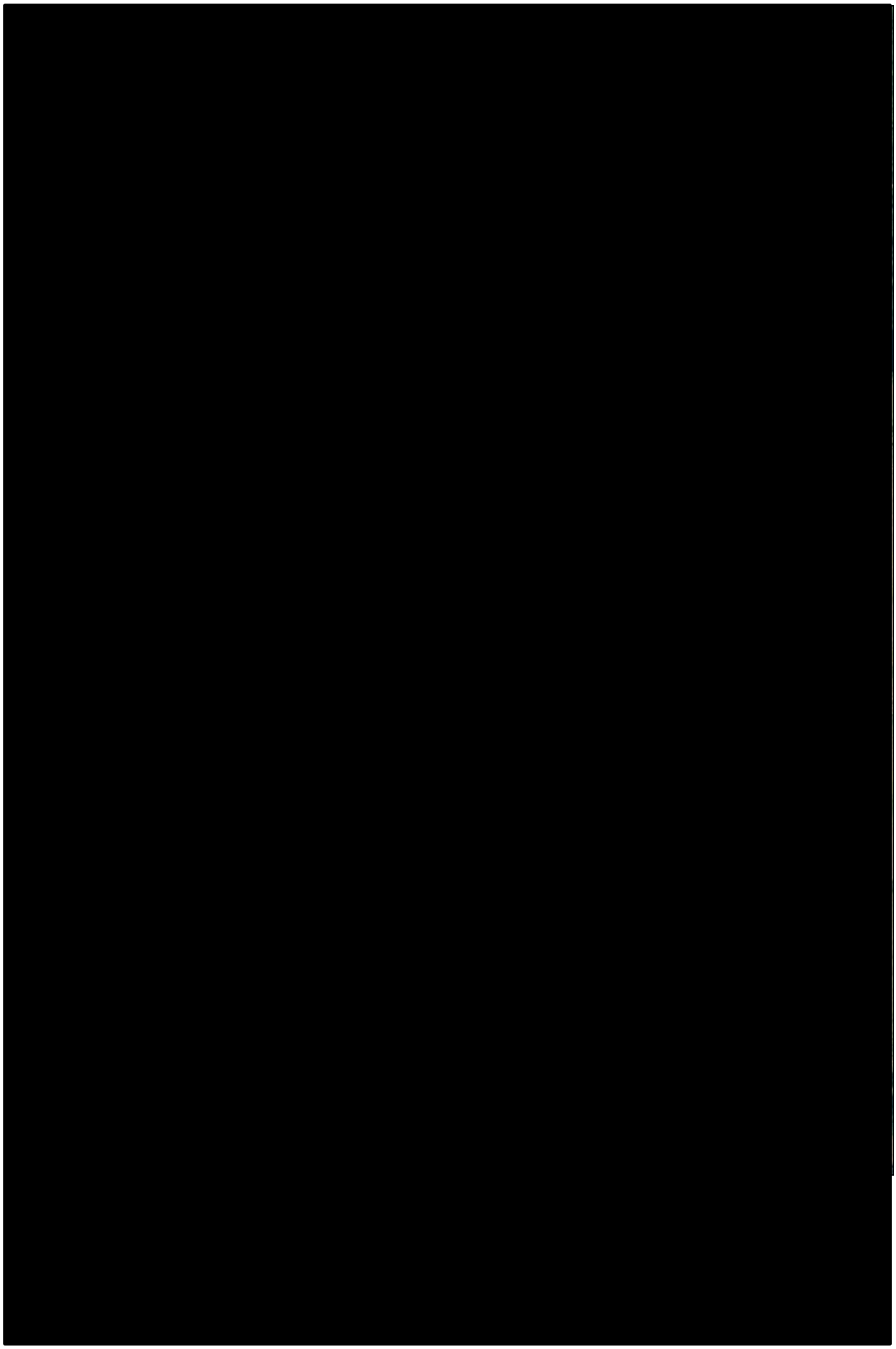


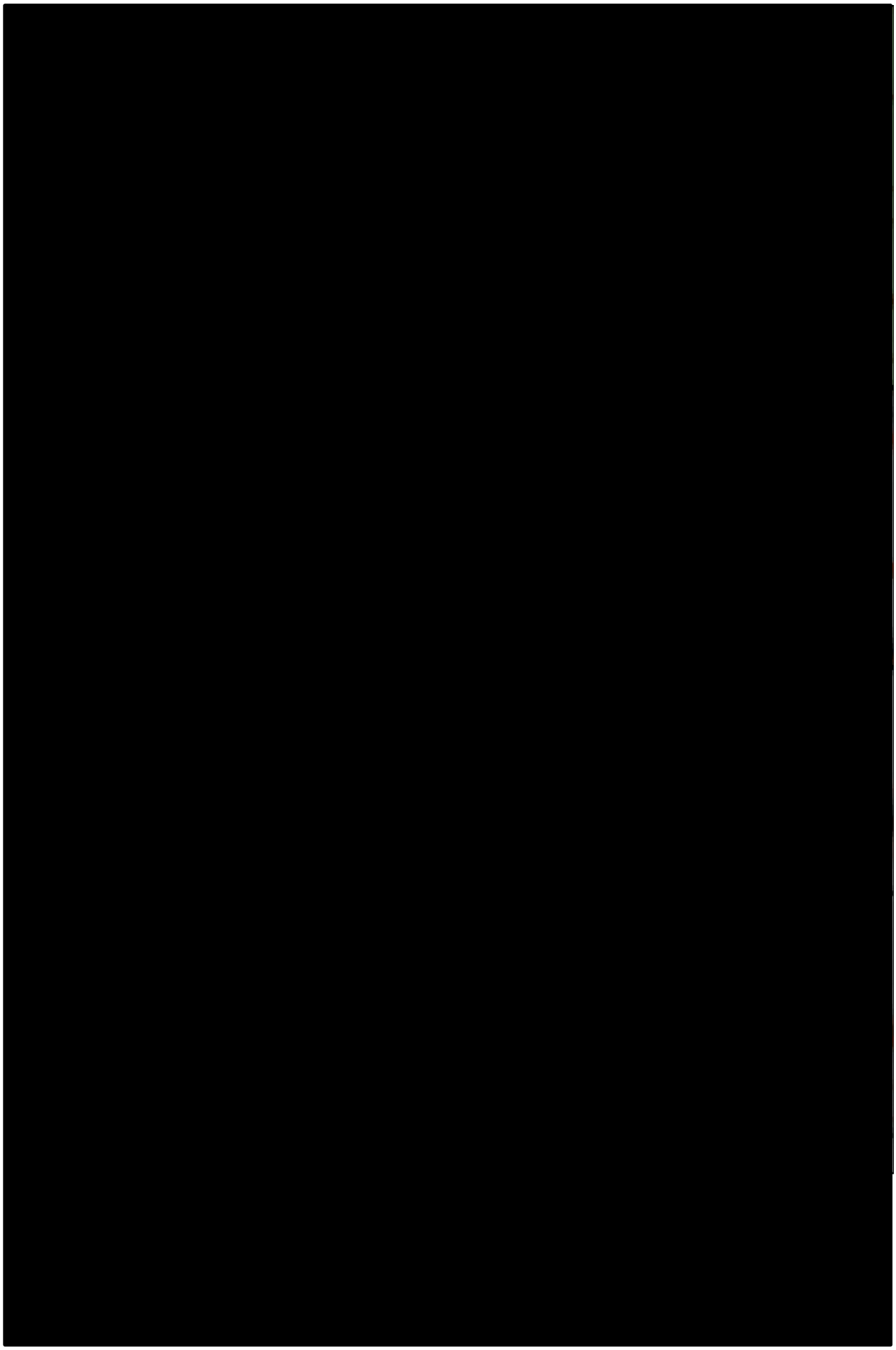




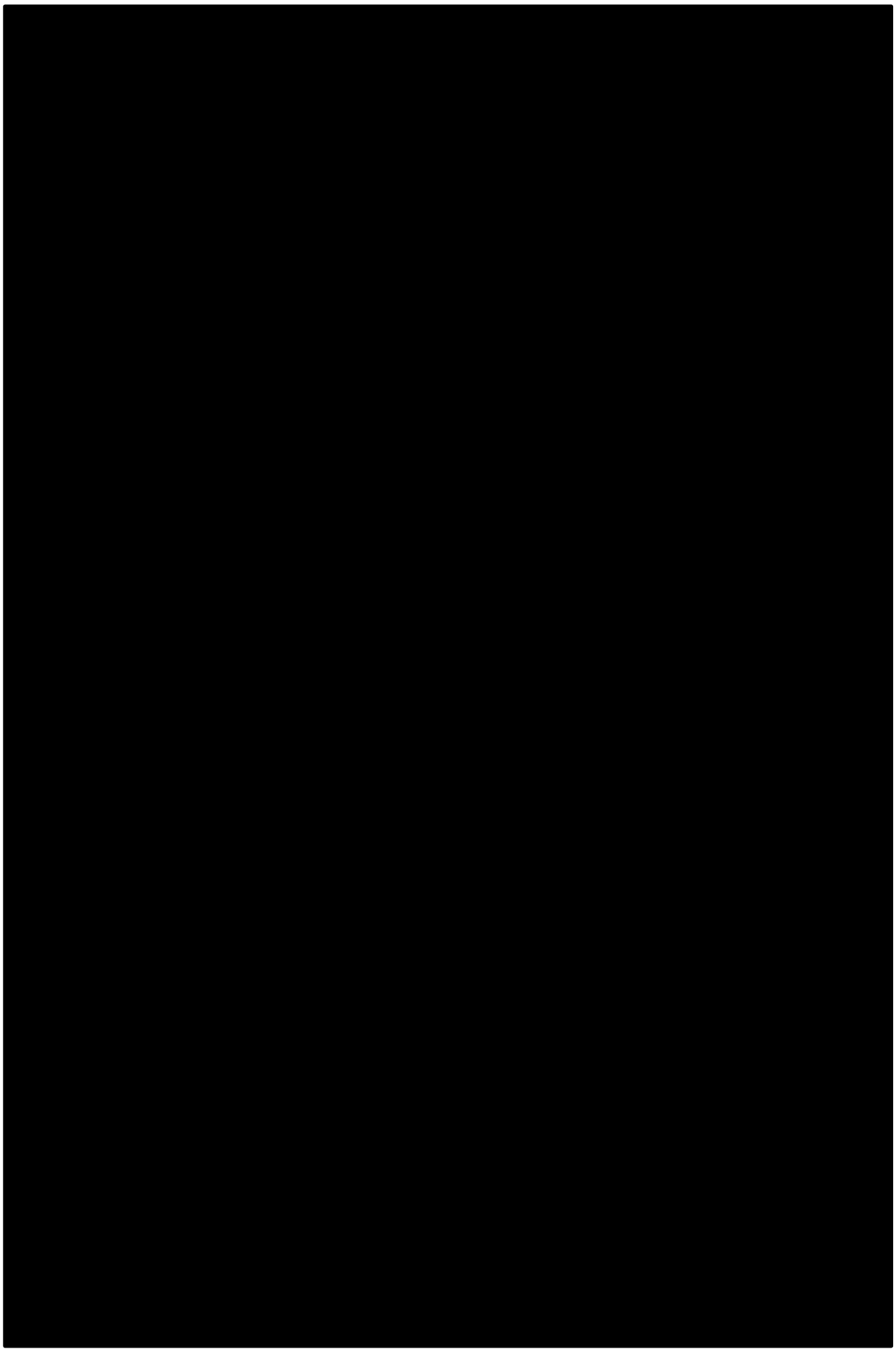


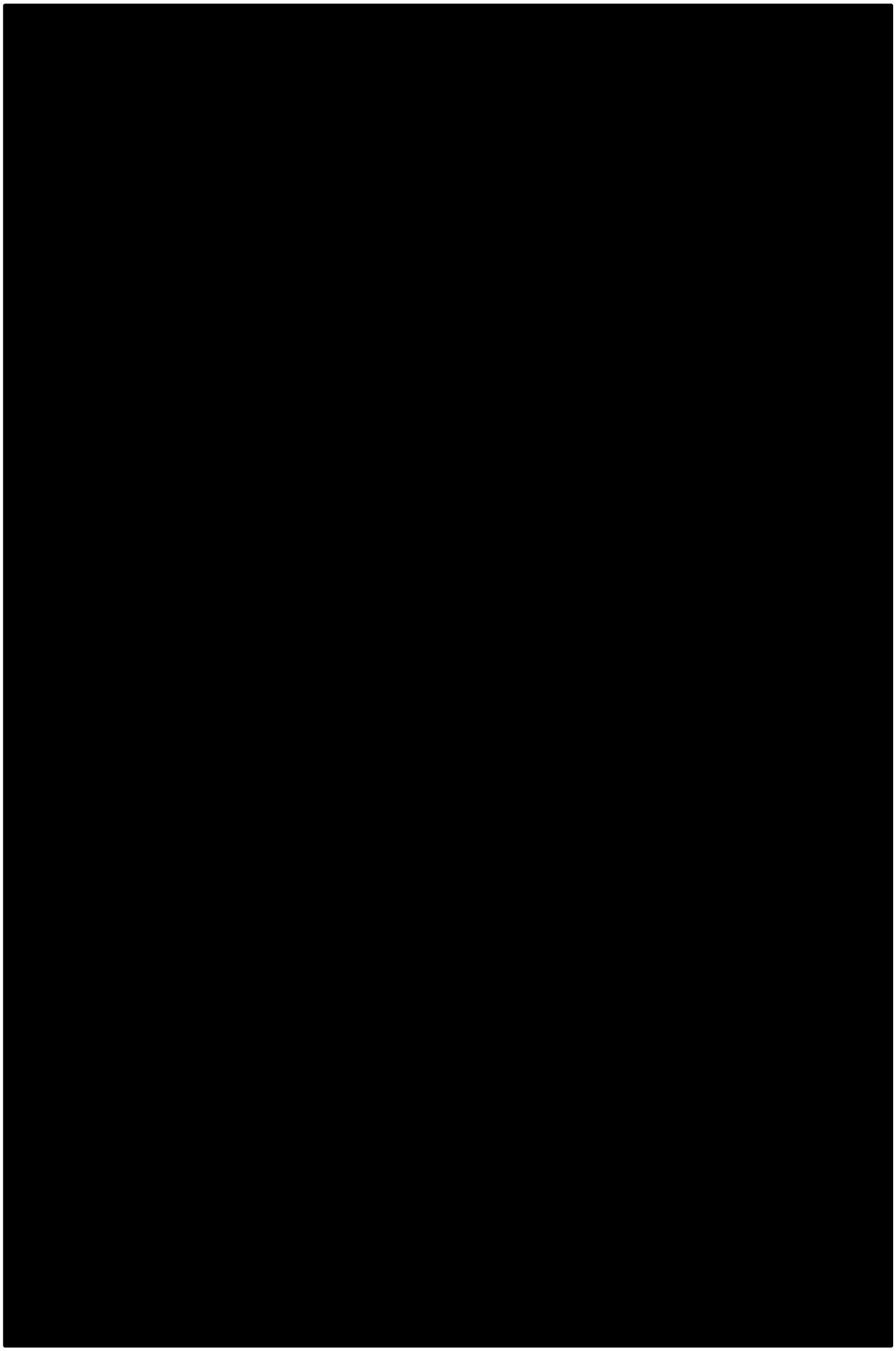


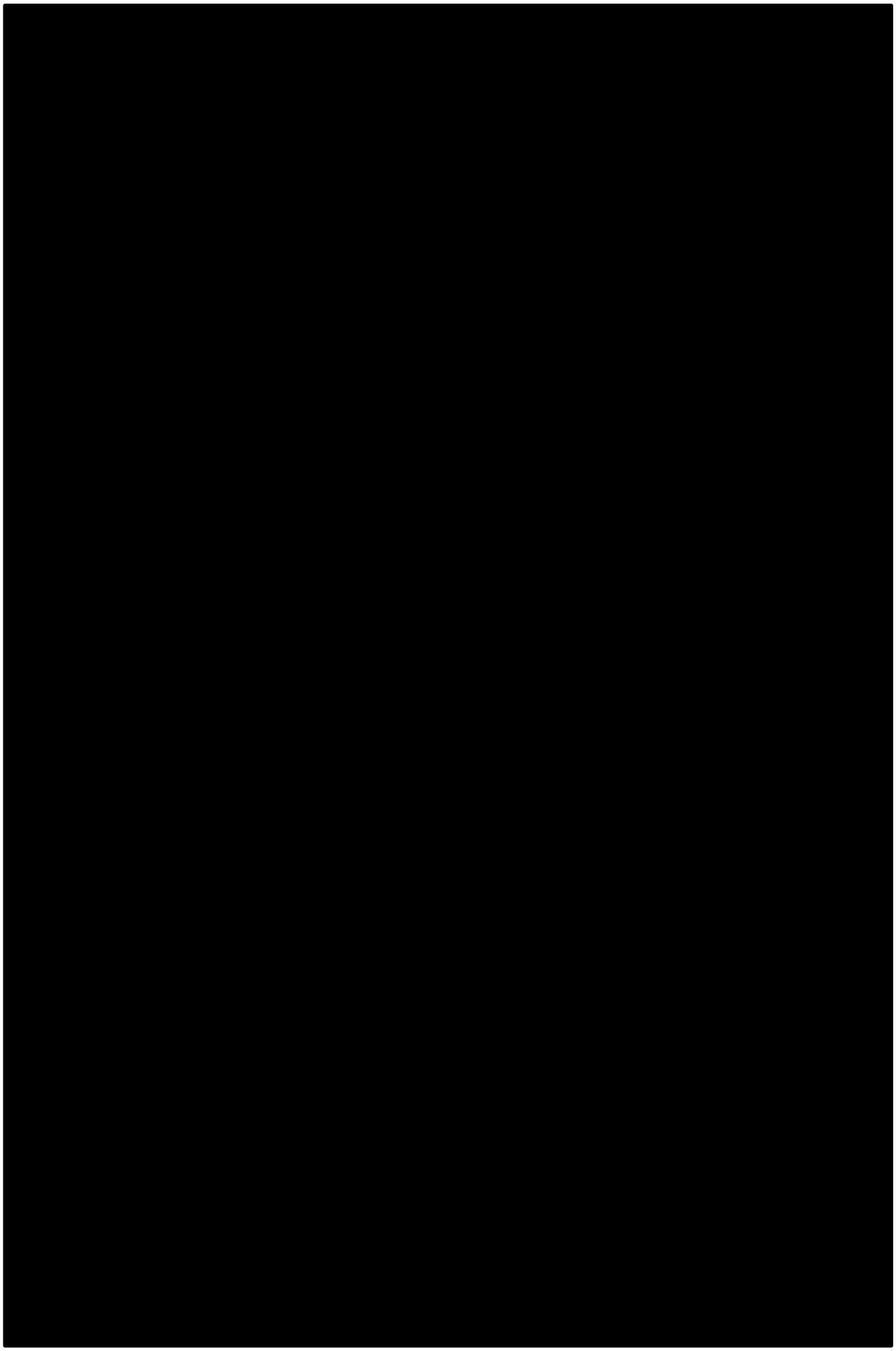


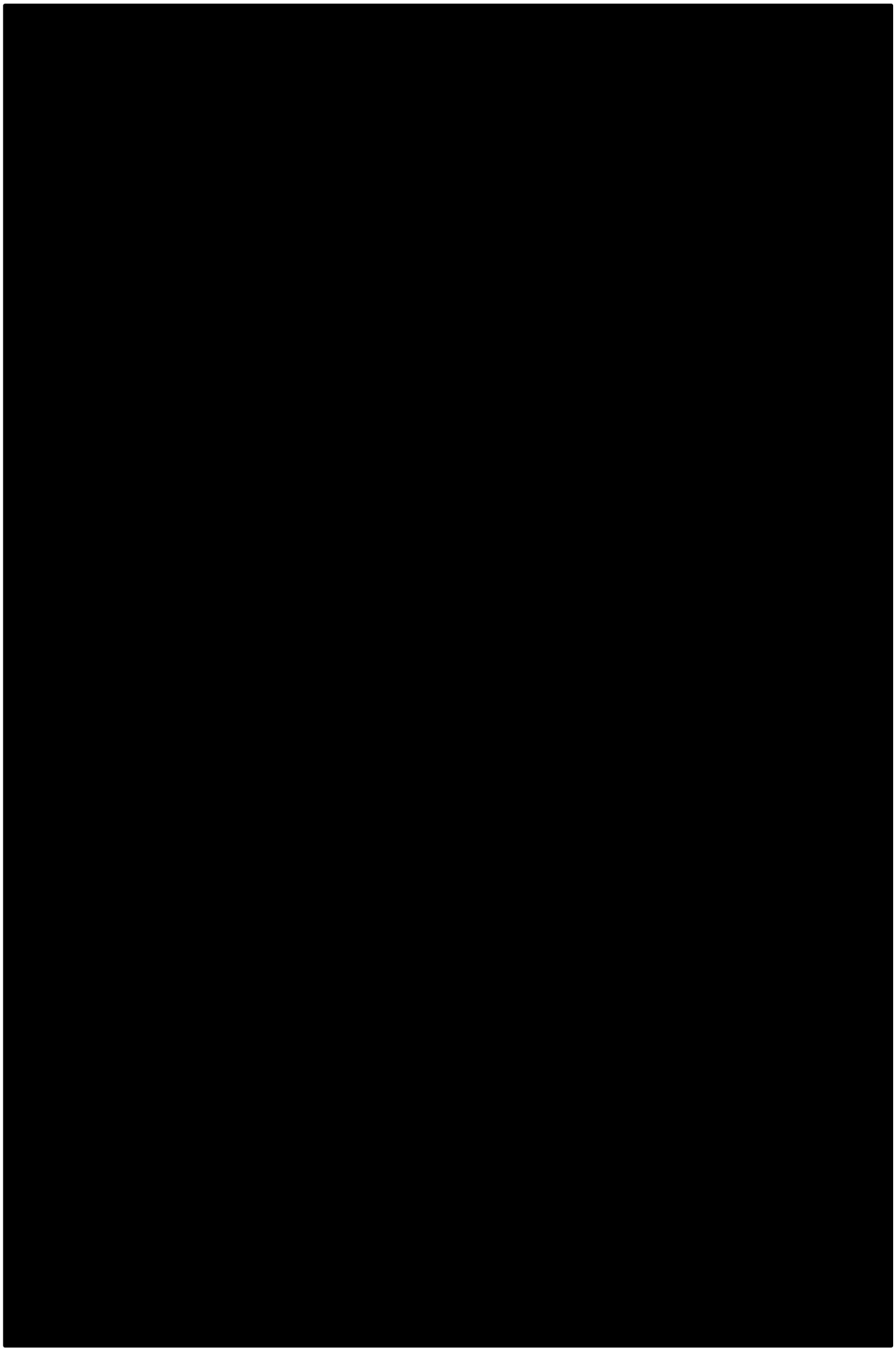


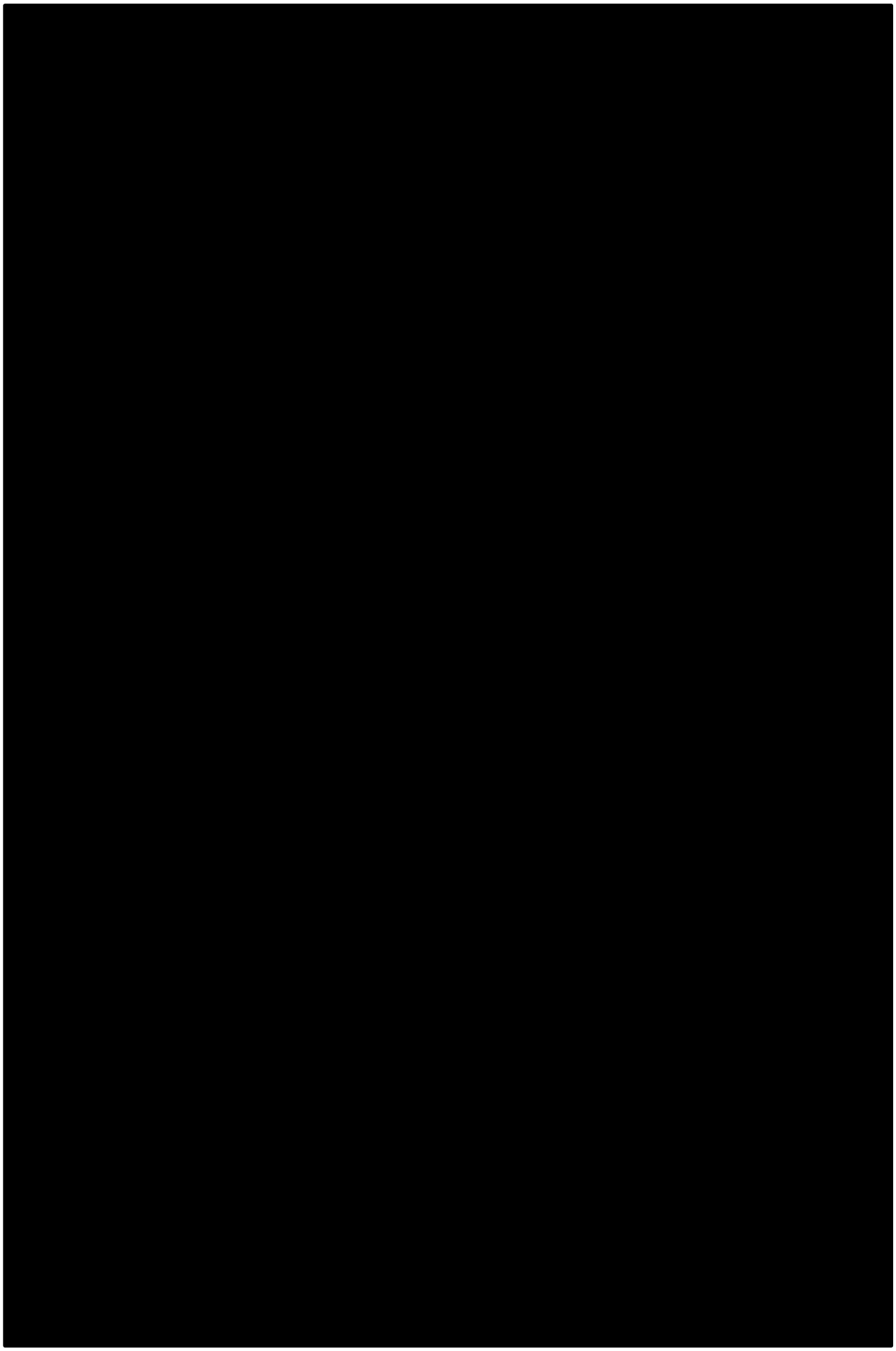
Annexe 16. Cartes de situation des quadrats de landes humides

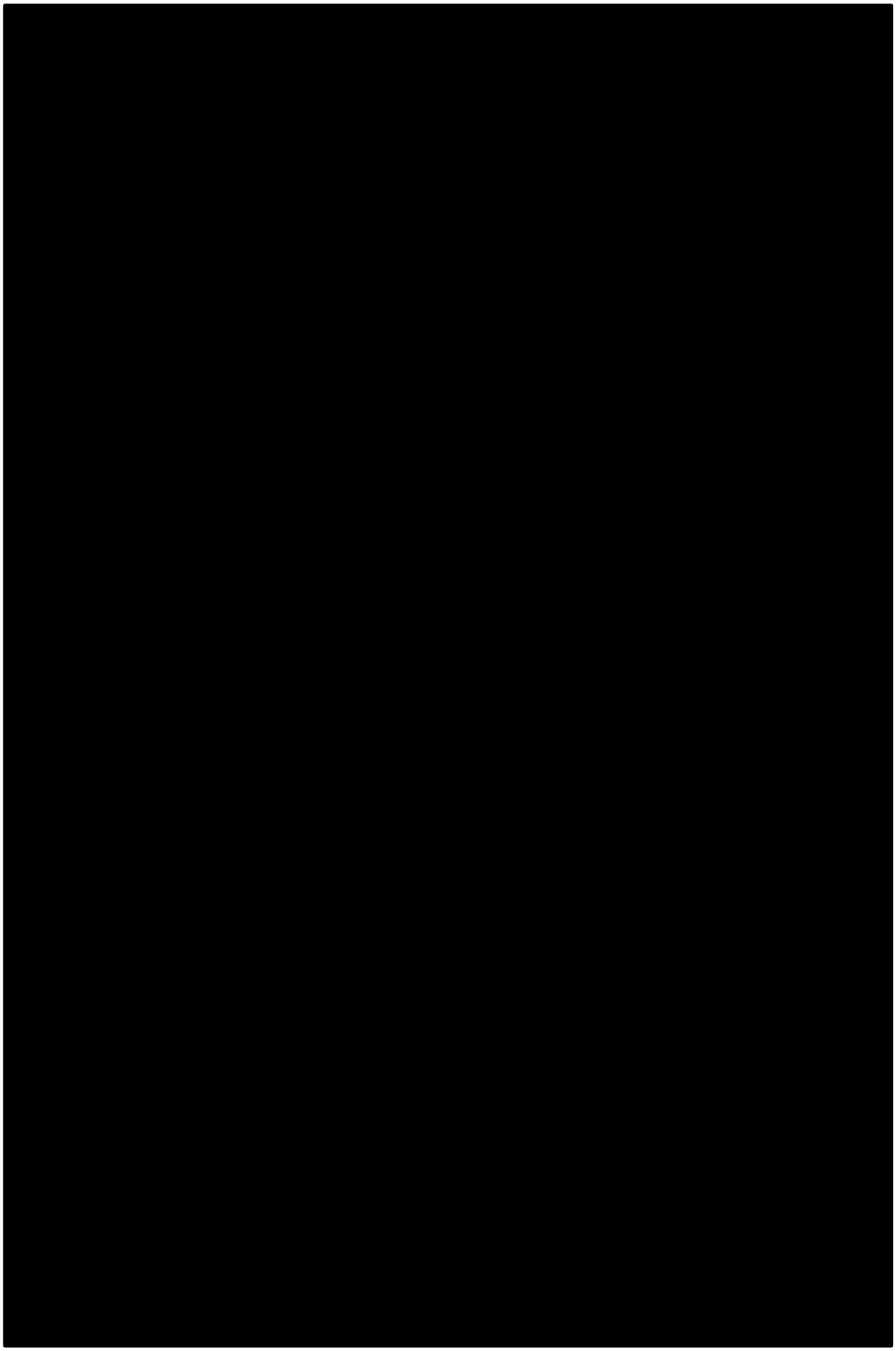




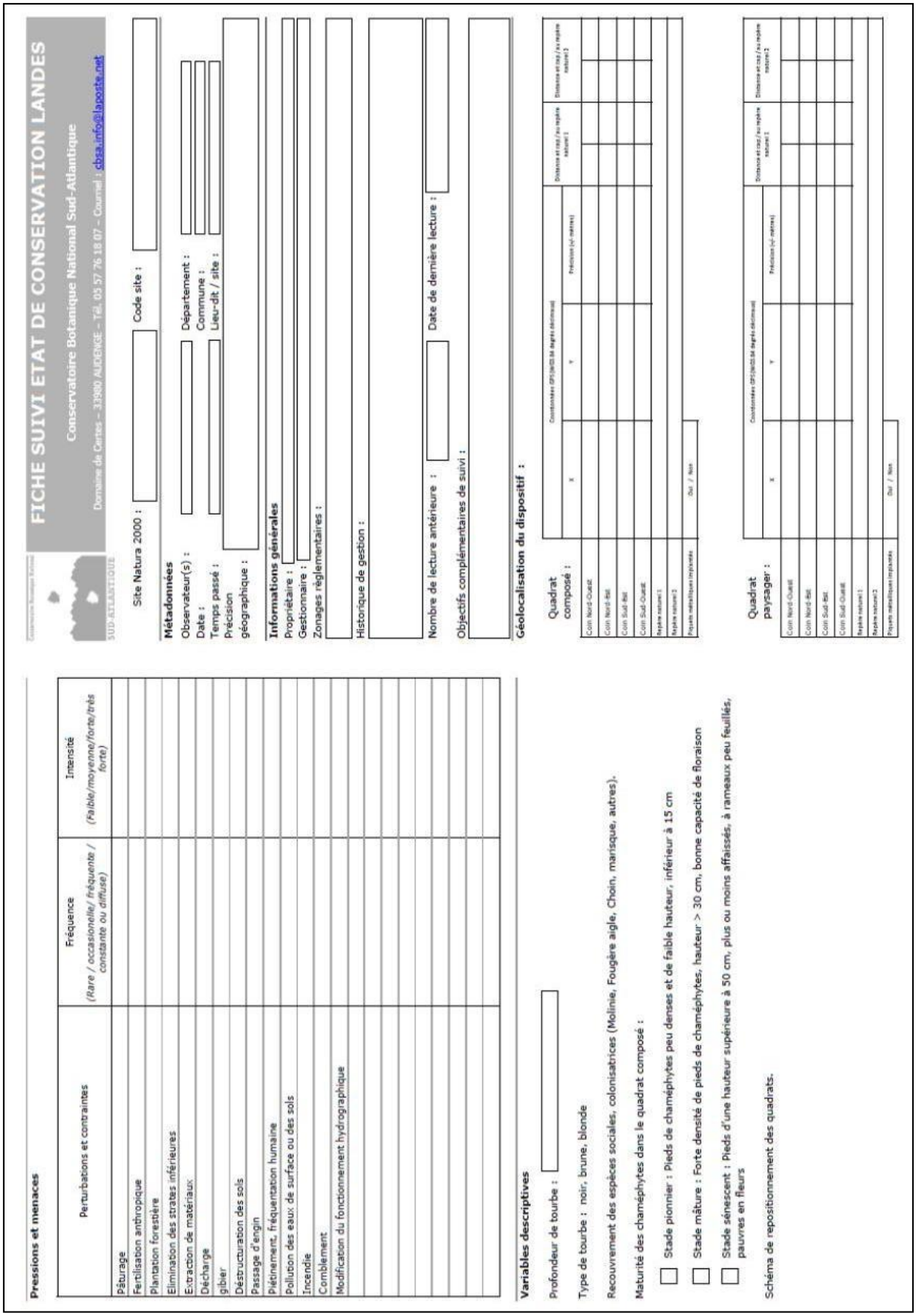








Annexe 17. Fiche de relevé pour les quadrats de fréquence de landes humides (recto et verso)



FICHE SUIVI ETAT DE CONSERVATION LANDES

Conservatoire Botanique National Sud-Atlantique

Domaine de Certes – 33980 AUDENGE – Tél. 05 57 76 18 07 – Courriel : cbsa.info@laposte.net

SUD-ATLANTIQUE

Site Natura 2000 : Code site :

Métadonnées

Observateur(s) : Département :

Date : Commune :

Temps passé : Lieu-dit / site :

Précision géographique :

Informations générales

Propriétaire :

Gestionnaire :

Zonages réglementaires :

Historique de gestion :

Nombre de lecture antérieure : Date de dernière lecture :

Objectifs complémentaires de suivi :

Géolocalisation du dispositif :

Quadrat composé : Coordonnées GPS (WGS 84 degrés décimaux) — X, Y, Précision (+/- mètres), Distance et cap / au repère naturel 1, Distance et cap / au repère naturel 2

Coin Nord-Ouest

Coin Nord-Est

Coin Sud-Est

Coin Sud-Ouest

Repère naturel 1

Repère naturel 2

Piquets métalliques implantés : Oui / Non

Quadrat paysager : Coordonnées GPS (WGS 84 degrés décimaux) — X, Y, Précision (+/- mètres), Distance et cap / au repère naturel 1, Distance et cap / au repère naturel 2

Coin Nord-Ouest

Coin Nord-Est

Coin Sud-Est

Coin Sud-Ouest

Repère naturel 1

Repère naturel 2

Piquets métalliques implantés : Oui / Non

Pressions et menaces

Perturbations et contraintes	Fréquence (Rare / occasionelle/ fréquente / constante ou diffuse)	Intensité (Faible/moyenne/forte/très forte)
Pâturage		
Fertilisation anthropique		
Plantation forestière		
Elimination des strates inférieures		
Extraction de matériaux		
Décharge		
gibier		
Déstructuration des sols		
Passage d'engin		
Piétinement, fréquentation humaine		
Pollution des eaux de surface ou des sols		
Incendie		
Comblement		
Modification du fonctionnement hydrographique		

Variables descriptives

Profondeur de tourbe :

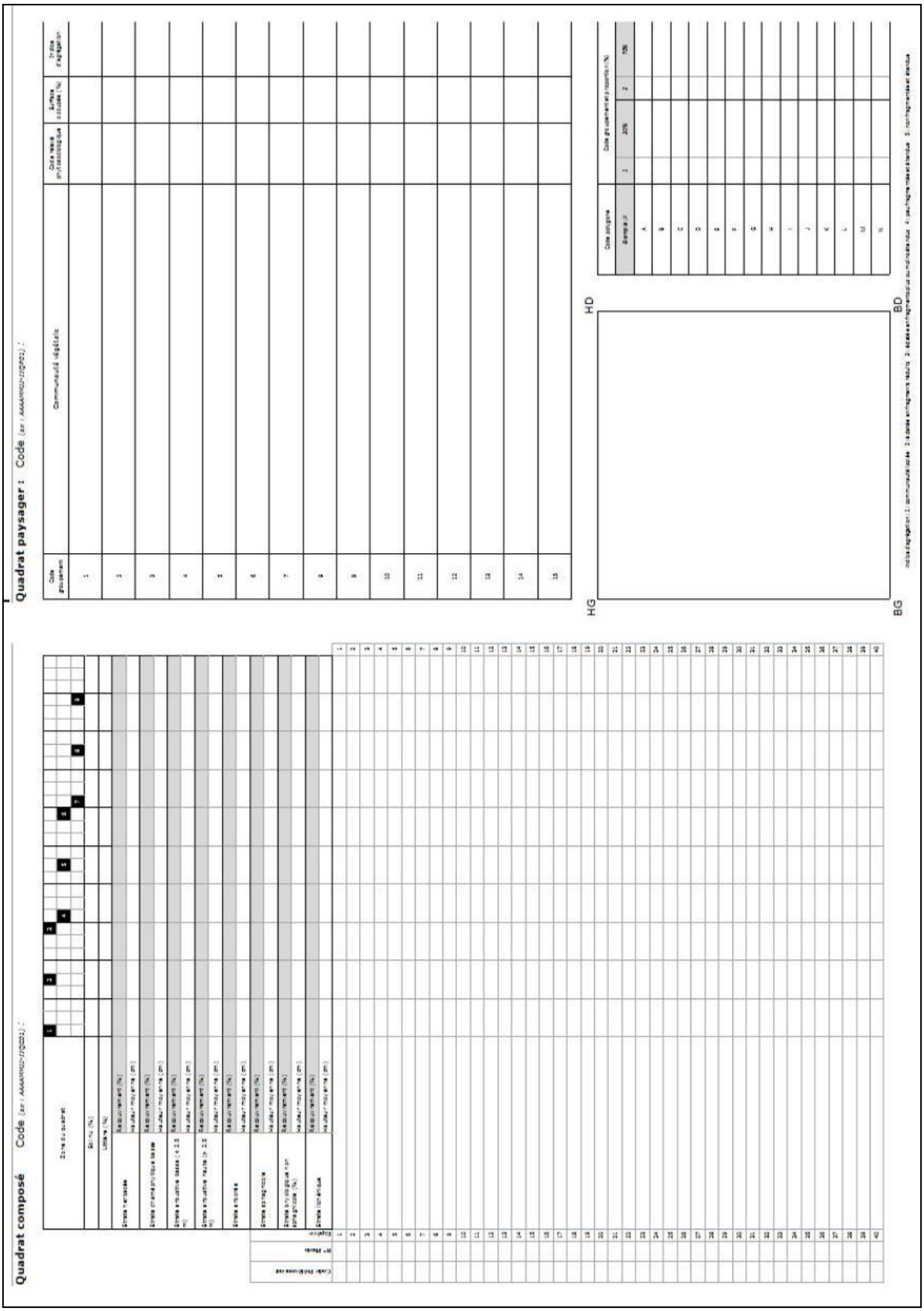
Type de tourbe : noir, brune, blonde

Recouvrement des espèces sociales, colonisatrices (Molinie, Fougère aigle, Choin, marisque, autres).

Maturité des chaméphytes dans le quadrat composé :

- ☐ Stade pionnier : Pieds de chaméphytes peu denses et de faible hauteur, inférieur à 15 cm
- ☐ Stade mâture : Forte densité de pieds de chaméphytes, hauteur > 30 cm, bonne capacité de floraison
- ☐ Stade sénescent : Pieds d'une hauteur supérieure à 50 cm, plus ou moins affaissés, à rameaux peu feuillés, pauvres en fleurs

Schéma de repositionnement des quadrats.


Quadrat composé
Quadrat paysager :
HG
HD
BG
BD

Annexe 18. Fiche de relevé pour les quadrats de fréquence de tourbières (recto et verso)

FICHE SUIVI ETAT DE CONSERVATION TOURBIERE

Conservatoire Botanique National Sud-Atlantique
Domaine de Certes – 33980 AUDENGE – Tél. 05 57 76 18 07 – Courriel : cbsa.info@laposte.net

SUD-ATLANTIQUE

Site Natura 2000 : Code site :

Métadonnées

Observateur(s) : Département :
Date : Commune :
Temps passé : Lieu-dit / site :

Précision géographique :

Informations générales

Propriétaire :
Gestionnaire :
Zonages réglementaires :

Historique de gestion :

Nombre de lecture antérieure : Date de dernière lecture :

Objectifs complémentaires de suivi :

Géolocalisation du dispositif :

Transect	Coordonnées GPS (W 84 degrés décimaux)			Distance et cap au repère 1		Distance et cap au repère 2	
	x	y	Précision (m)				
Début							
Fin							
Repère 1							
Repère 2							

Schéma de positionnement du quadrat au sein de la tourbière :

Pressions et menaces

Perturbations et contraintes	Fréquence (Rare / occasionelle/ fréquente / constante ou diffuse)	Intensité (Faible/moyenne/forte/très forte)
Pâturage		
Fertilisation anthropique		
Plantation forestière		
Elimination des strates inférieures		
Extraction de matériaux		
Décharge		
gibier		
Déstructuration des sols		
Passage d'engin		
Piétinement, fréquentation humaine		
Pollution des eaux de surface ou des sols		
Incendie		
Comblement		
Modification du fonctionnement hydrographique		

Variables descriptives

Profondeur de tourbe :

Type de tourbe : noir, brune, blonde

Recouvrement des espèces sociales, colonisatrices (Molinie, Fougère aigle, Choin, marisque, autres).

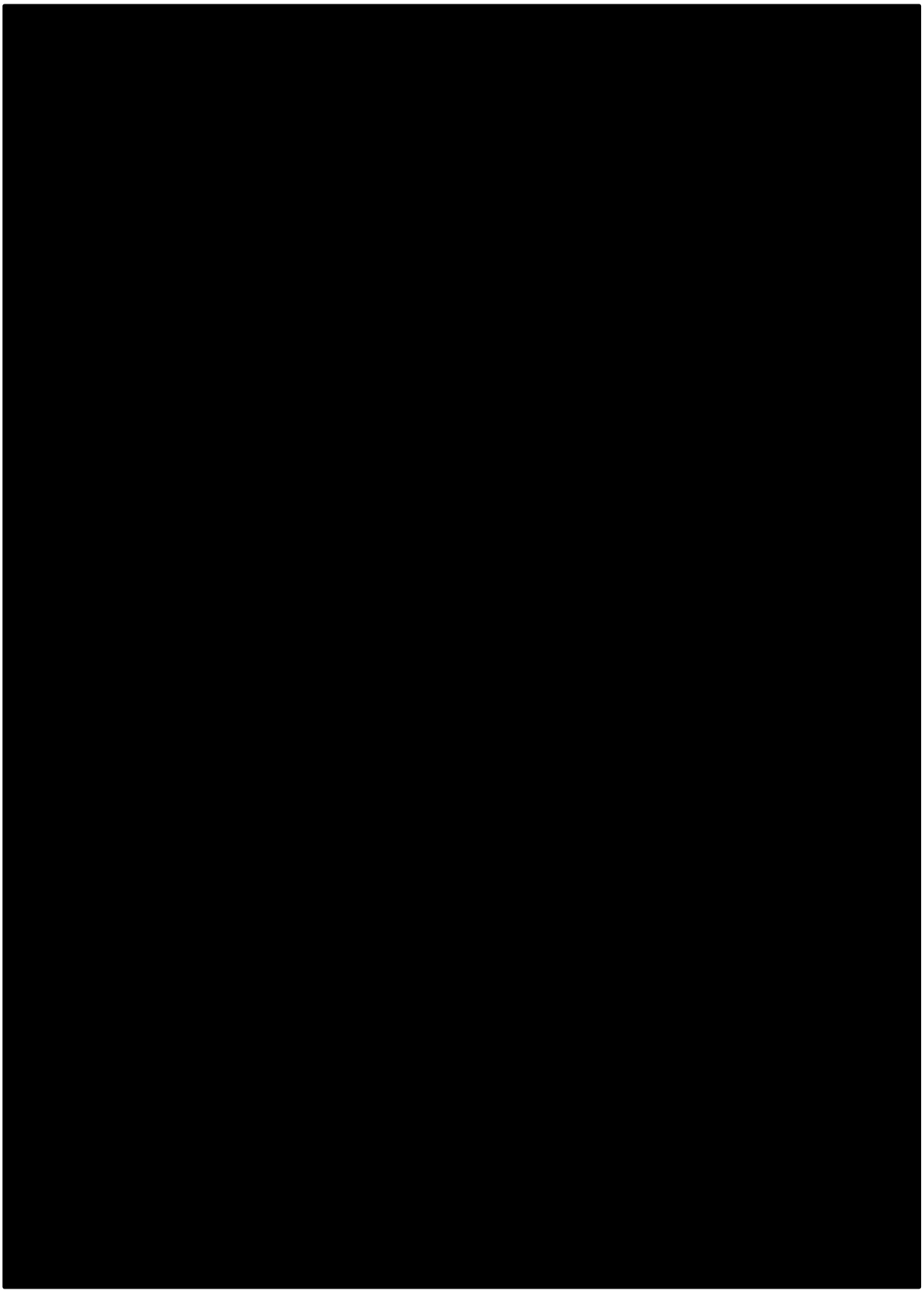
Maturité des chaméphytes dans le quadrat composé :

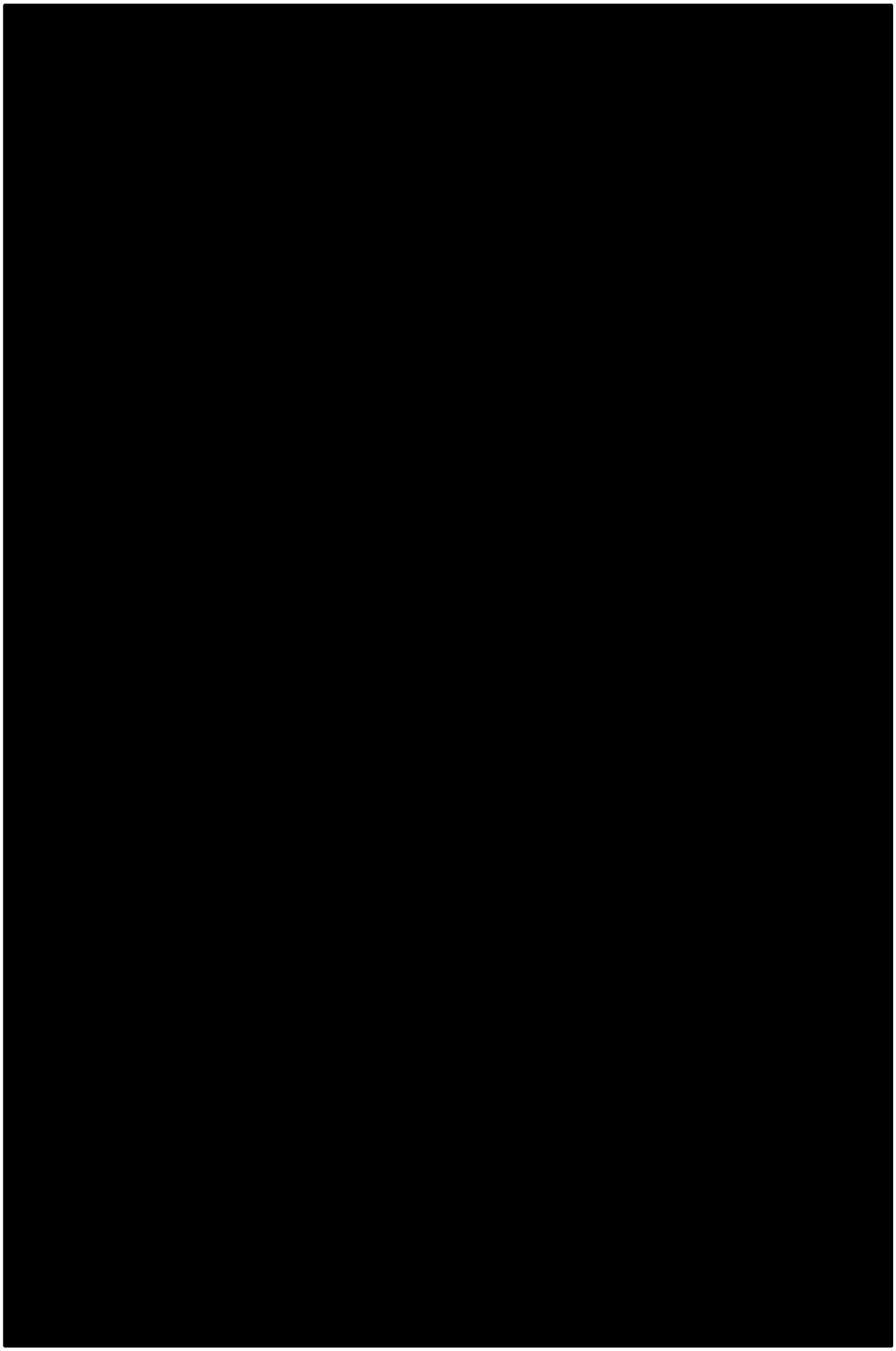
- ☐ Stade pionnier : Pieds de chaméphytes peu denses et de faible hauteur, inférieur à 15 cm
- ☐ Stade mâture : Forte densité de pieds de chaméphytes, hauteur > 30 cm, bonne capacité de floraison
- ☐ Stade sénescent : Pieds d'une hauteur supérieure à 50 cm, plus ou moins affaissés, à rameaux peu feuillés, pauvres en fleurs

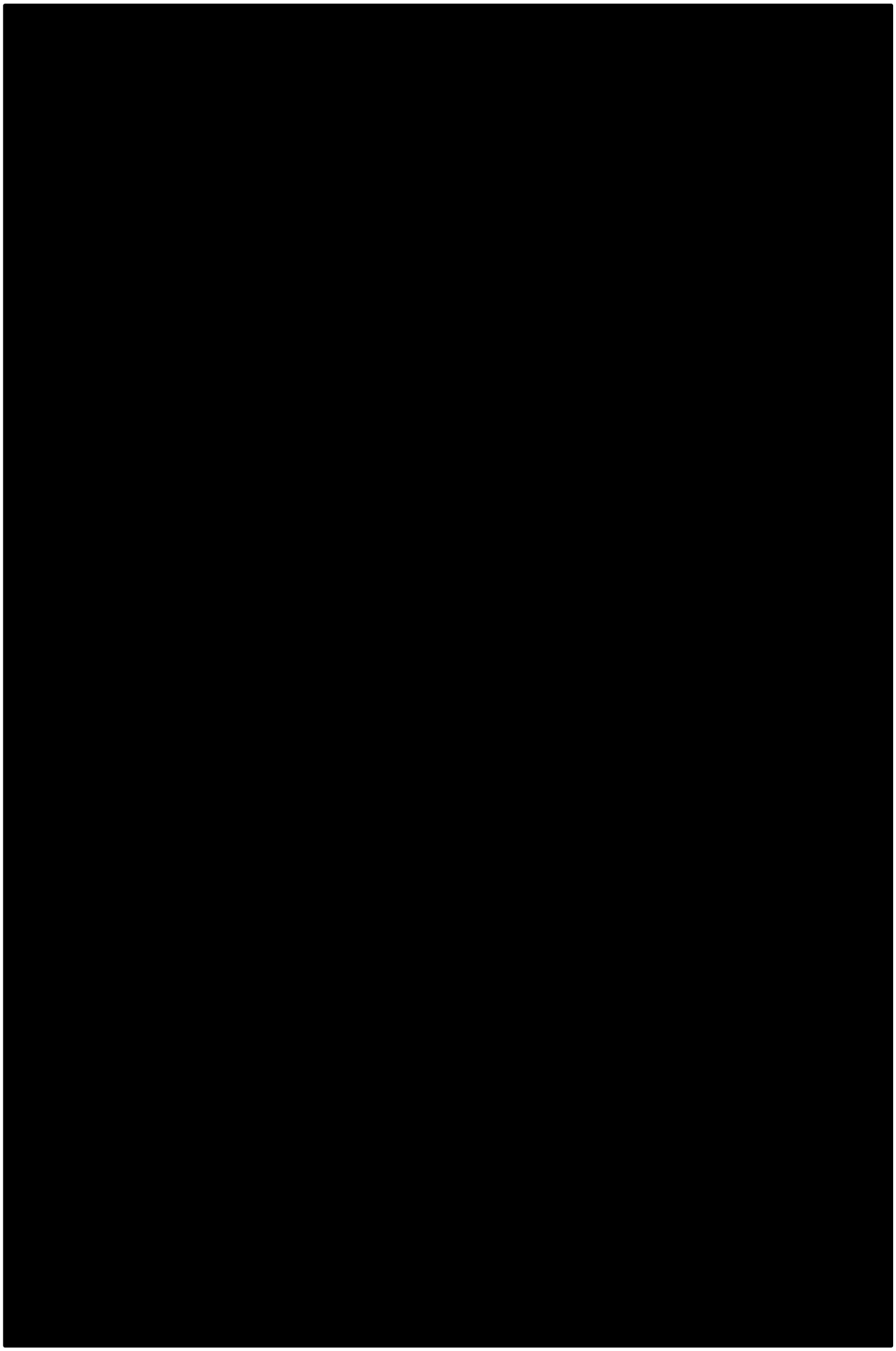
Schéma de repositionnement des quadrats.

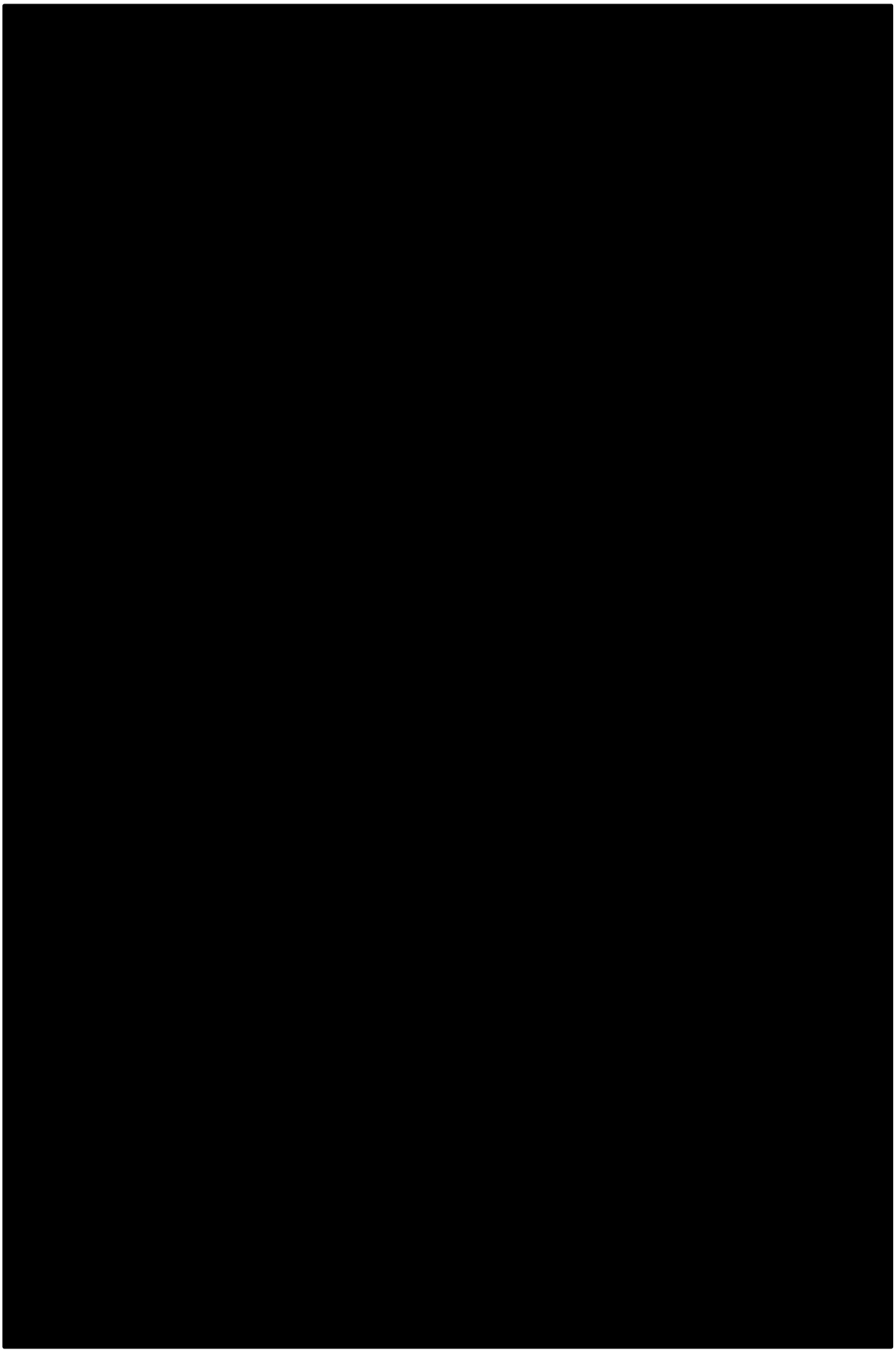
Quadrat composé
Code (ex : AAAAMMJJ-JJQC01) :
Quadrat composé
Code (ex : AAAAMMJJ-JJQC01) :

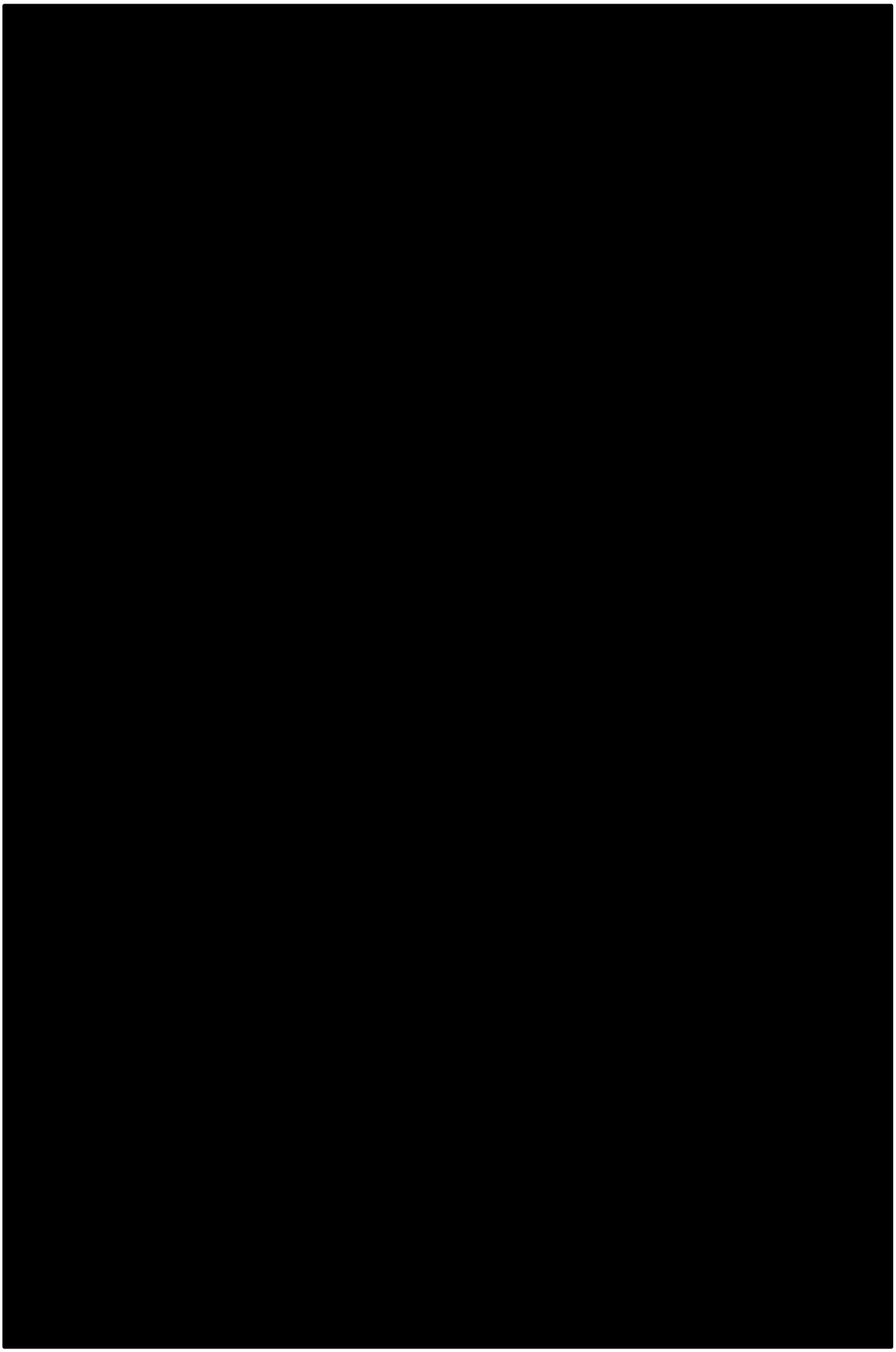
Annexe 19. Positionnement des transects des suivis des lépidoptères en lande humide

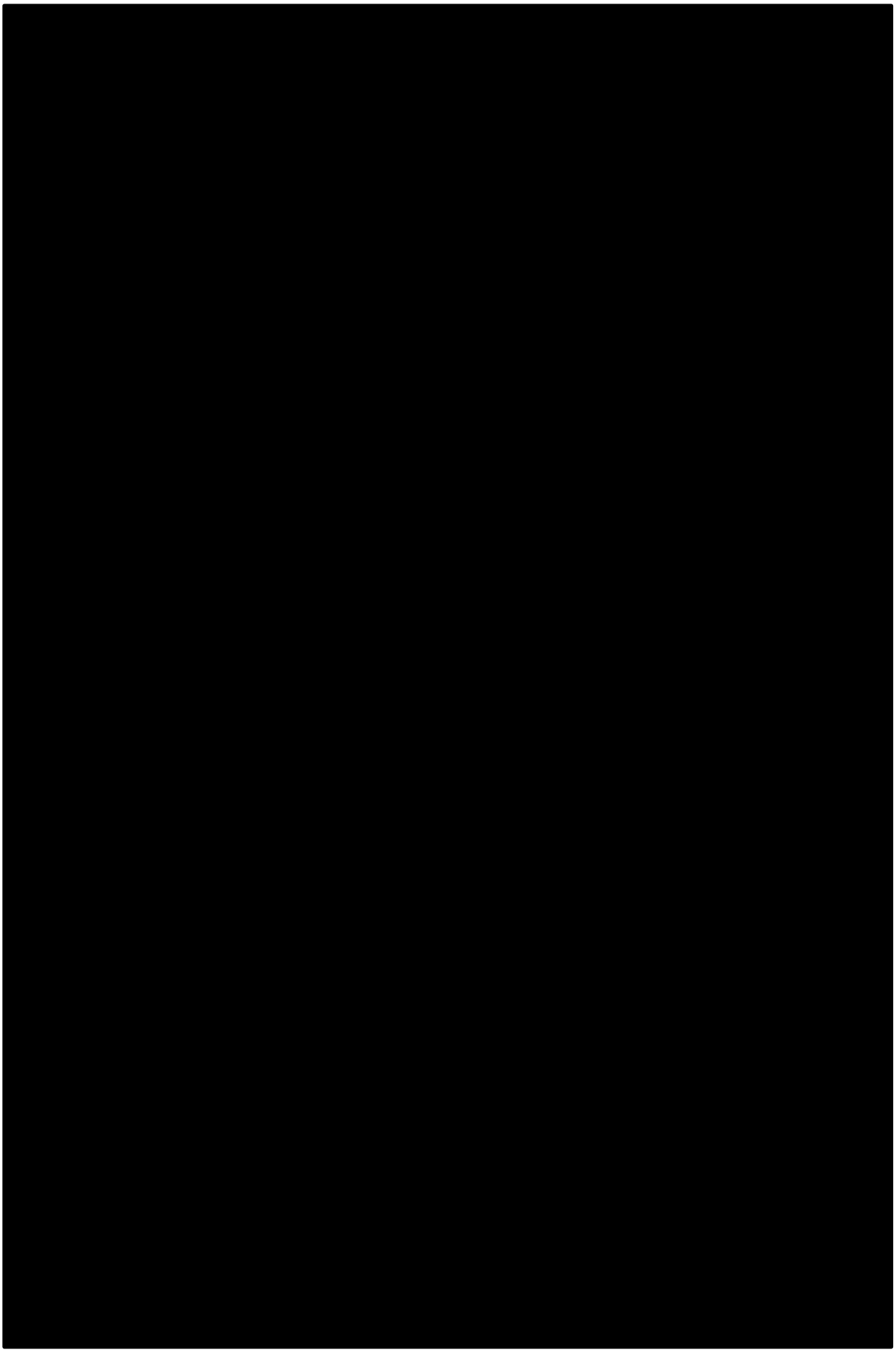


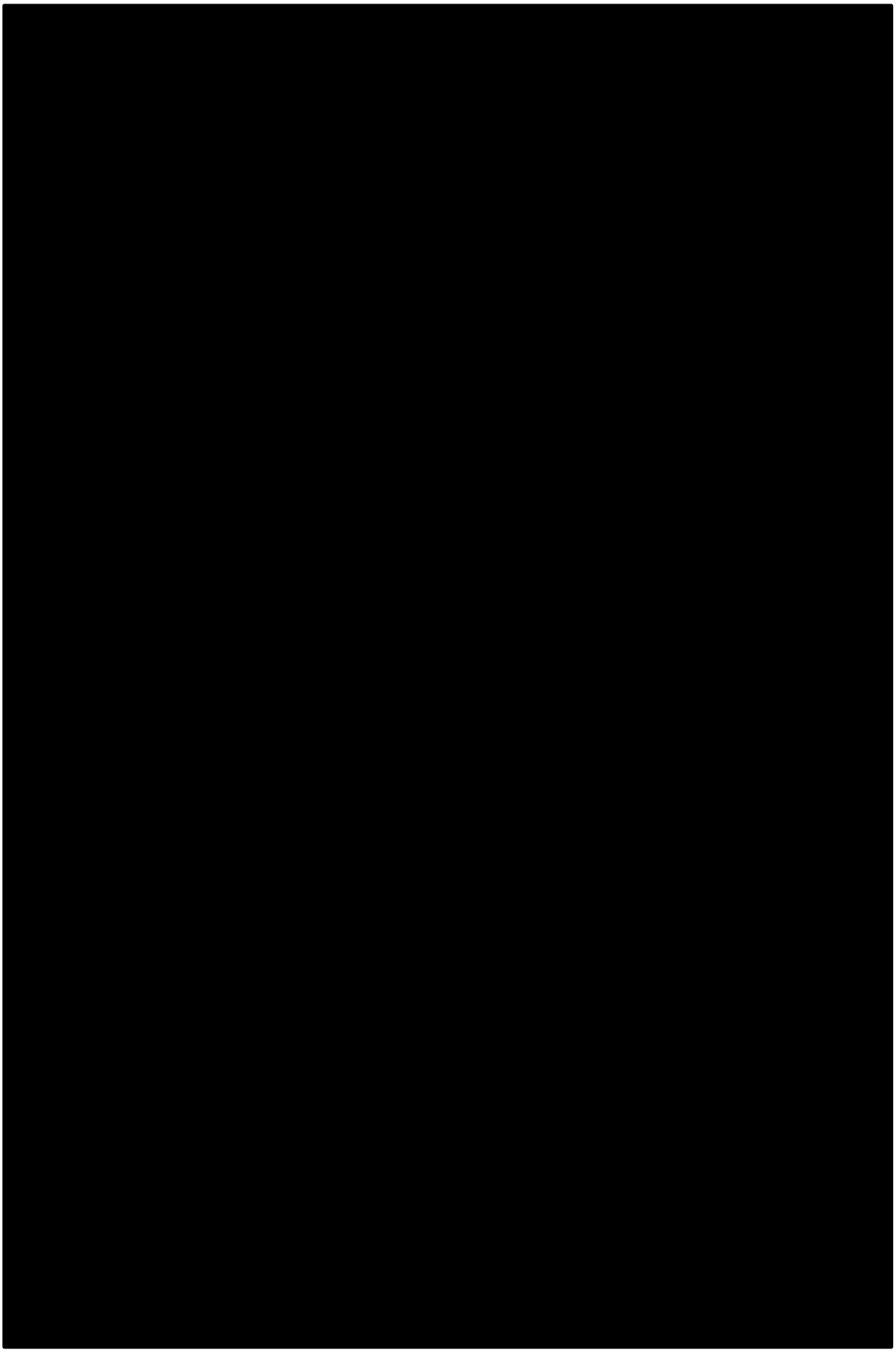


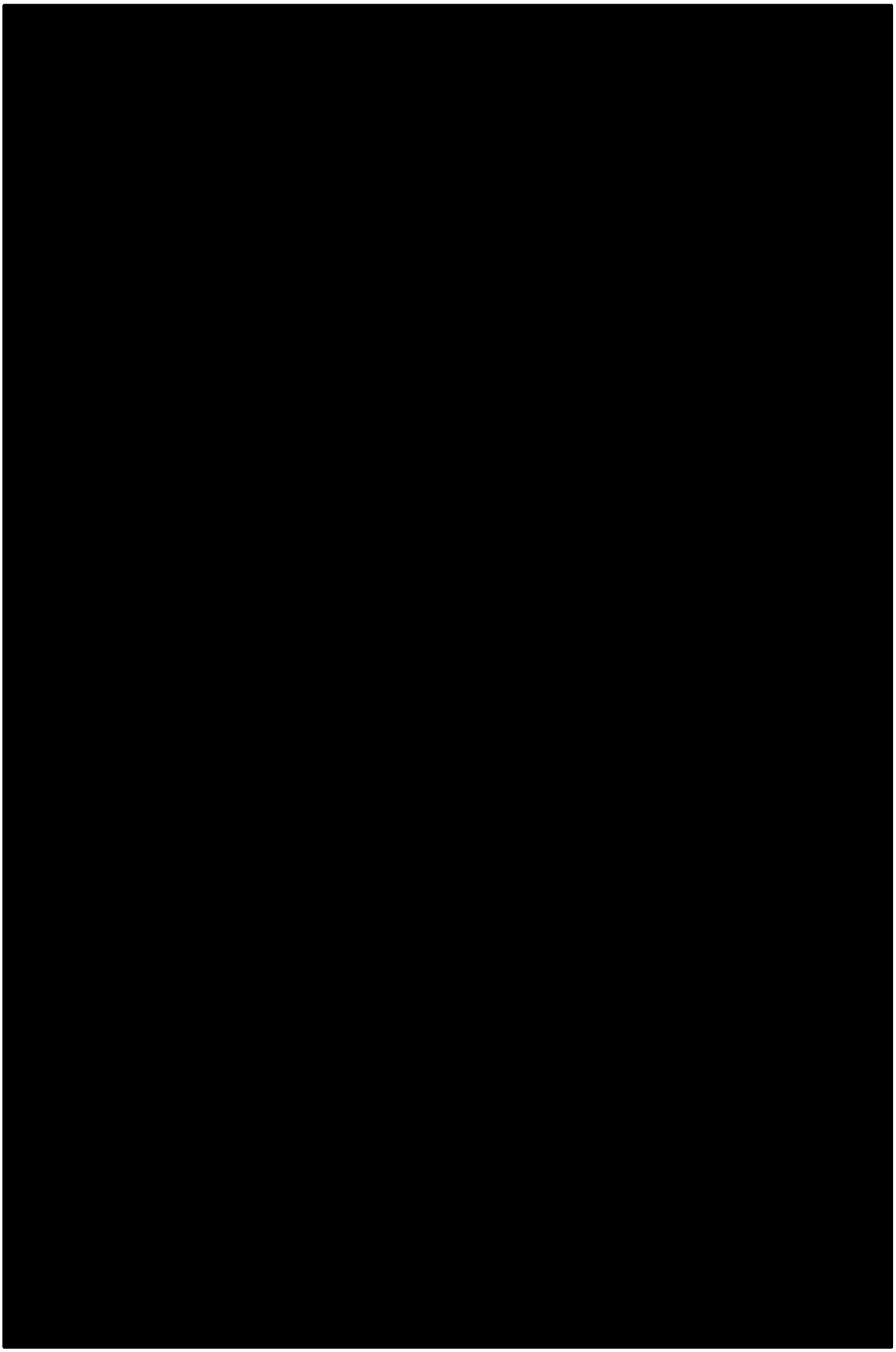


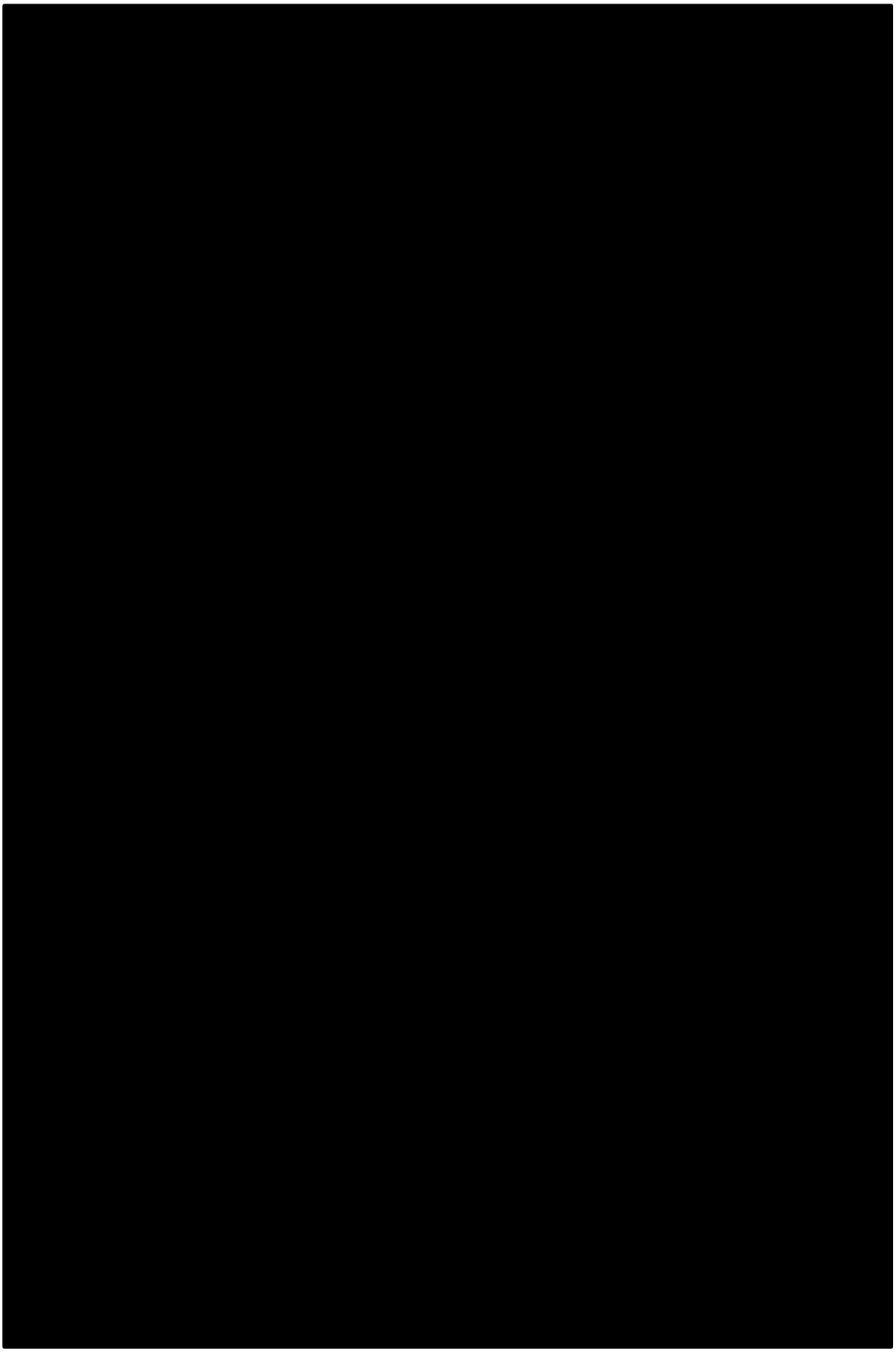


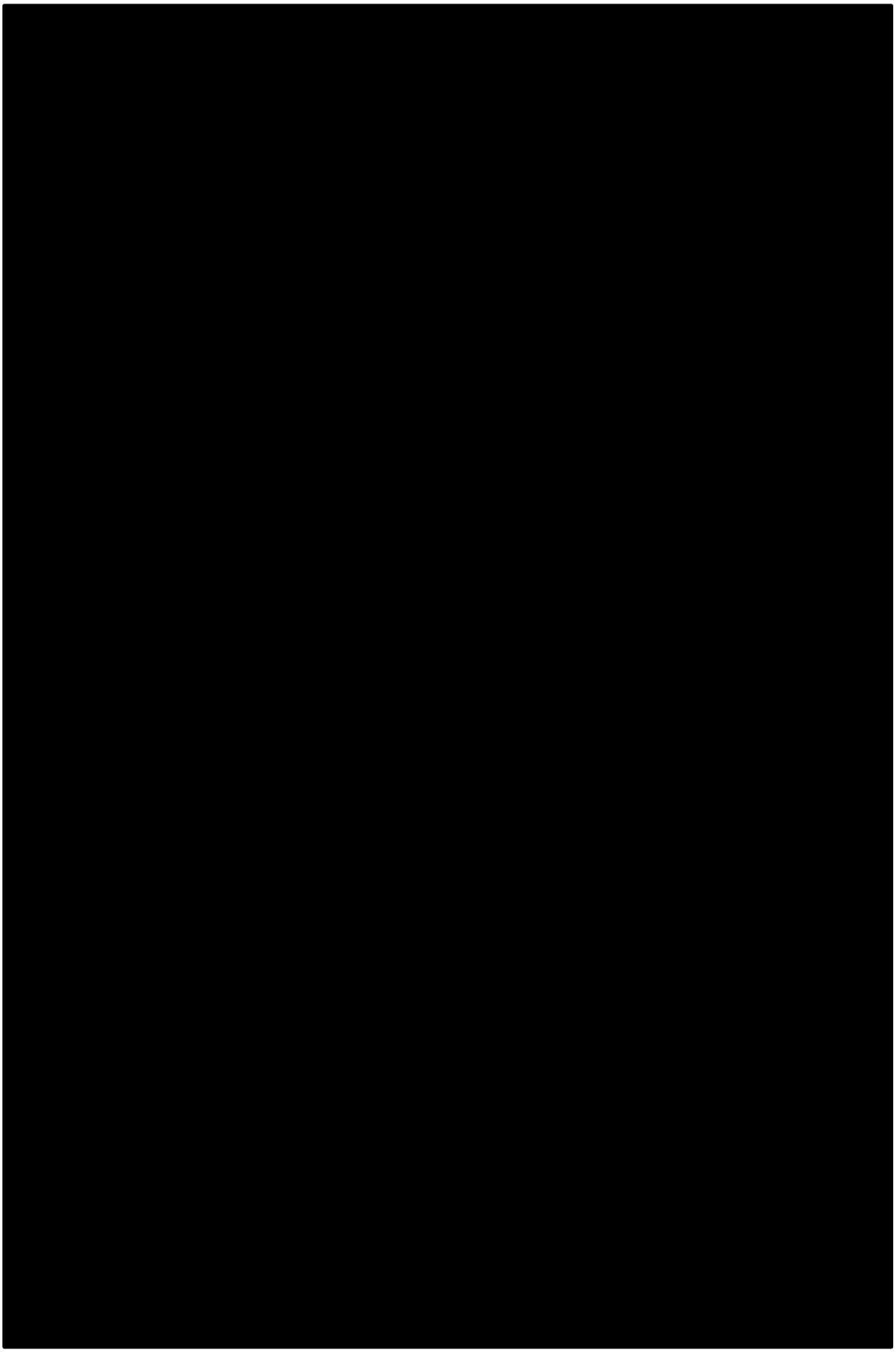


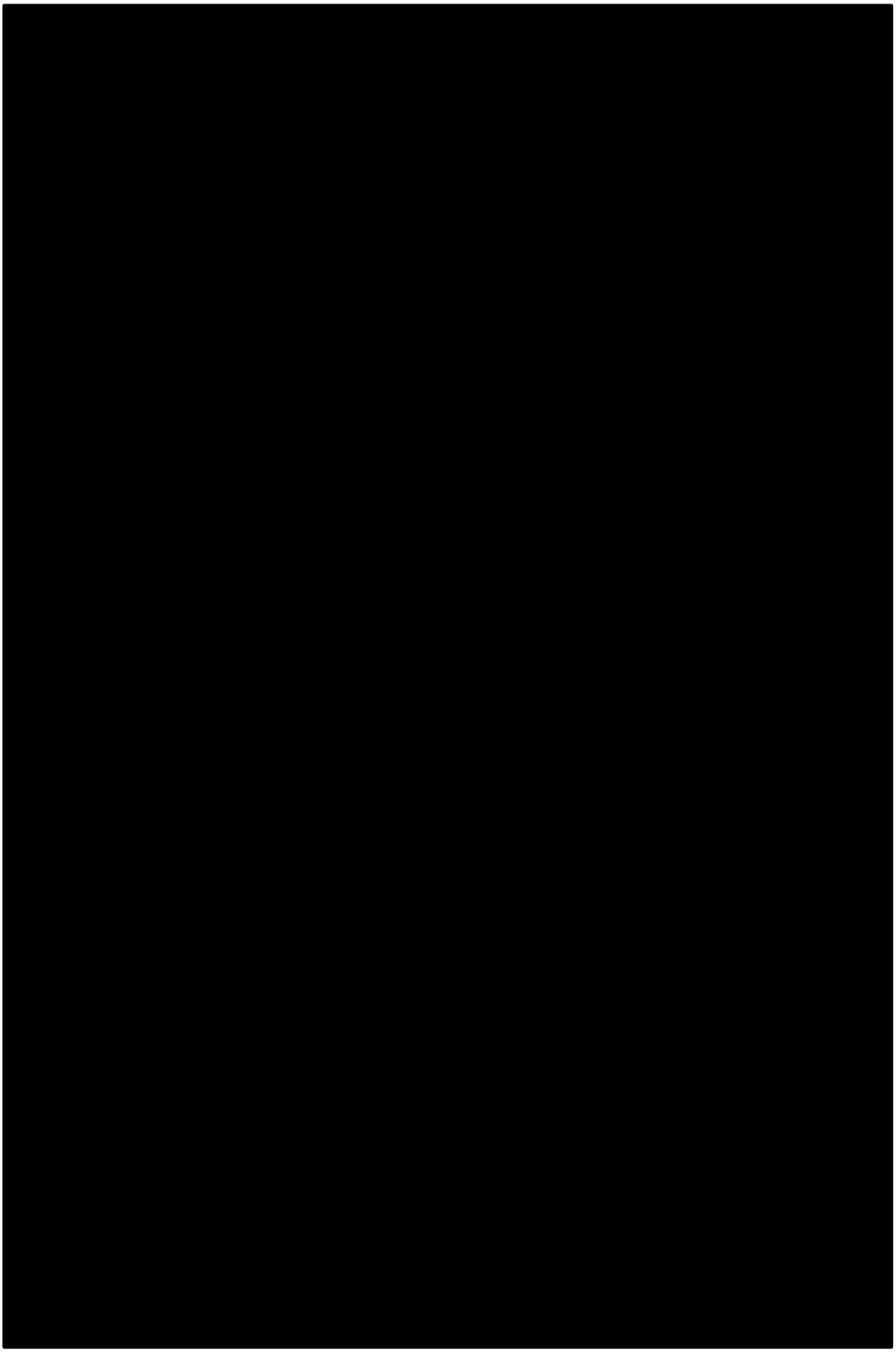


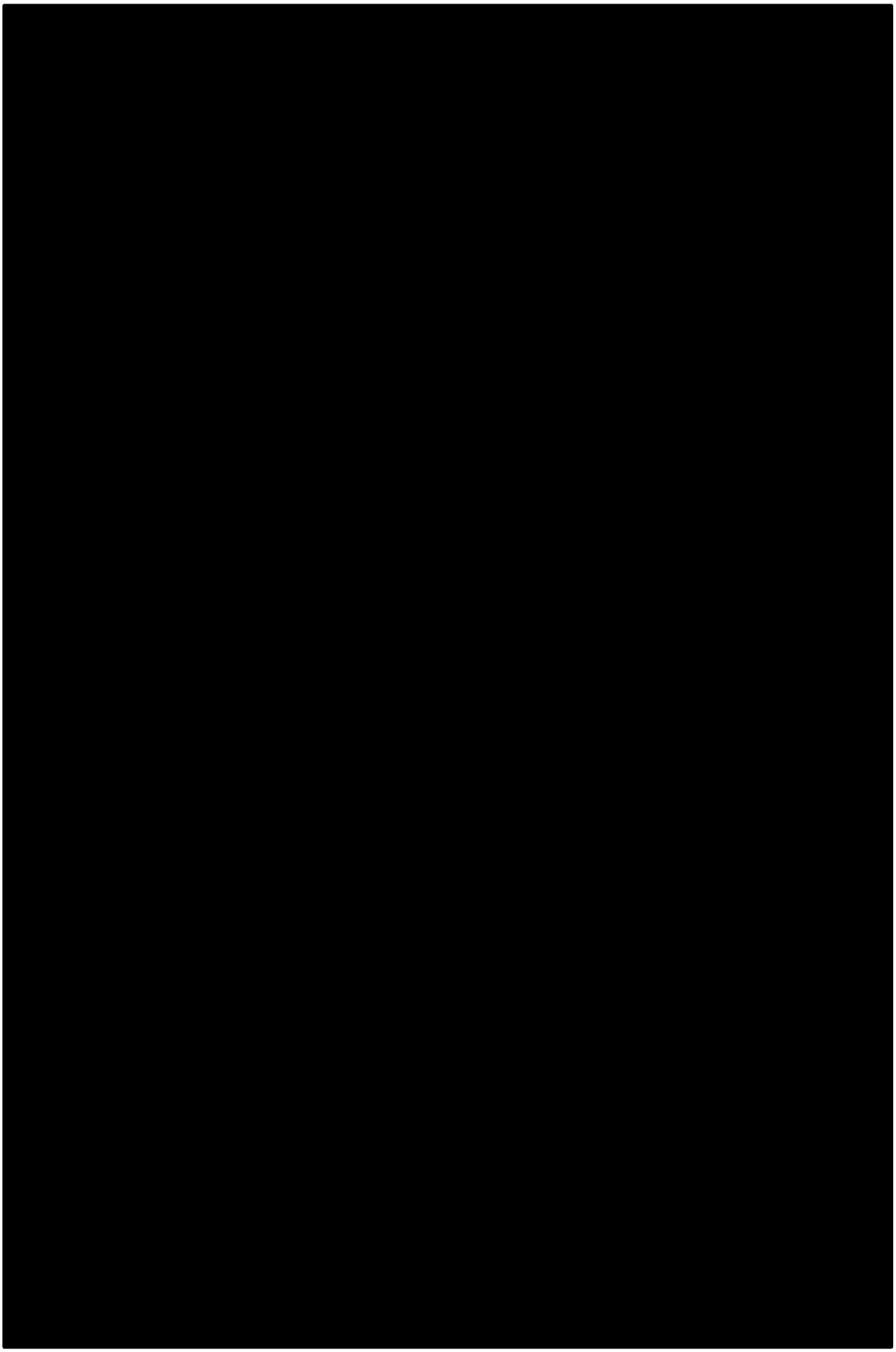


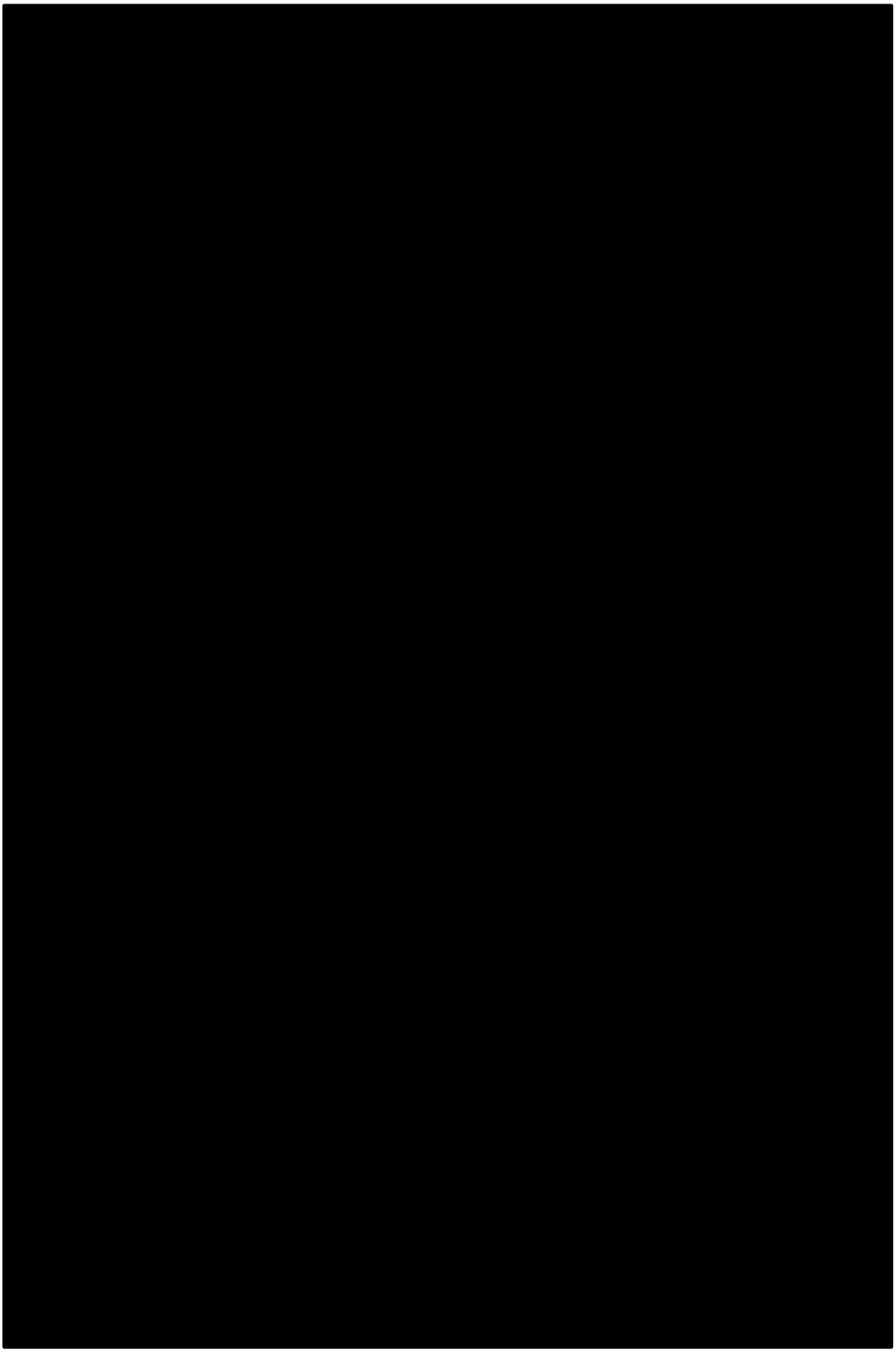


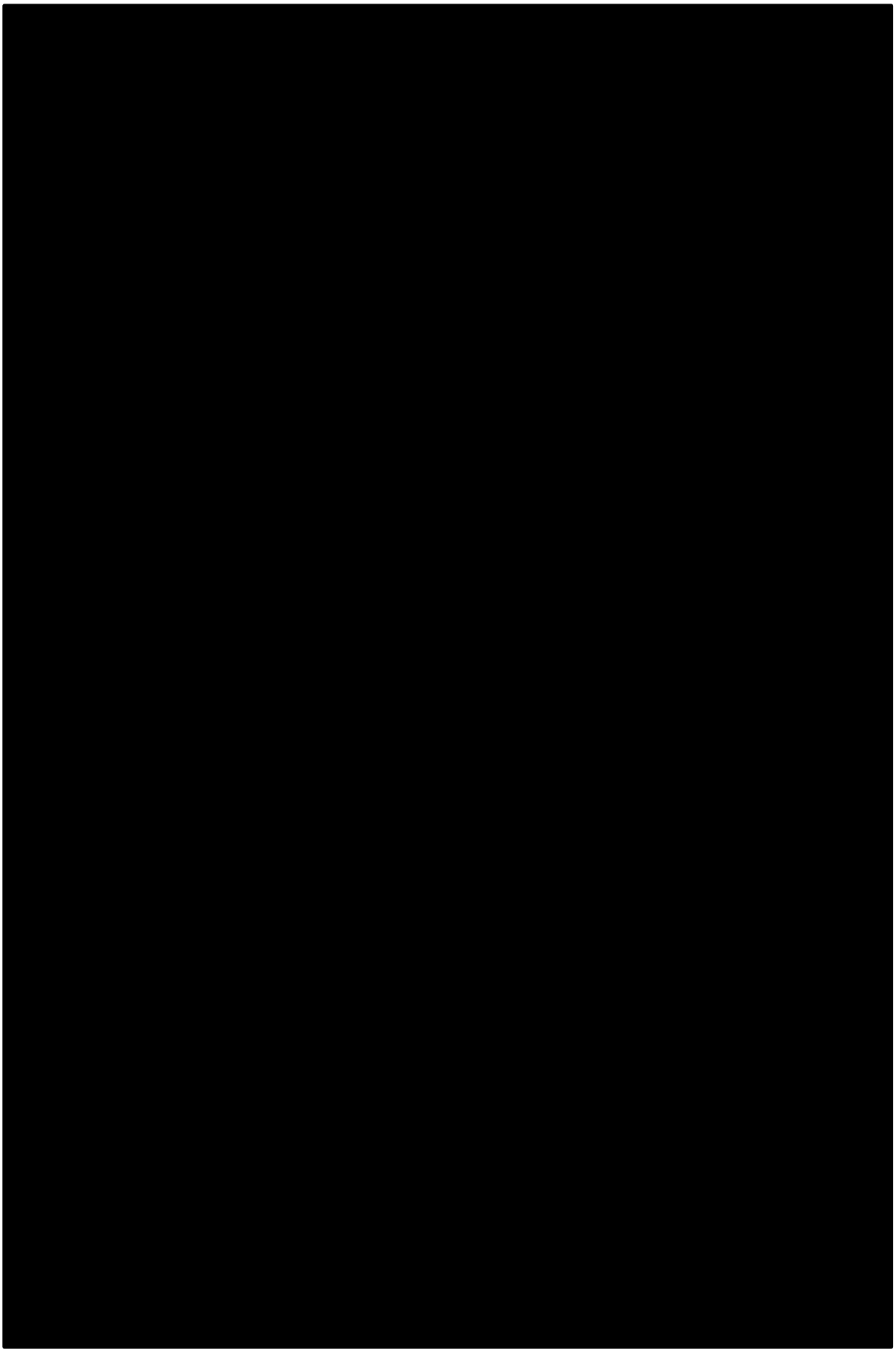


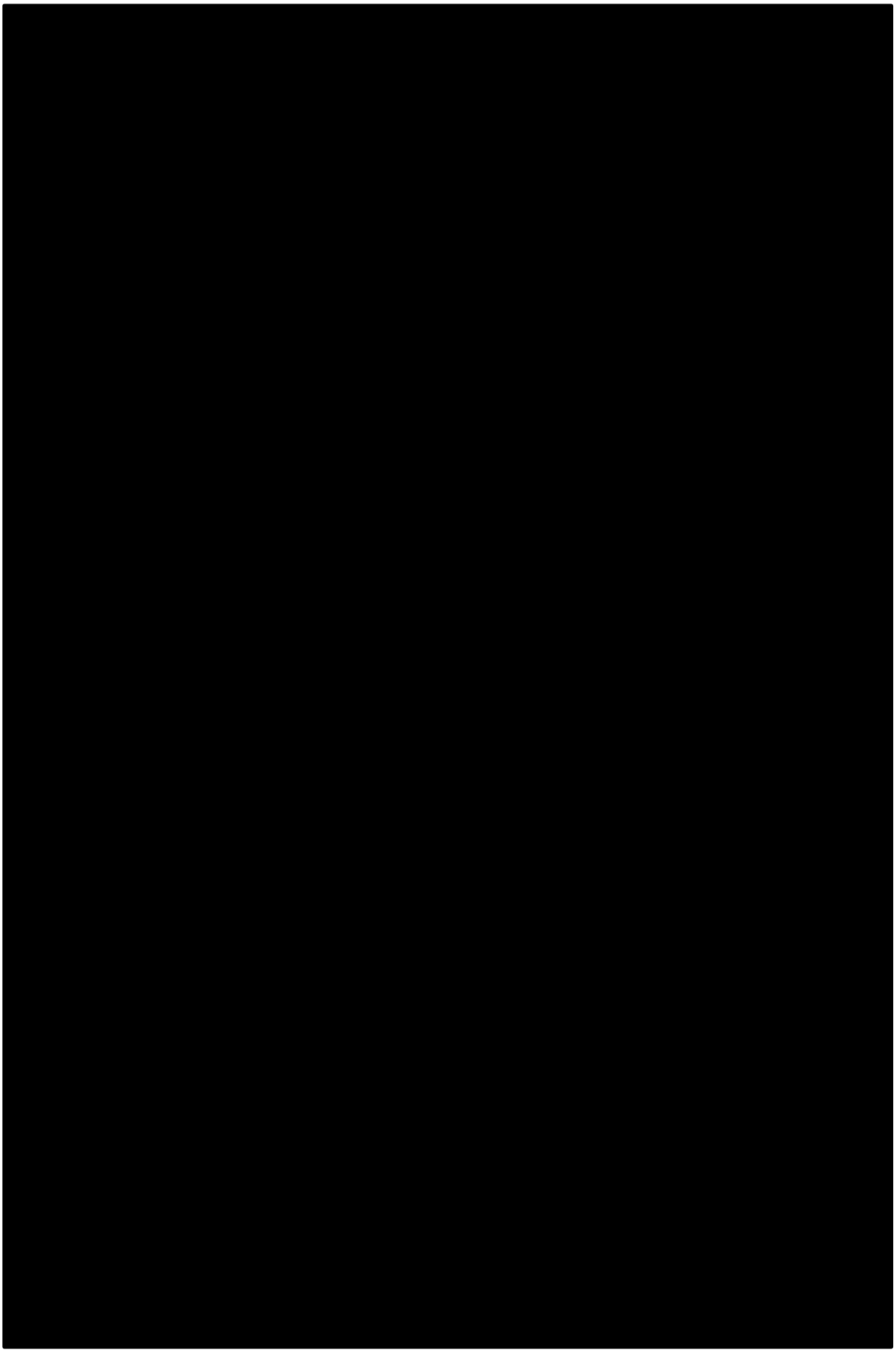


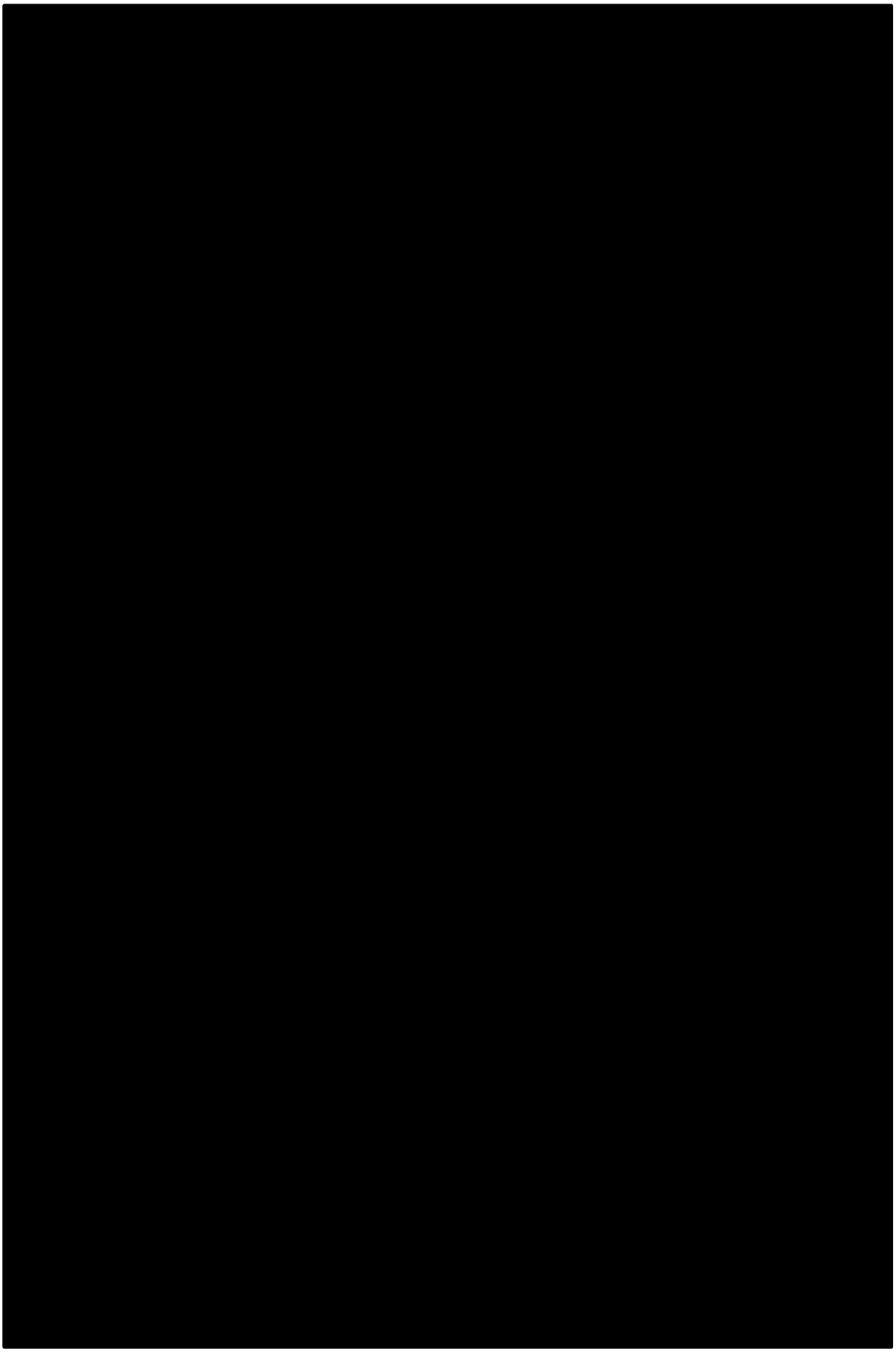


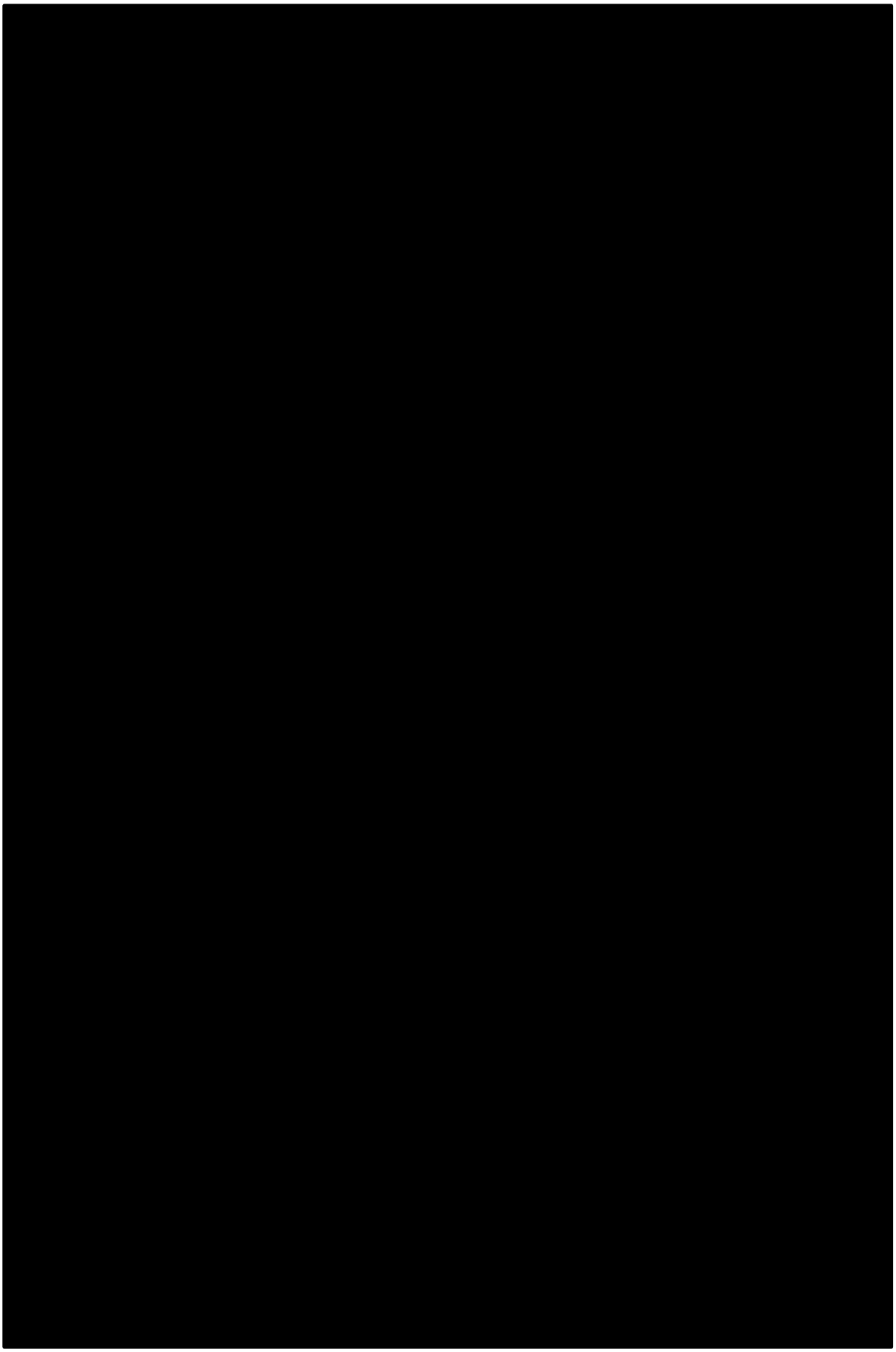


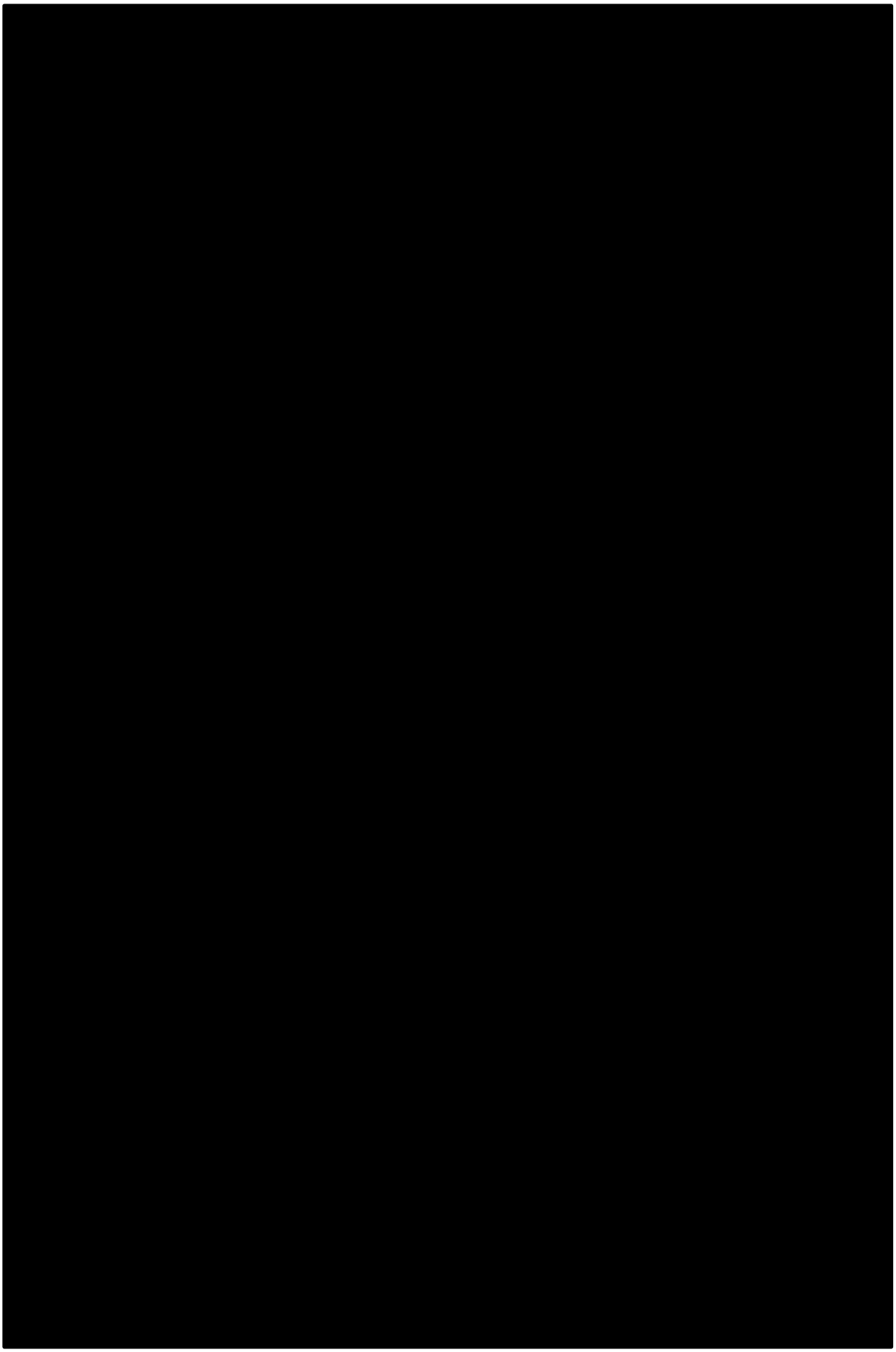


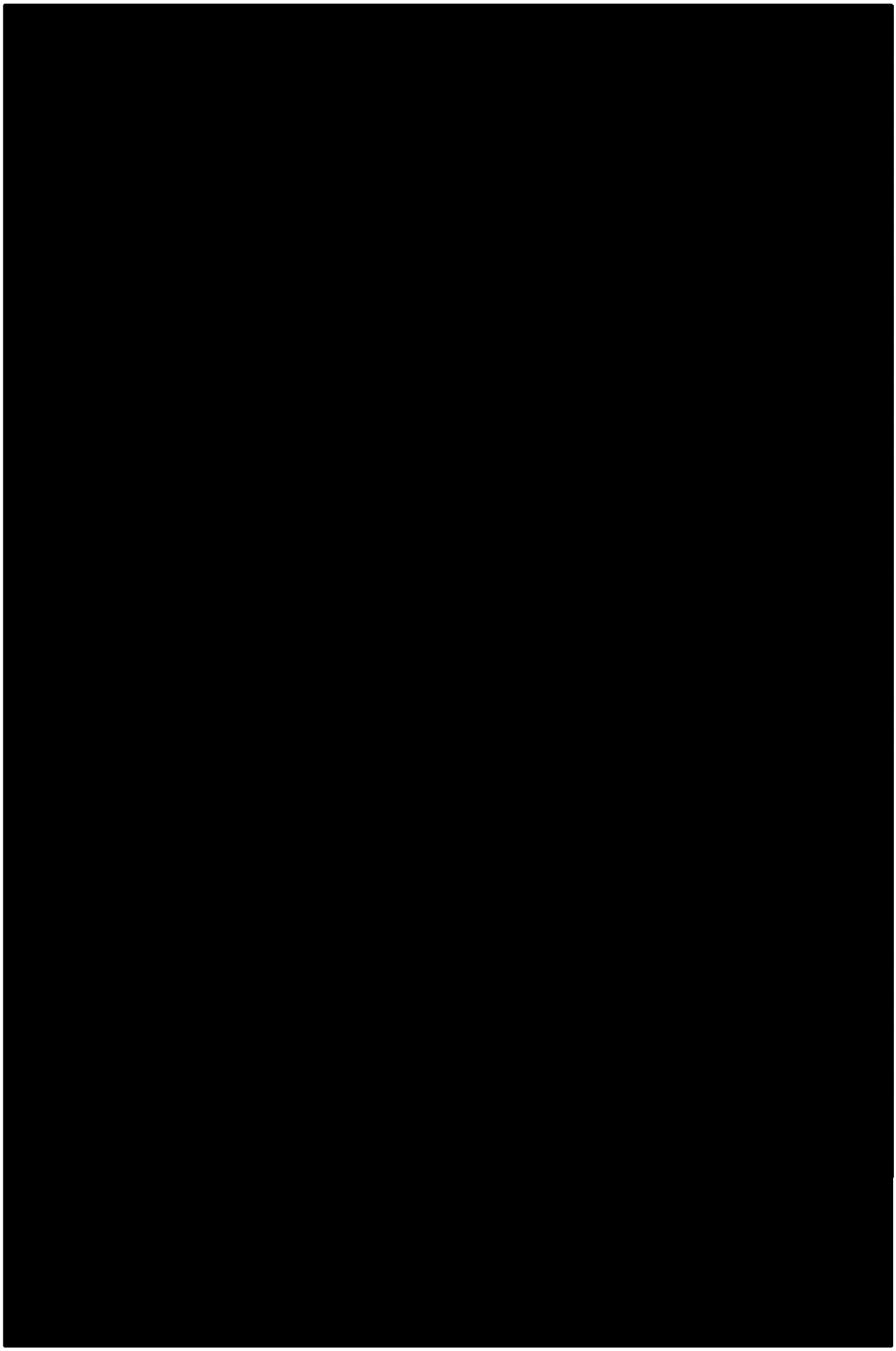


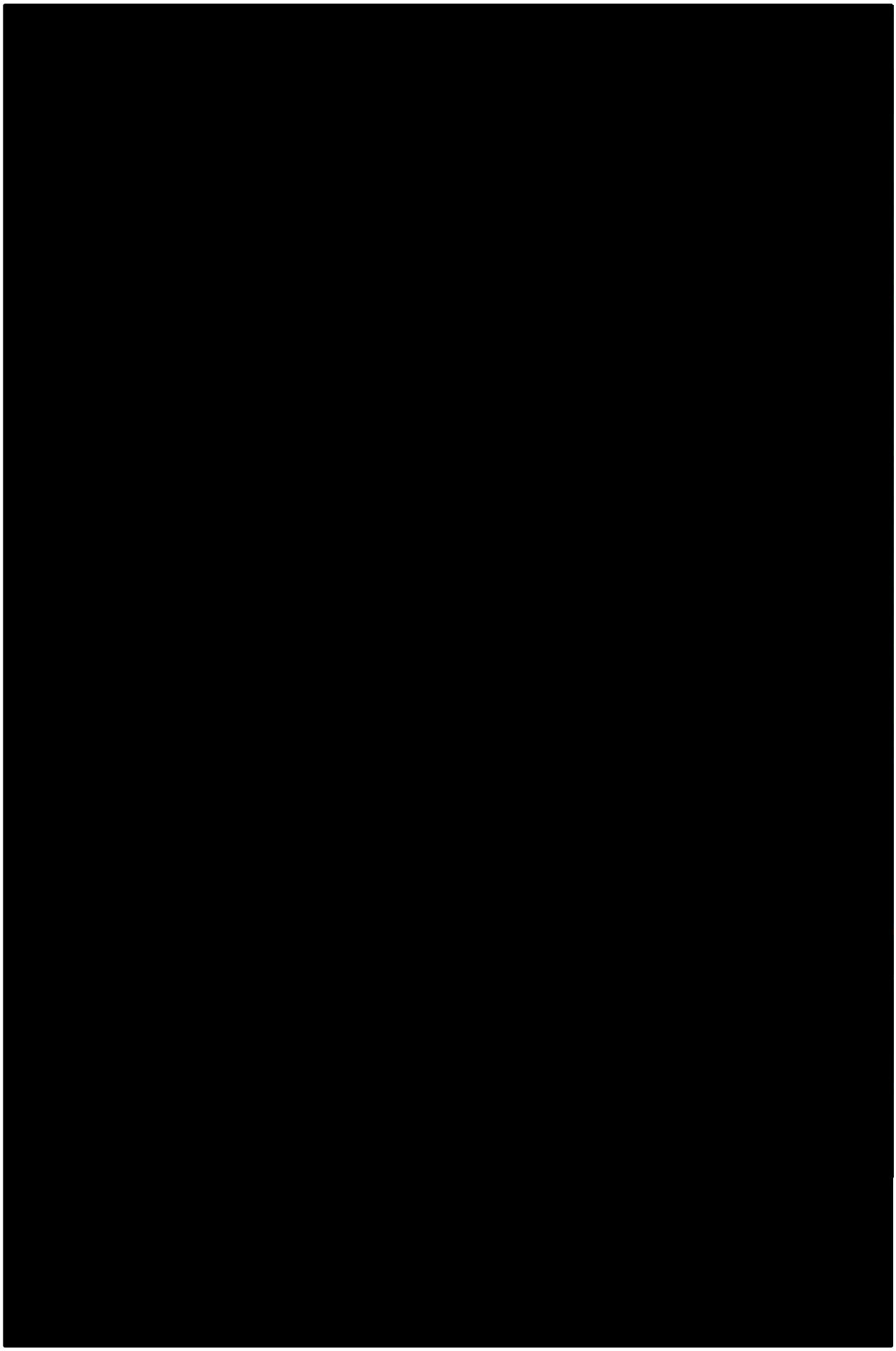


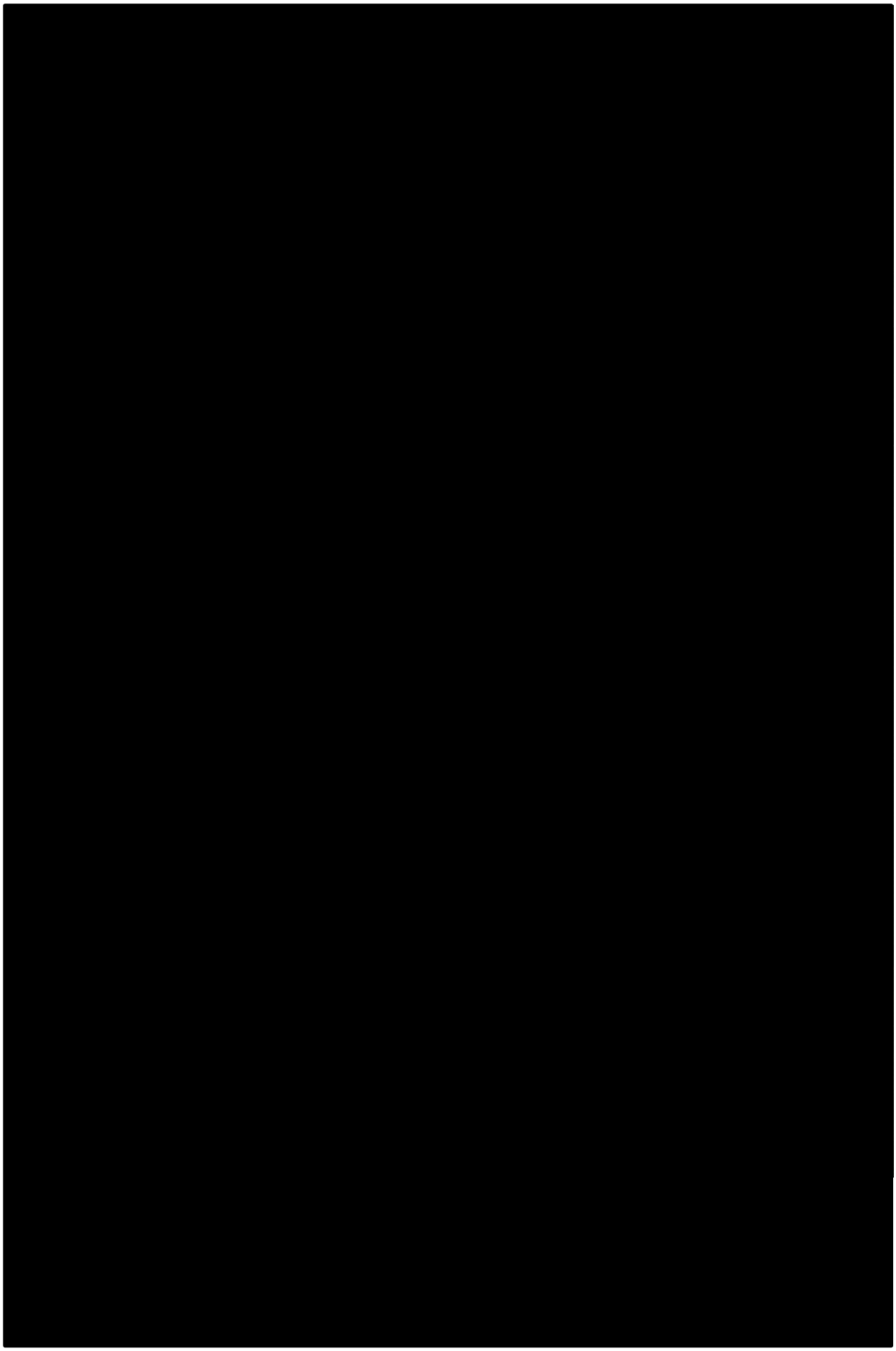


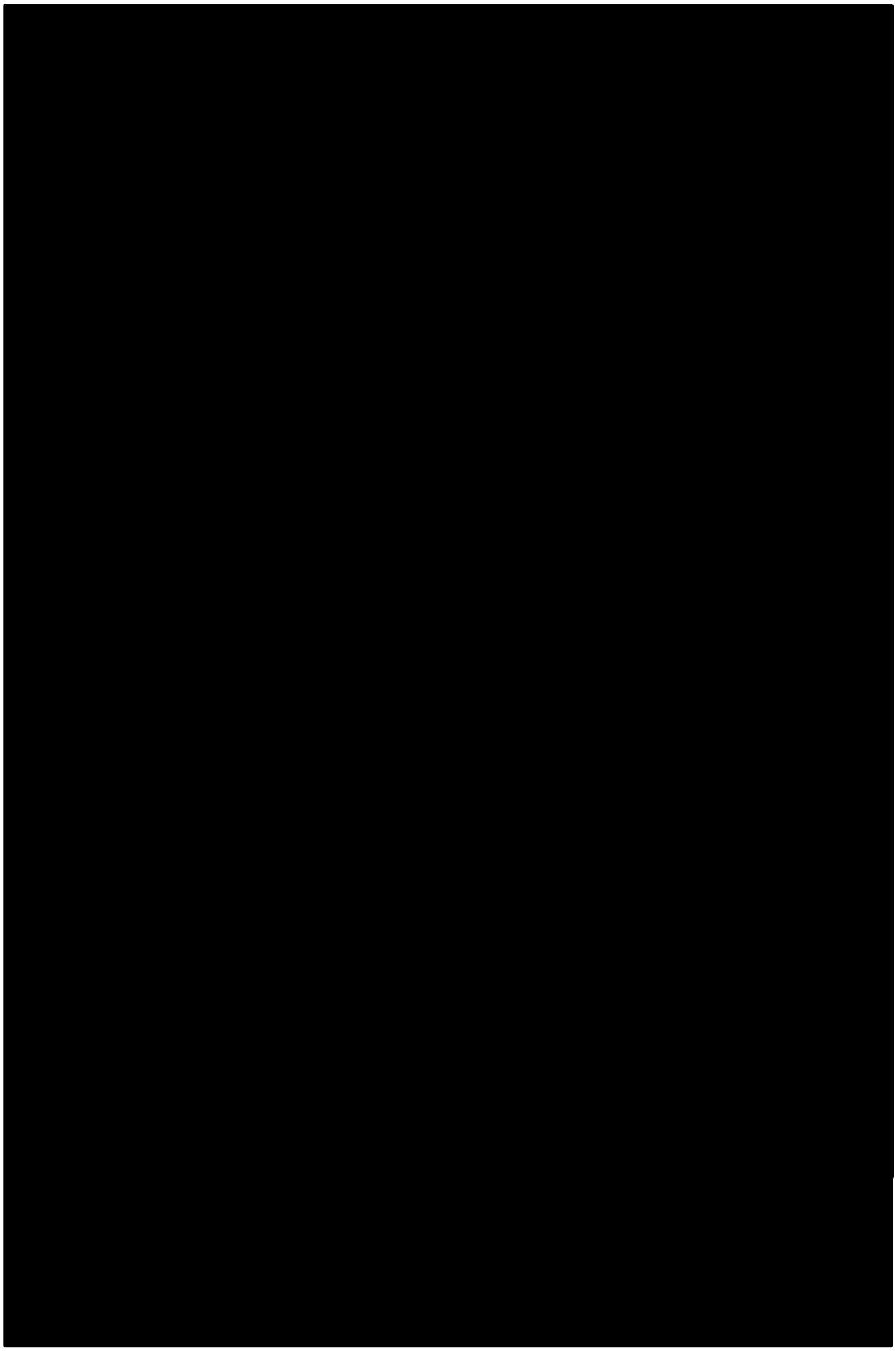


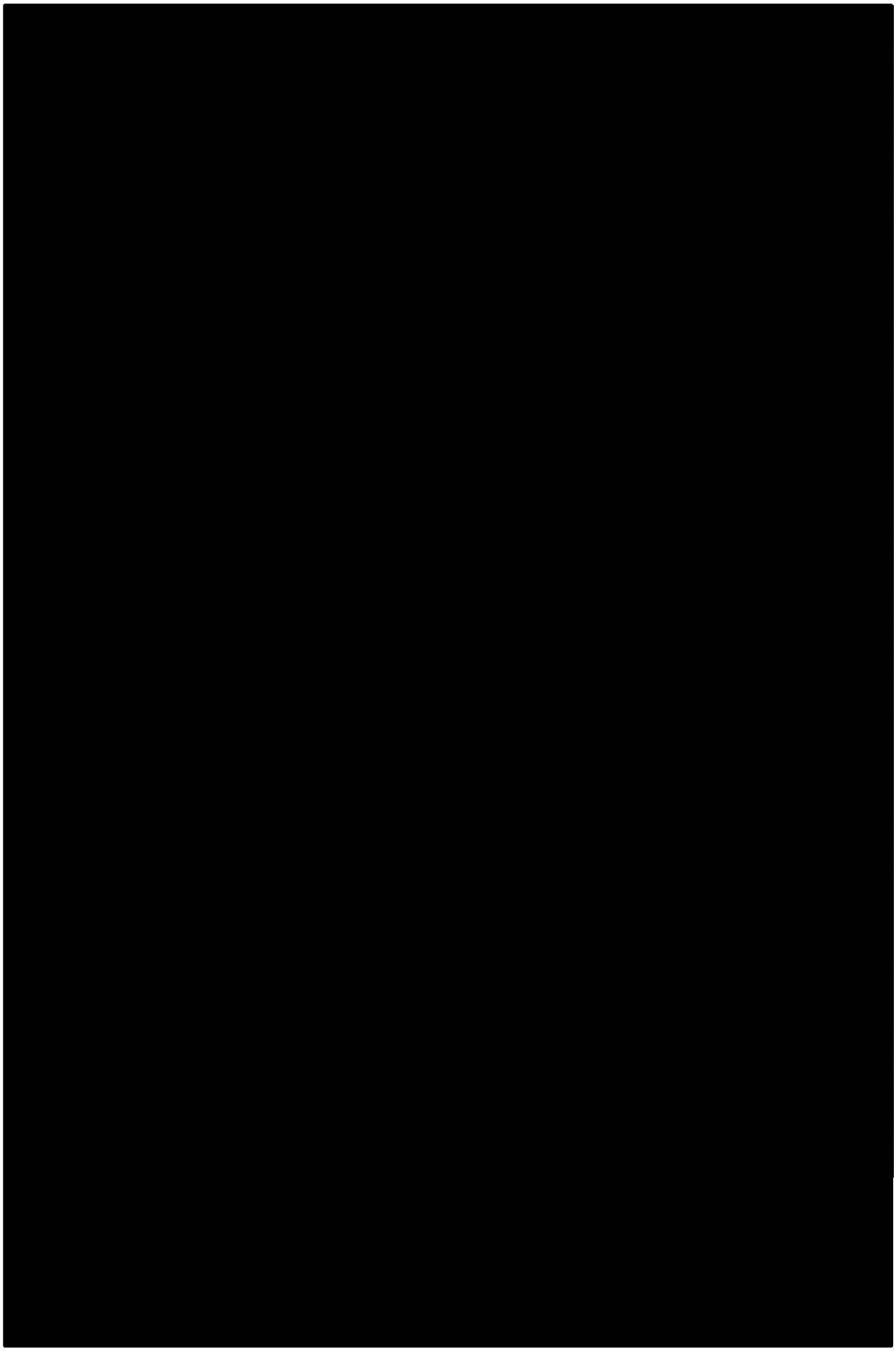


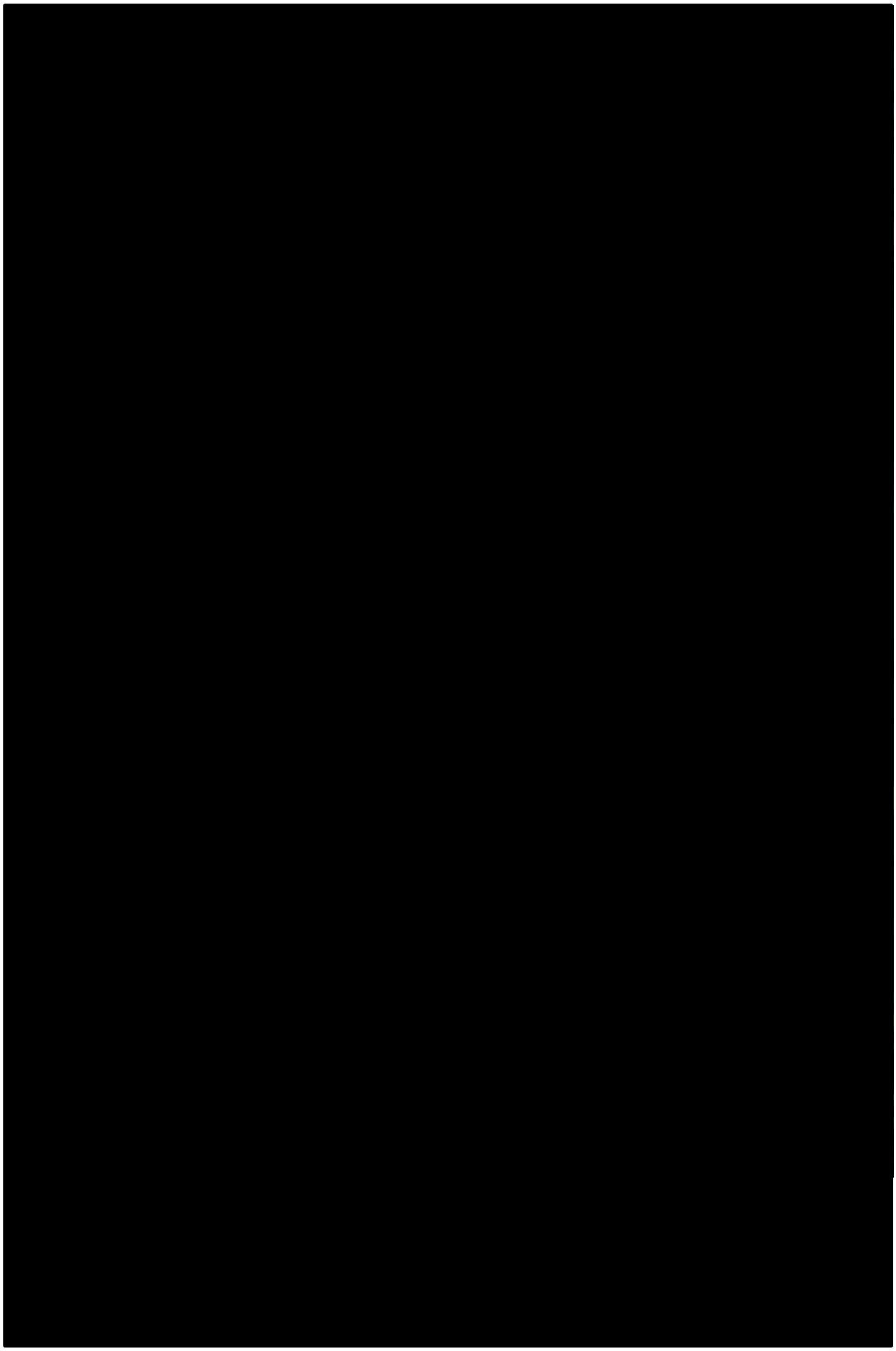


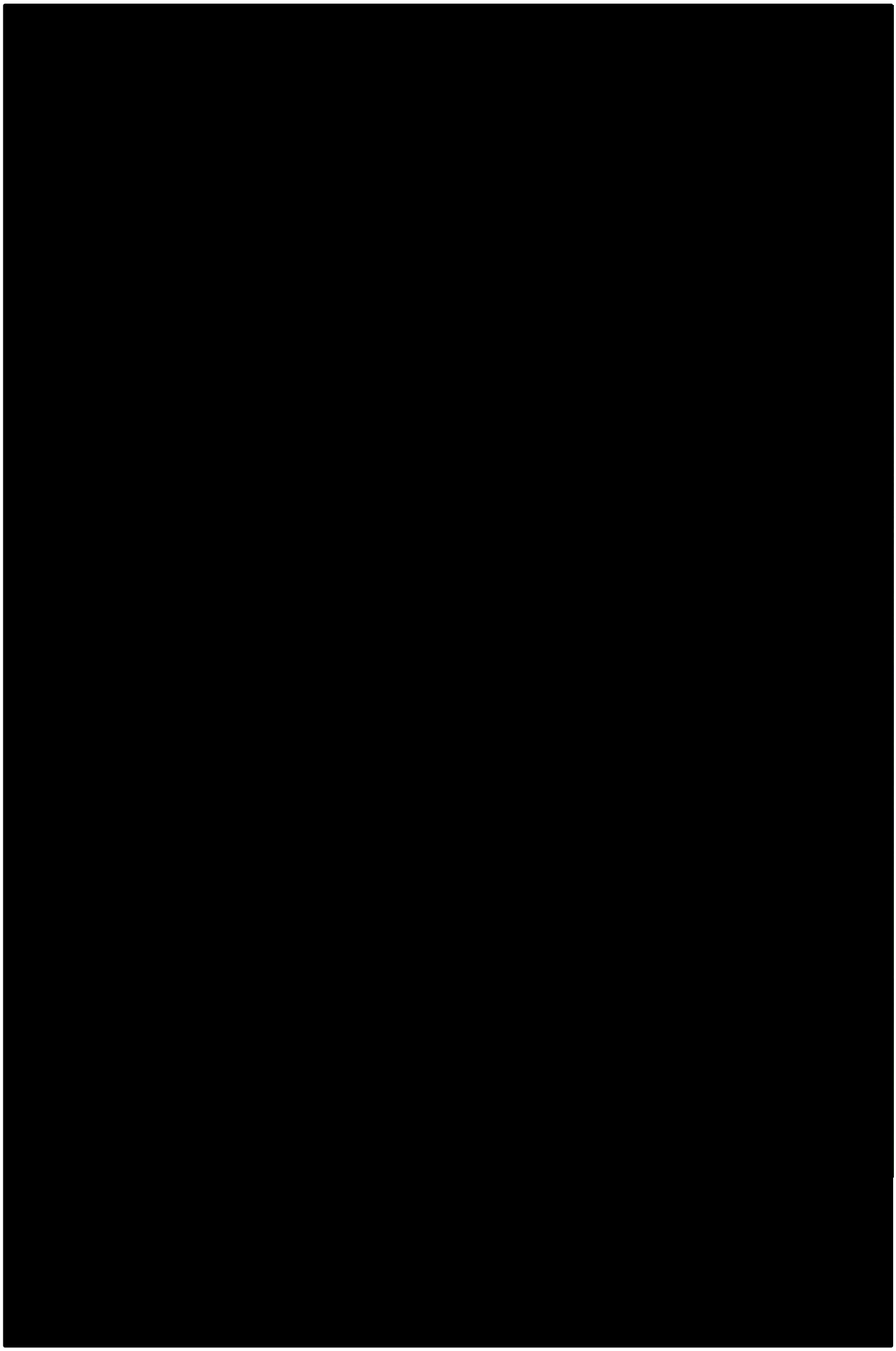


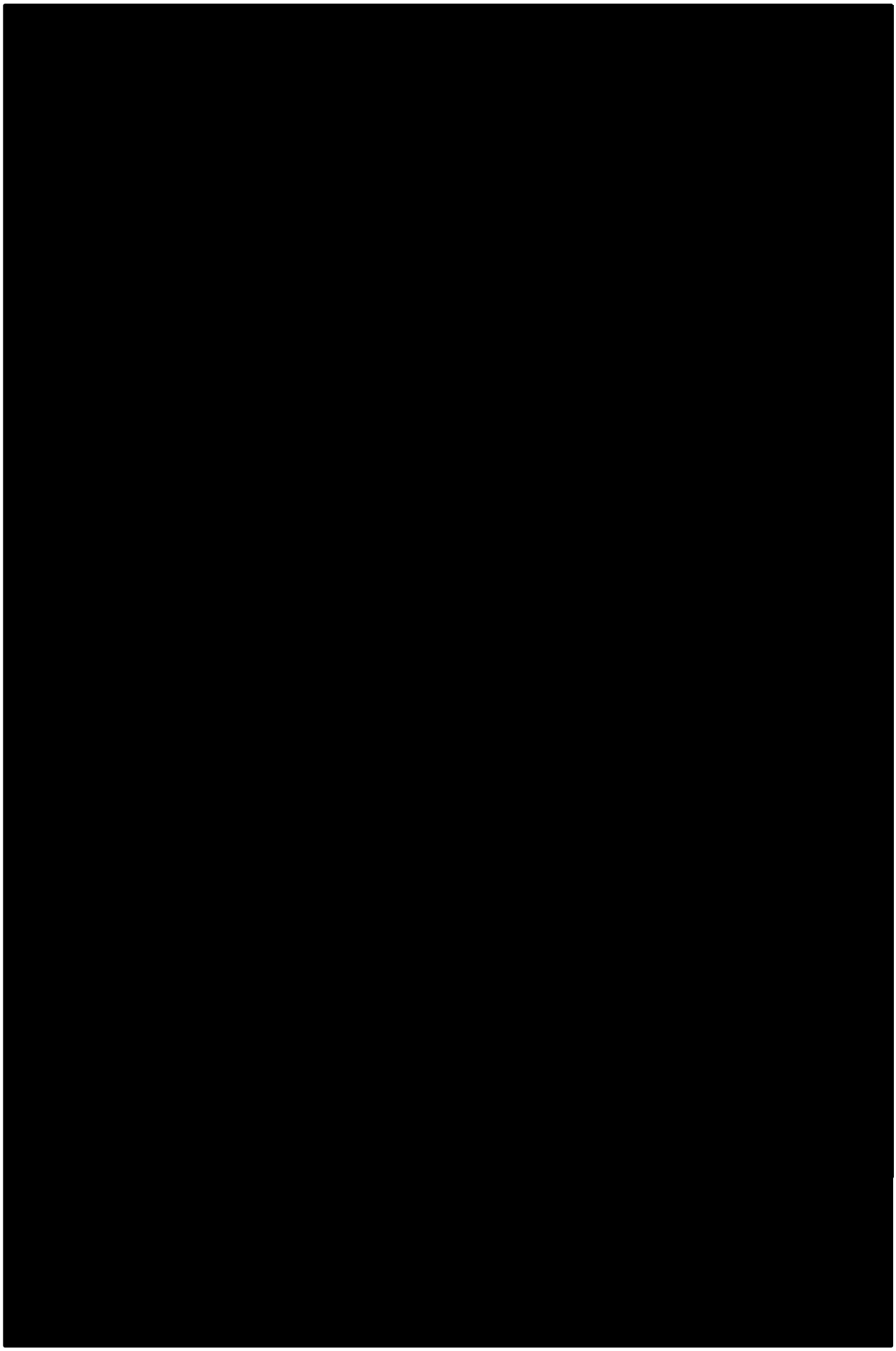


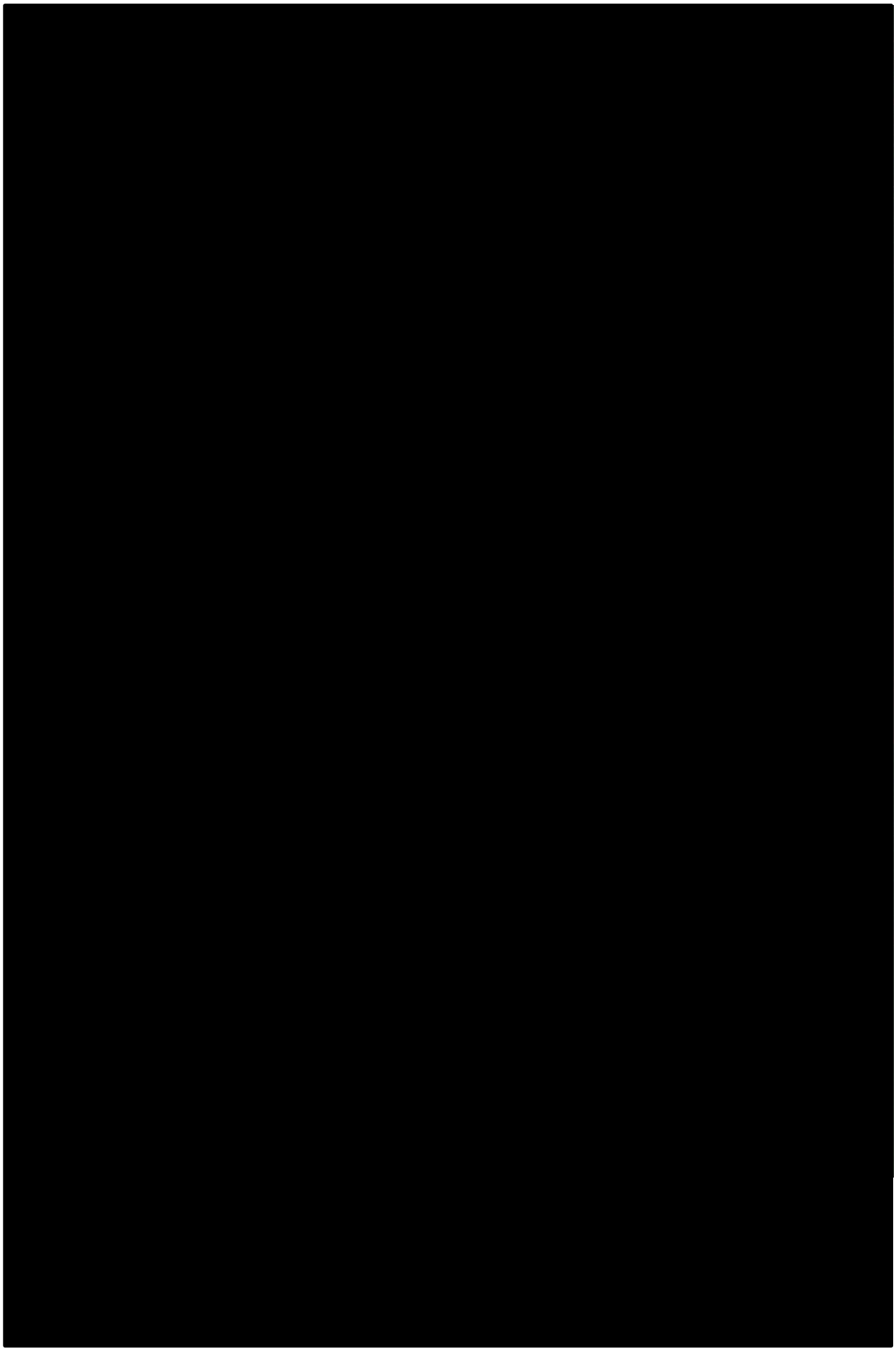


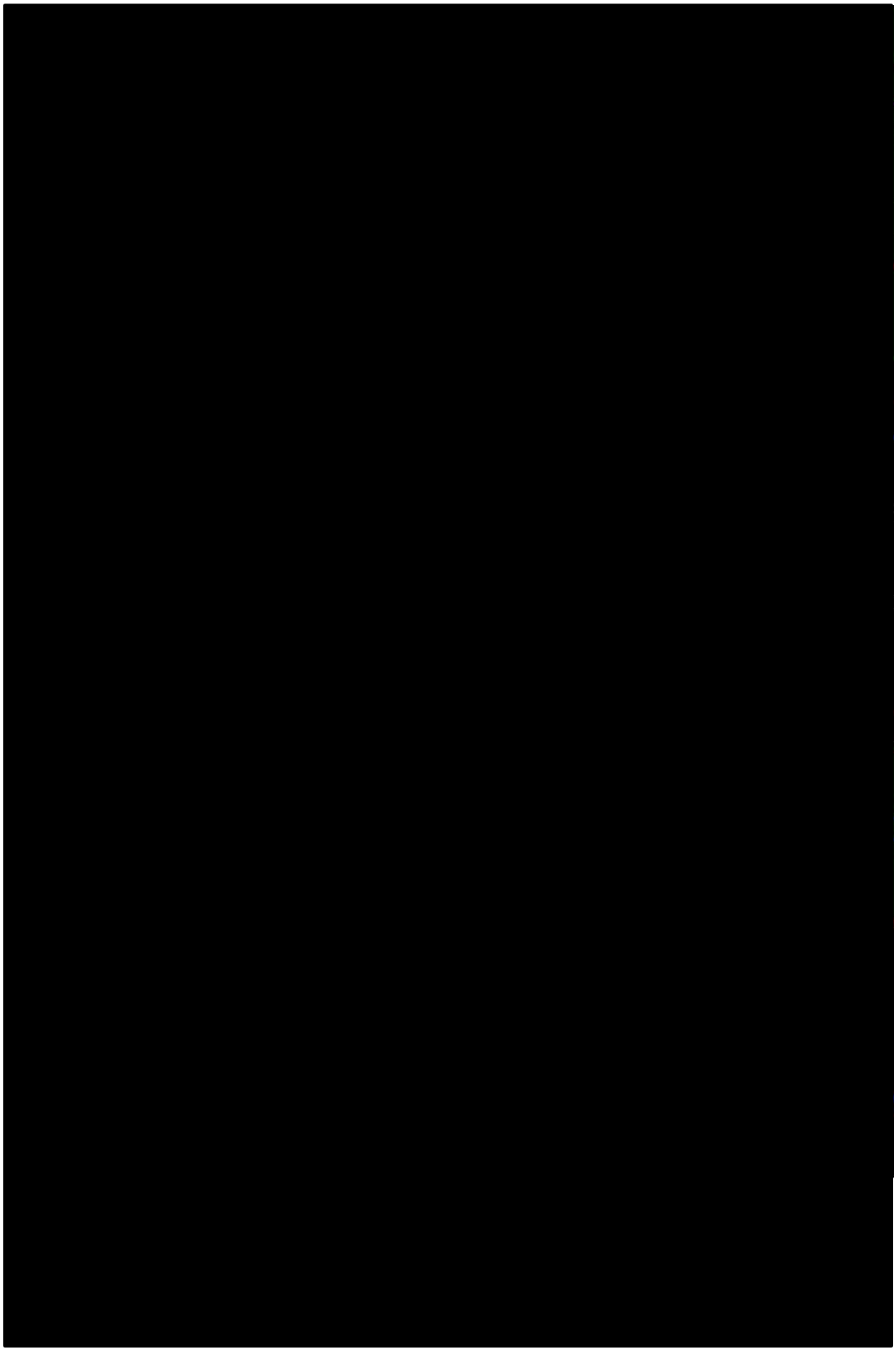


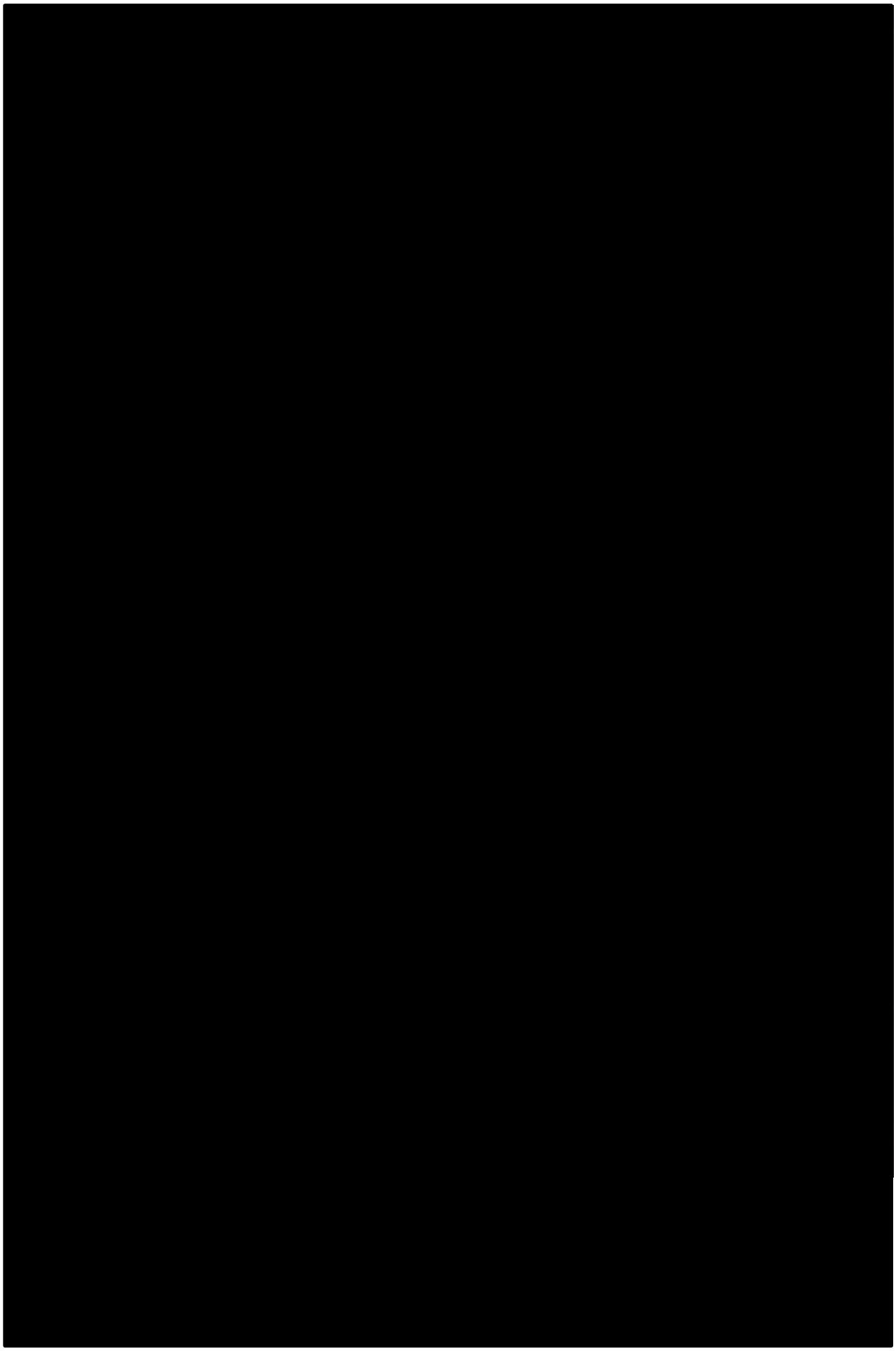


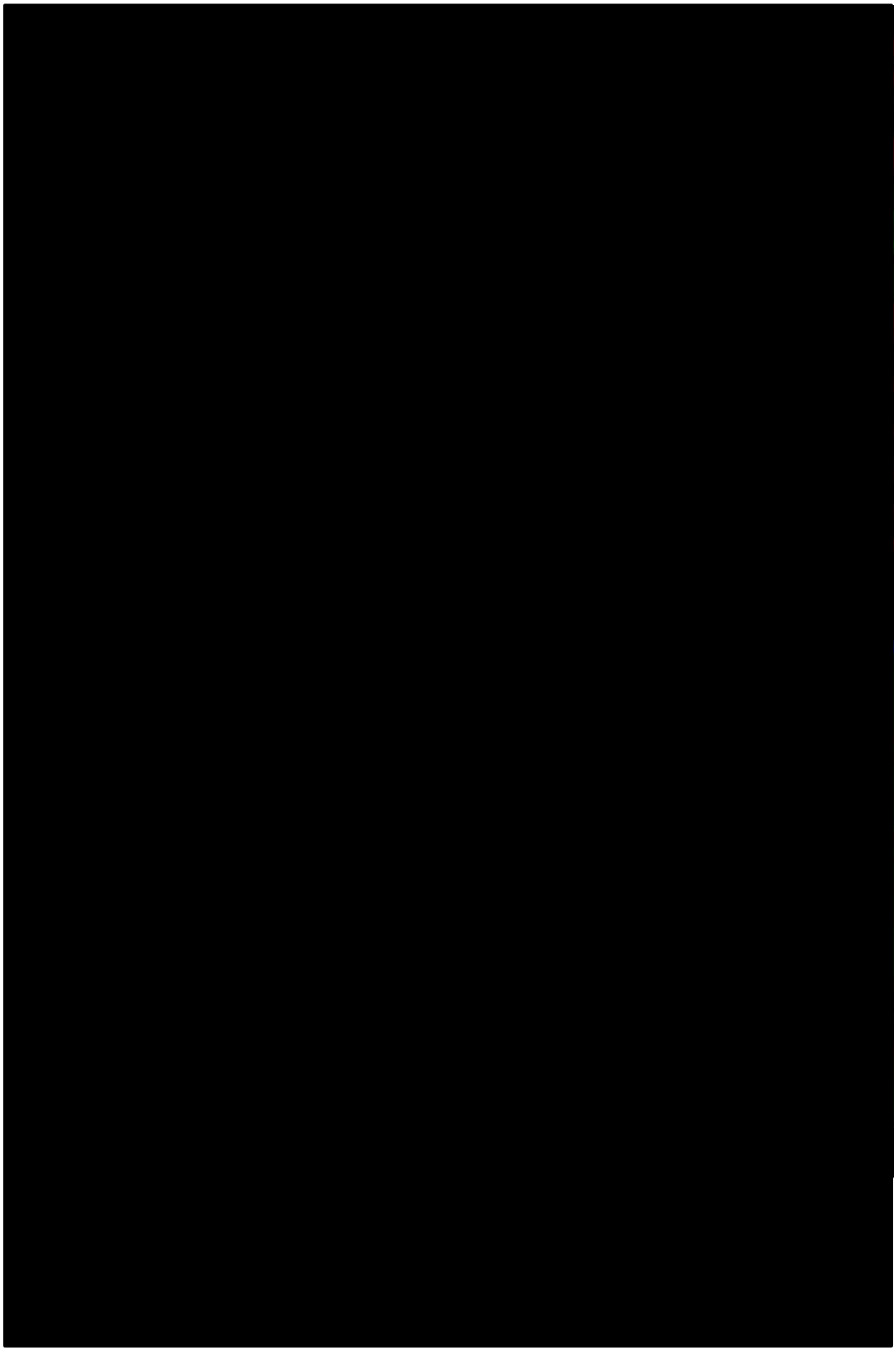




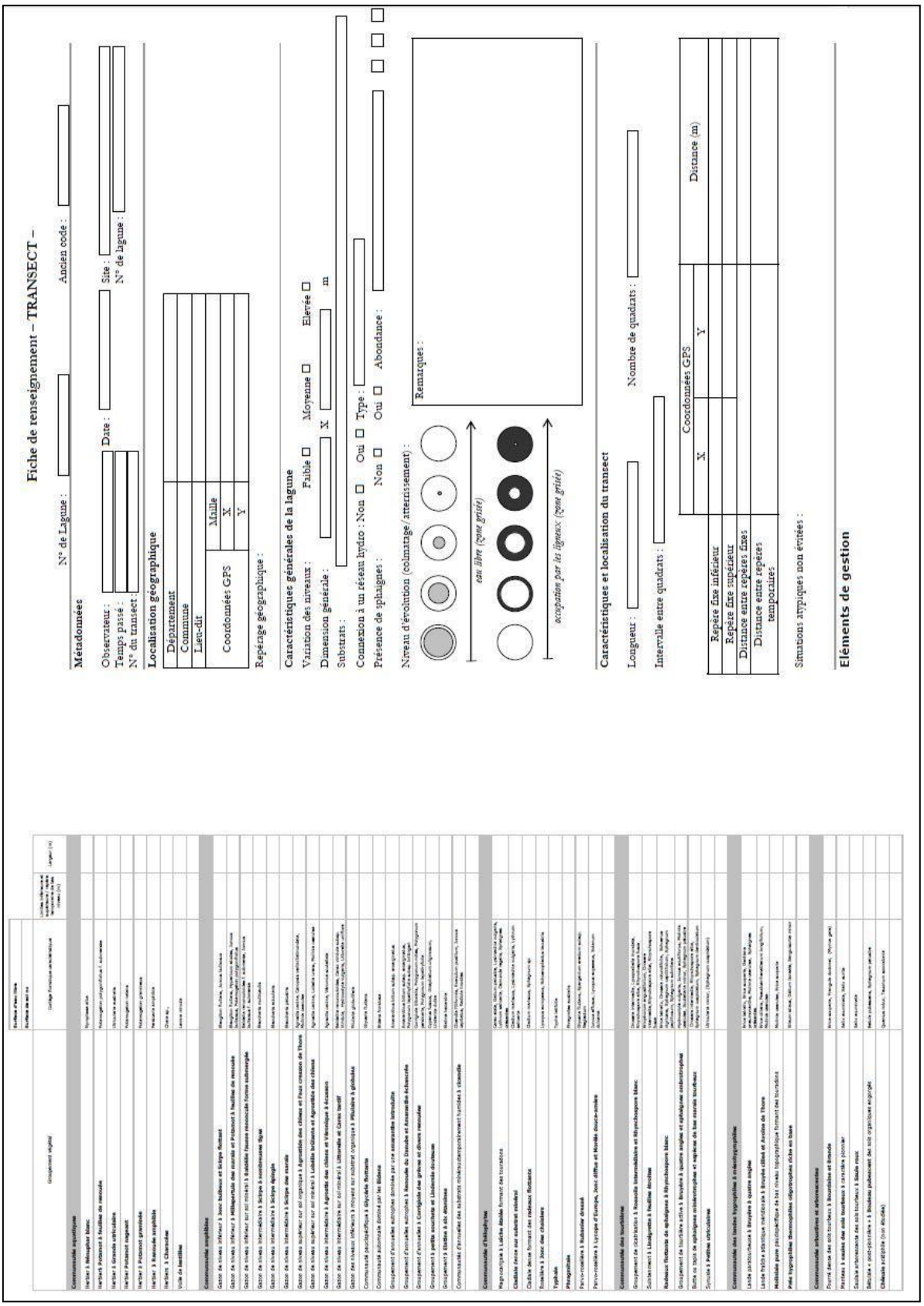




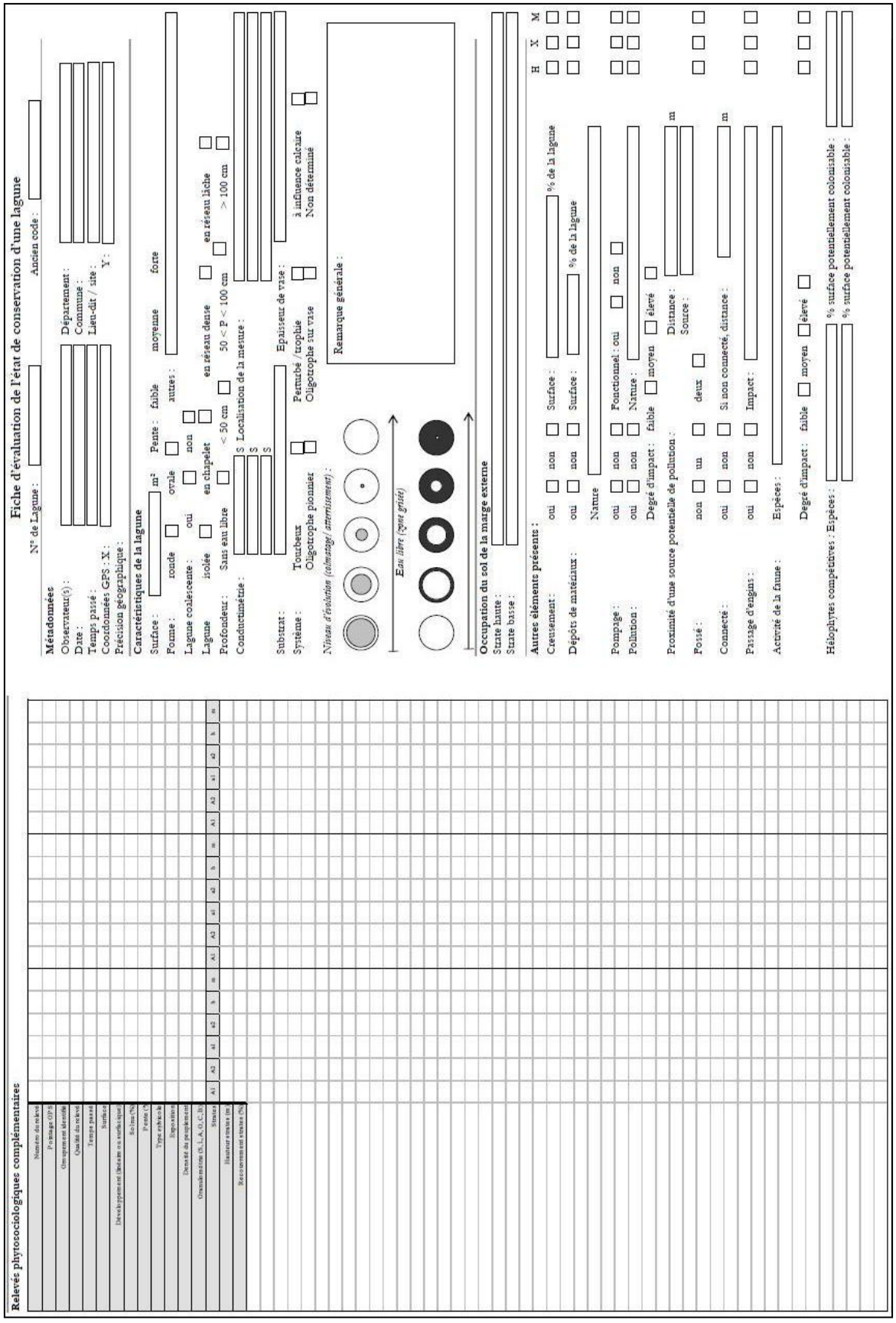




Annexe 20. Fiche de renseignement des transects de lagune (recto et verso)



Annexe 21. Fiche descriptive de lagunes (recto et verso)



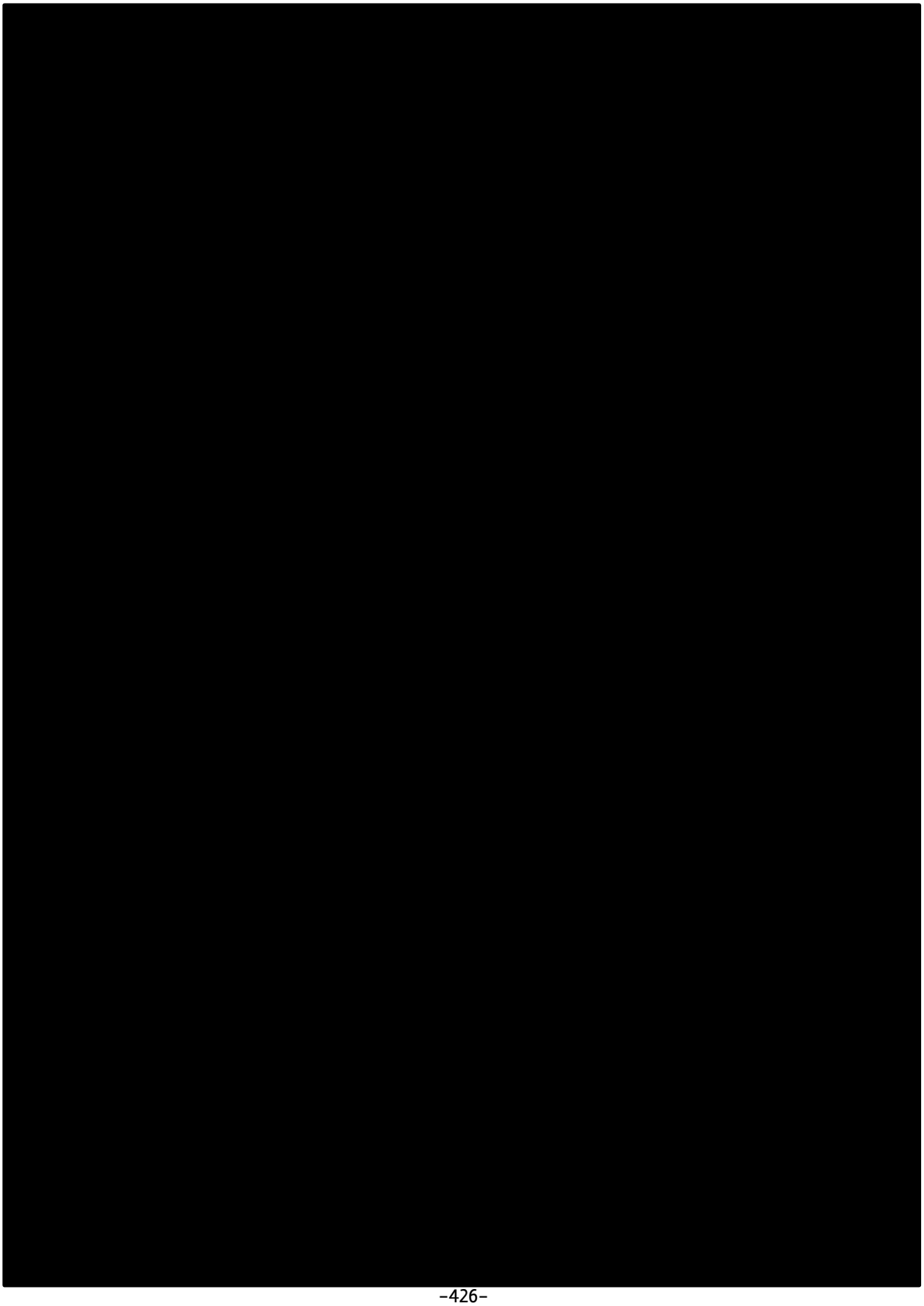
Relevé floristique

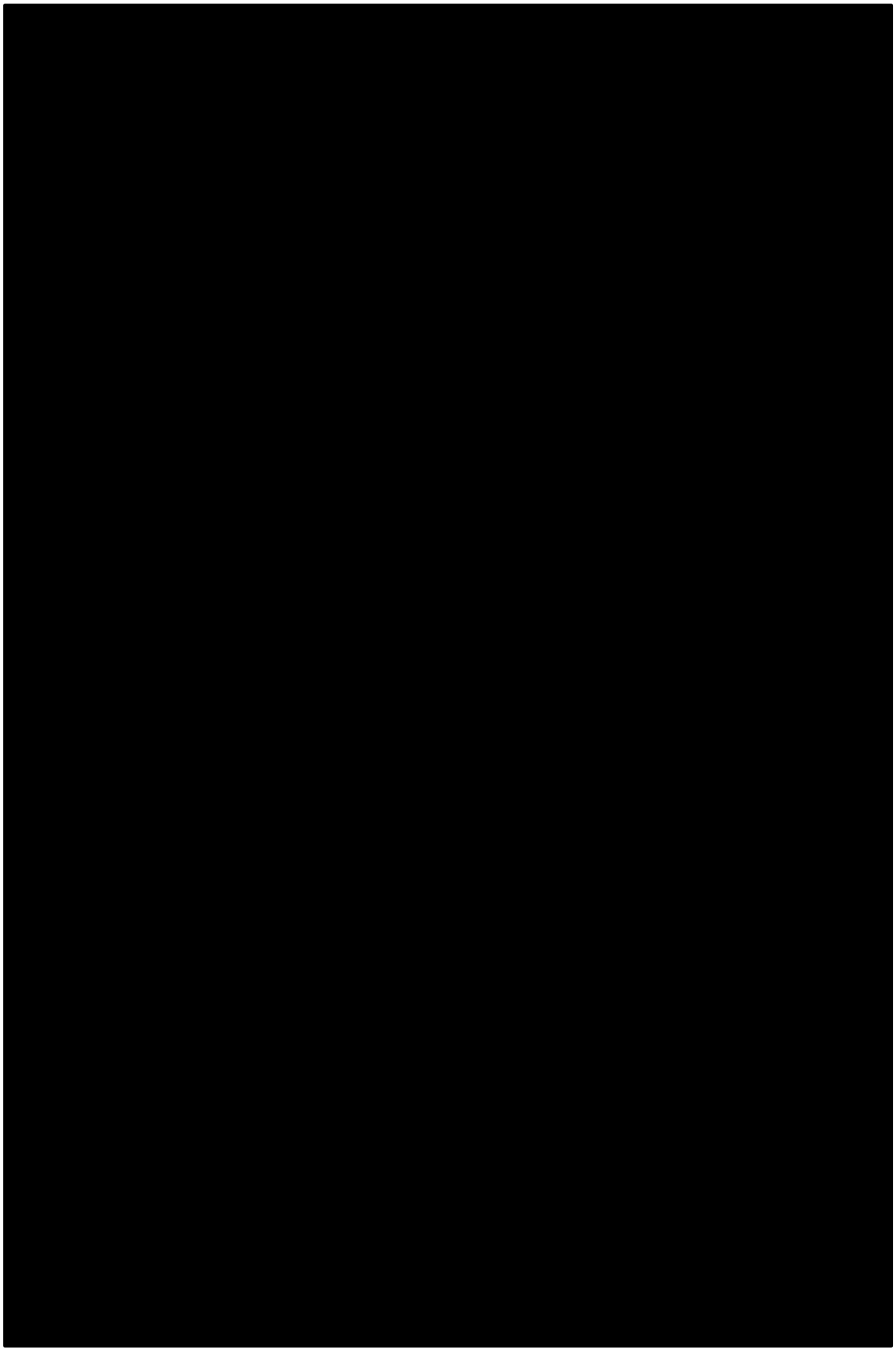
Taxon	H	X	M	Taxon	H	X	M	Taxon	H	X	M
Agrostis canina				Agrostis curtisii				Acer negundo			
Agrostis capillaris				Anagallis tenella				Amaranthus bitum			
Ajuga reptans				Baldellia ranunculoides				Athyrium filix-femina			
Antho xanthum o doratum				Bidens frondo sa				Betula alba			
Arrhenstherum elatius				Blechnum spicant				Carex echinata			
Danthonia decumbens				Calluna vulgaris				Carex trinervis			
Dro sera interm edia				Carex arenaria				Carex viridula subsp. viridula var.			
Eleocharis multicaulis				Carex elata				Carum verticillatum			
Eleogiton fluitans				Carepois verticillatinundatum				Cirsium palustre			
Erica scoparia				Cladium mariscus				Conyza cf canadensis			
Erica tetralix				Daschampsia flexuo sa				Crocosmia x-croco smiflora			
Frangula dodonei				Erica ciliaris				Dro sera rotundifo lia			
Geranium columbinum				Galium debile				Erica cinerea			
Hedera helix				Galium palustre				Eriophorum polystachion			
Hydro cotyle vulgaris				Glyceria fluitans				Eupatorium cannabinum			
Hypericum elodes				Halimium lasianthum subsp.				Gnaphalium uliginosum			
Hypericum humifusum				Ilex aquifo lium				Holcus lanatus			
Hypochaeris radicata				Juncus bufo nius				Juncus acutiflorus			
Jasione montana				Juncus effusus				Juncus conglo meratus			
Juncus bulbo sus				Lysimachia vulgaris				Juncus heterophyllus			
Logfia minima				Melampyrum pratense				Lemna minuta			
Lonicera periclymenum				Osmunda regalis				Littorella uniflora			
Lotus corniculatus				Pinus pinaster				Lobelia urens			
Lyco pus euro paeus				Polygala serpyllifolia				Lotus pedunculatus			
Molinia caerulea				Potamo geto n natans				Lycopodiella inundata			
Nymphaea alba				Potentilla erecta				Lythrum portula			
Oxalis aceto sella				Potentilla montana				Lythrum salicaria			
Phragm ites australis				Pseudarrhenatherum longifolium				Pedicularis sylvatica			
Potamogeton				Ranunculus flammula				Phytolacca americana			
Pteridium aquilinum				Rhyncho spo ra alba				Potamo geto n gramineus			
Quercus robur				Rhyncho spo ra fusca				Pseudo gnaphalium luteo album			
Ranunculus o lo leuco s				Salix aurita				Ranunculus aquatilis			
Rubus cf ulmifolius				Scutellaria minor				Salix repens			
Salix acuminata				Serratula tinctoria				Sparganium erectum			
Scho eno plectus lacustris				Sim ethis m attiazzii				Thelypteris palustris			
Scho enus nigricans				So lanum dulcamara				Typha latifo lia			
Solidago virgaurea				Sphagnum palustre				Ulex minor			
Teucrium scorodonia				Utricularia minor L.				Utricularia ochroleuca			
Ulex euro paeus				Wahlenbergia hederacea				Veronica scutellata			
Utricularia australis								Viola palustris			

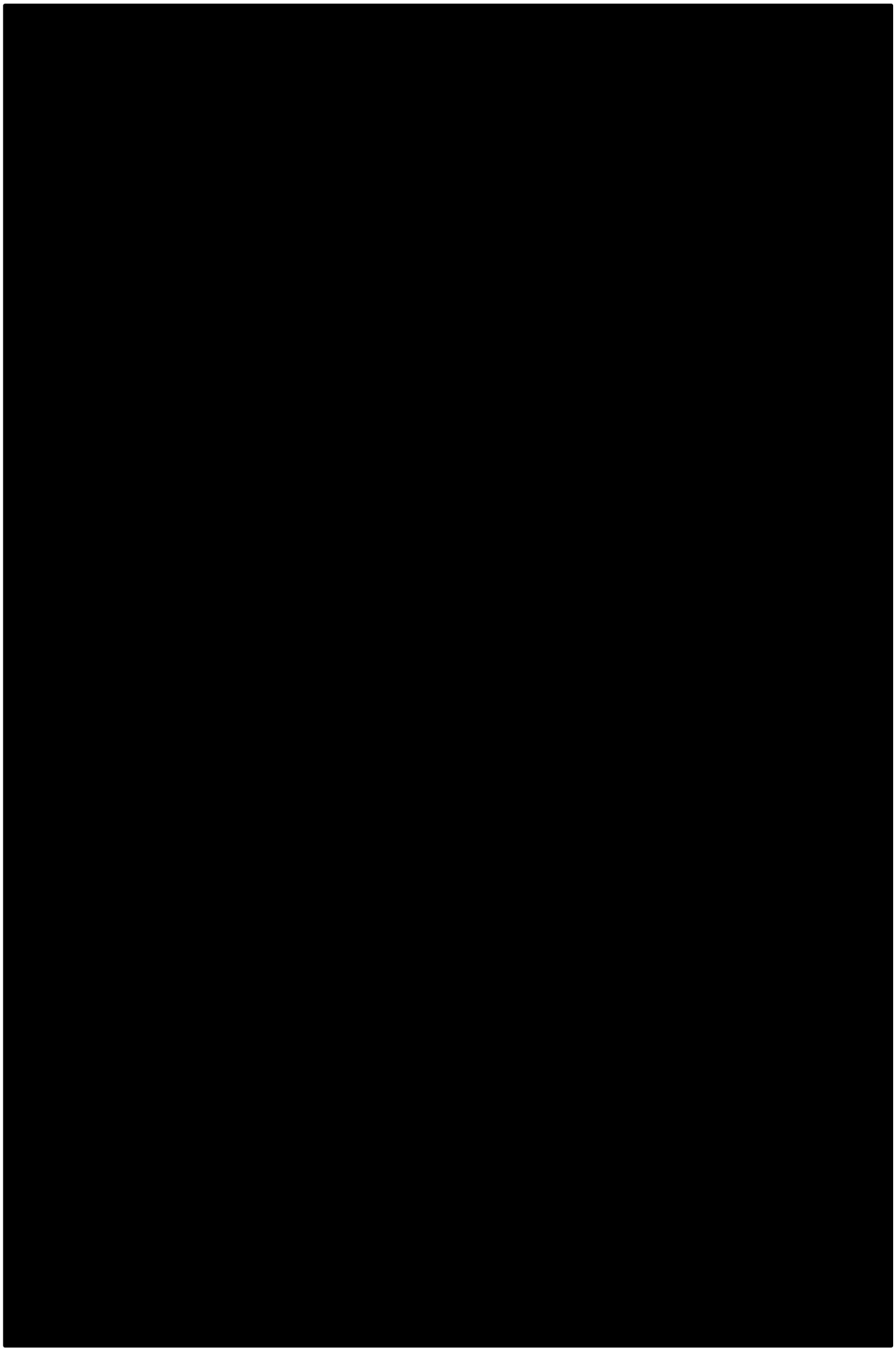
Relevé symphytosociologique

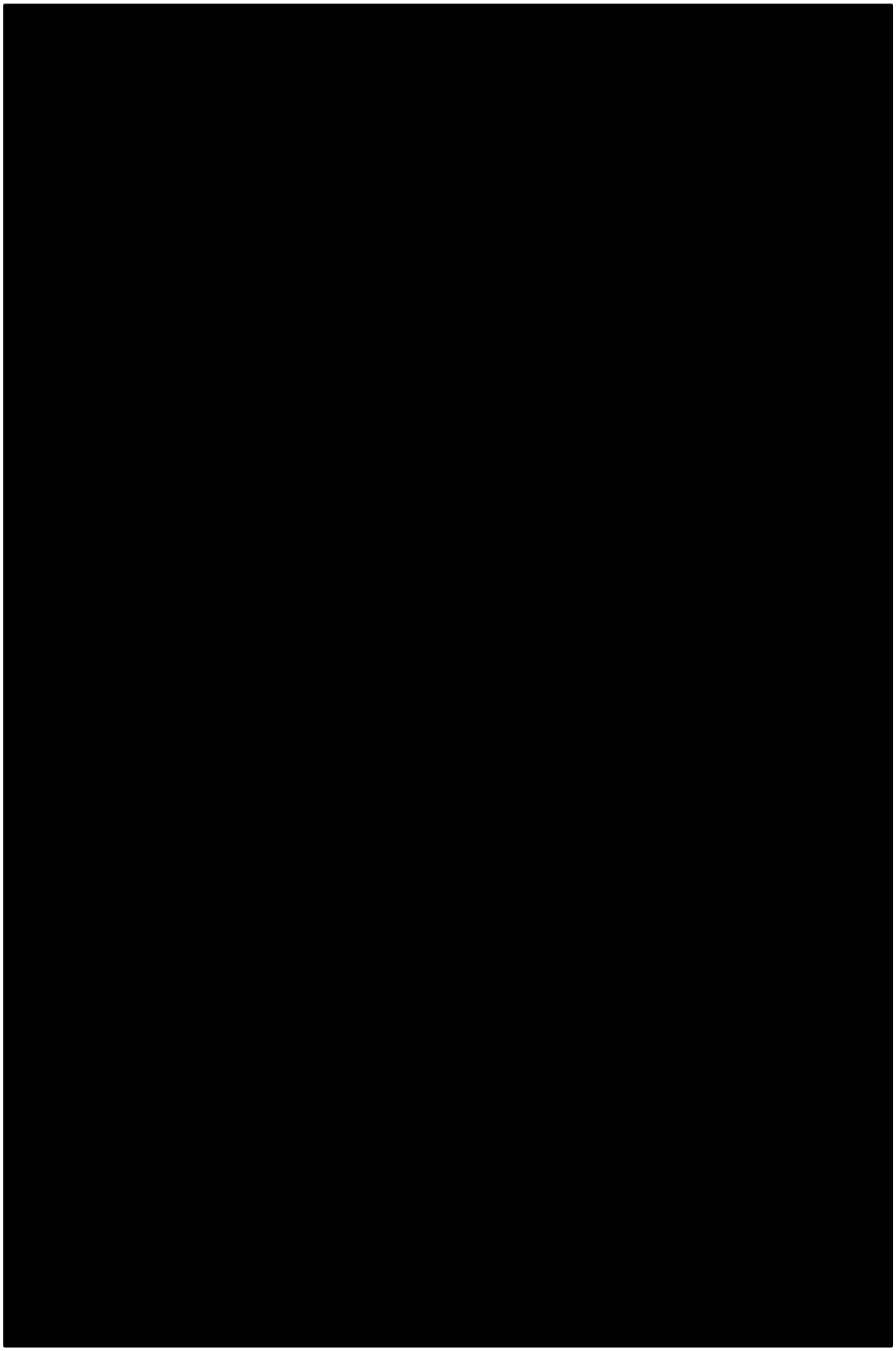
Surface d'eau libre										
Surface de sol nu										
Groupement végétal	Cortège floristique caractéristique	Recouvrement (%)	Relevé atypique	Groupement linéaire	Taxons engagés : Intact	Altéré en fragment récent	Altéré en fragment plus ou moins étendu	Peu fragmenté et peu étendu	Fragmenté et étendu	Non fragmenté et étendu
Communautés aquatiques										
Herbier à **Nénuphar blanc**	Nymphaea alba									
Herbier à **Potamot à feuilles de renoncule**	Potamogeton polygonifolius f. submersus									
Herbier à **Grande utriculaire**	Utricularia australis									
Herbier **Potamot nageant**	Potamogeton natans									
Herbier à **Potamot graminée**	Potamogeton gramineus									
Herbier à **Renoncule amphibie**	Ranunculus amphibius									
Herbiers à **Characées**	Chara sp.,									
Voile de **lentilles**	Lemna minuta									
Communautés amphibies										
Gazon de niveau inférieur à **Jonc bulbeux et Scirpe flottant**	Rorippion fluitans, Juncus bulbosus									
Gazon de niveau inférieur à **Millepertuis des marais et Potamot à feuilles de renoncule**	Rorippion fluitans, Hypericum elodes, Juncus bulbosus, Potamogeton polygonifolius									
Gazon de niveau inférieur sur sol minéral à **Baldellie fausse renoncule forme submergée**	Baldellia ranunculoides f. submersa, Juncus bulbosus f. submersus									
Gazon de niveau intermédiaire à **Scirpe à nombreuses tiges**	Eleocharis multicaulis									
Gazon de niveau intermédiaire à **Scirpe épingle**	Eleocharis acicularis									
Gazon de niveau intermédiaire à **Scirpe des marais**	Eleocharis palustris									
Gazon de niveau supérieur sur sol organique à **Agrostide des chiens et Faux cresson de Thore**	Agrostis canina, Cenopsis verticillatinundata, Molinia caerulea									
Gazon de niveau supérieur sur sol minéral à **Lobélie brûlante et Agrostide des chiens**	Agrostis canina, Lobelia urens, Molinia caerulea									
Gazon de niveau intermédiaire à **Agrostis des chiens et Véronique à écusson**	Agrostis canina, Veronica scutellata									
Gazon de niveau intermédiaire sur sol minéral à **Littorelle et Carex tardif**	Baldellia ranunculoides, Carex viridula subsp. Viridula, Hydrocotyle vulgaris, Littorella uniflora									
Gazon des niveaux inférieurs à moyens sur substrat organique à **Pilulaire à globules**	Pilularia globulifera									
Communauté paucispécifique à **Glycérie flottante**	Glyceria fluitans									
Communauté automnale dominé par les **Bidens**	Bidens frondosa									
Groupement d'annuelles eutrophes dominée par une **amarante introduite**	Amaranthus bitum subsp. emarginatus									
Groupement d'annuelles eutrophes à **Renoncule du Danube et Amarantte échancrée**	Amaranthus bitum subsp. emarginatus, Polygonum lapathifolia subsp. brittingeri									
Groupement d'annuelles à **Corrigiole des grèves et divers renoncules**	Corrigiola littoralis, Polygonum minus, Polygonum persicaria, Polygonum lapathifolia									
Groupement à **petite soucheta et Lindernie douteuse**	Cyperus fuscus, Gnaphalium uliginosum, Lindernia dubia									
Groupement à **Elatine à six étamines**	Elatine hexandra									
Communauté d'annuelles des substrats minéraux temporairement humides à **cicendie**	Cicendia filiformis, Radiola pusilla, Juncus capitatus, Radiola linoides									
Communautés d'hélophytes										
Magnocariçaie à **Laîche étoilée** formant des touradons	Carex acuta, Carex paludosa, Lysimachia vulgaris, Lythrum salicaria, Osmunda regalis, Sphagnum palustre									
Cladiaie dense **sur substrat minéral**	Cladium mariscus, Lysimachia vulgaris, Lythrum salicaria									
Cladiaie dense formant des **radeaux flottants**	Cladium mariscus, Sphagnum sp.									
Roselière à **Jonc des chaisiers**	Lycopus europaeus, Schoenoplectus lacustris									
Typhaie	Typha latifolia									
Phragmitaie	Phragmites australis									
Parvo-roselière à **Rubanier dressé**	Rorippa fluitans, Sparganium erectum subsp. Neglectum									
Parvo-roselière à **Lycope d'Europe, Jonc diffus et Menthe douce-amère**	Juncus effusus, Lycopus europaeus, Solanum dulcamara									
Communautés des tourbières										
Groupement de cicatrisation à **Rossolis intermédiaire et Rhynchospore blanc**	Drosera intermedia, Lycopodiella inundata, Rhynchospora alba, Rhynchospora fusca									
Suintement à **Linaigrette à feuilles étroites**	Rhynchospora angustifolium, Drosera intermedia,Rhynchospora alba, Rhynchospora fusca									
Radeaux flottants de sphaignes à Rhynchospore blanc	Erica tetralix, Drosera rotundifolia, Sphagnum magellanicum, Sphagnum papillosum, Sphagnum papillosum, Sphagnum subsecundum									
Groupement de tourbière active à **Bruyère à quatre angles et sphaignes ombrotrophes**	Hydrocotyle vulgaris, Juncus acutiflorus, Molinia caerulea, Scutellaria minor, Sphagnum papillosum									
Butte ou tapis de **sphaignes mésotrophes** et espèces de bas marais tourbeux	Drosera intermedia, Rhynchospora alba, Sphagnum cuspidatum, Sphagnum denticulatum									
Synusie à **Petites utriculaires**	Utricularia minor, (Sphagnum cuspidatum)									
Communautés des landes hygrophiles à mésohygrophiles										
Lande parasturienne à **Bruyère à quatre angles**	Erica tetralix, Erica scoparia, Genista anglica,Molinia caerulea, Sphagnum subsecundum									
Lande fraîche atlantique méridionale à **Bruyère ciliée et Avoine de Thore**	Erica ciliaris, Pseudarrhenatherum longifolium, Molinia caerulea									
Molinaie pure paucispécifique de bas niveau topographique formant des touradons	Molinia caerulea, Erica scoparia									
Prée hygrophiles thermophiles oligotrophes riche en base	Briza alsea, Galium boreale, Serratula nilotica									
Communautés arbustives et arborescentes										
Fourré dense des sols tourbeux à **Bourdaine et Bruyère**	Erica scoparia, Frangula dodonei, (Hypericales)									
Manteau à **saules des sols tourbeux** à caractère pionnier	Salix aurinivala, Salix aurita									
Saulaie arborescente des sols tourbeux à **Saule roux**	Salix aurinivala									
Bétulaie « post-pionnière » à **Bouleau pubescent** des sols organiques engorgés	Betula pubescens, Sphagnum palustre									
Chênaie acidiphile (non étudiée)	Quercus robur, Teucrium scorodonia									

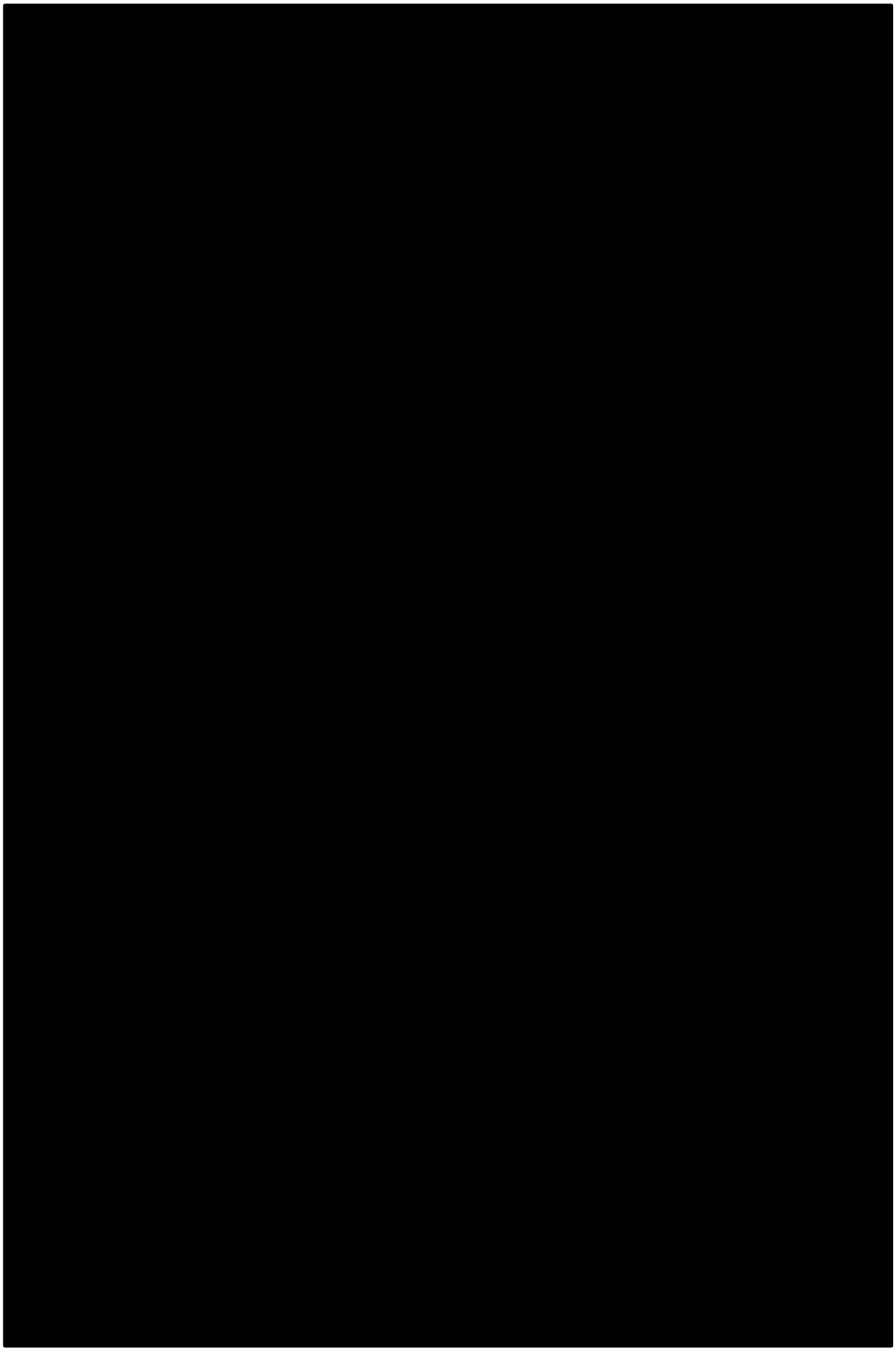
Annexe 22. Cartes de localisation potentielle des transects du suivi odonates en 2017

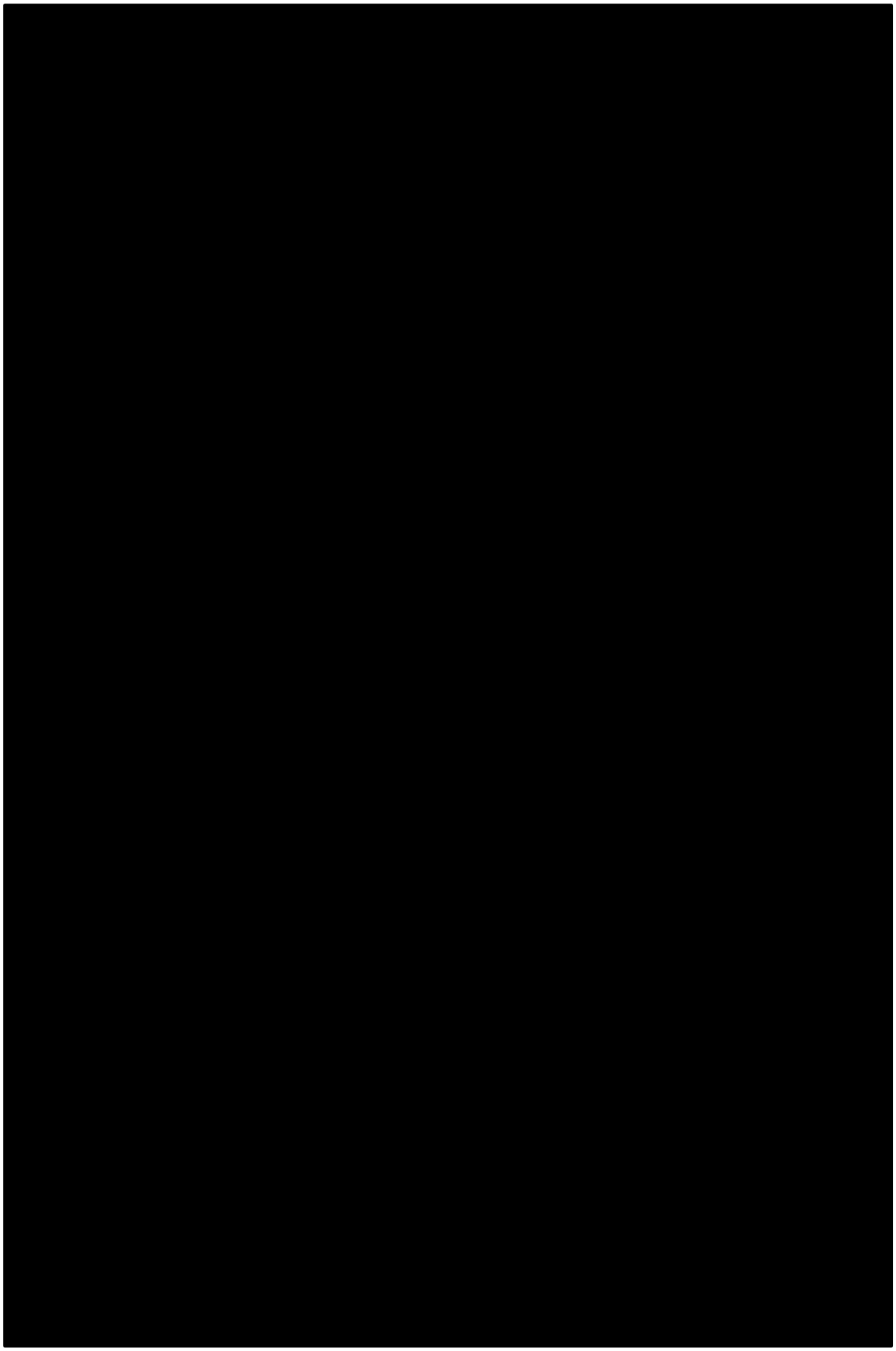


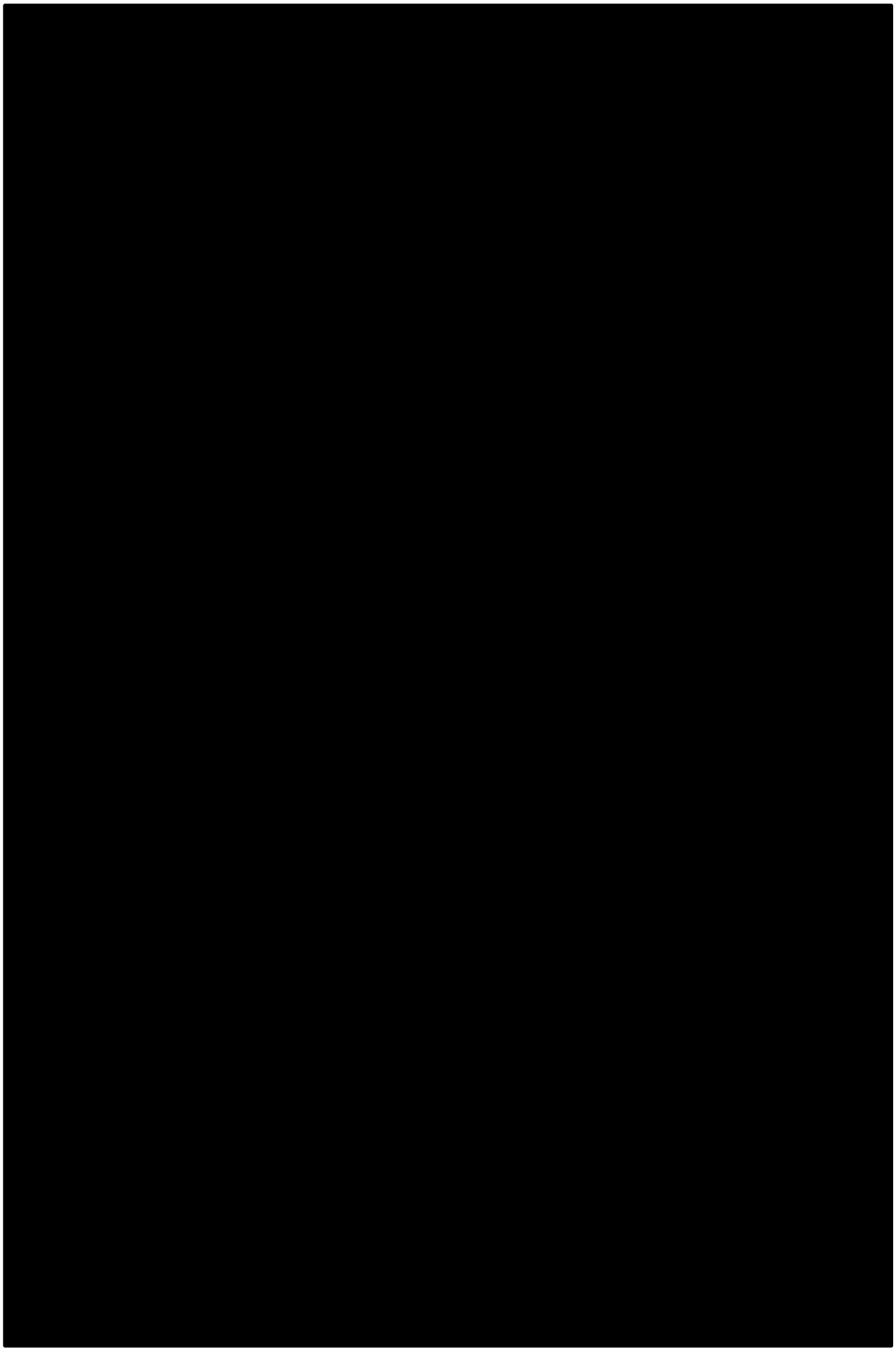




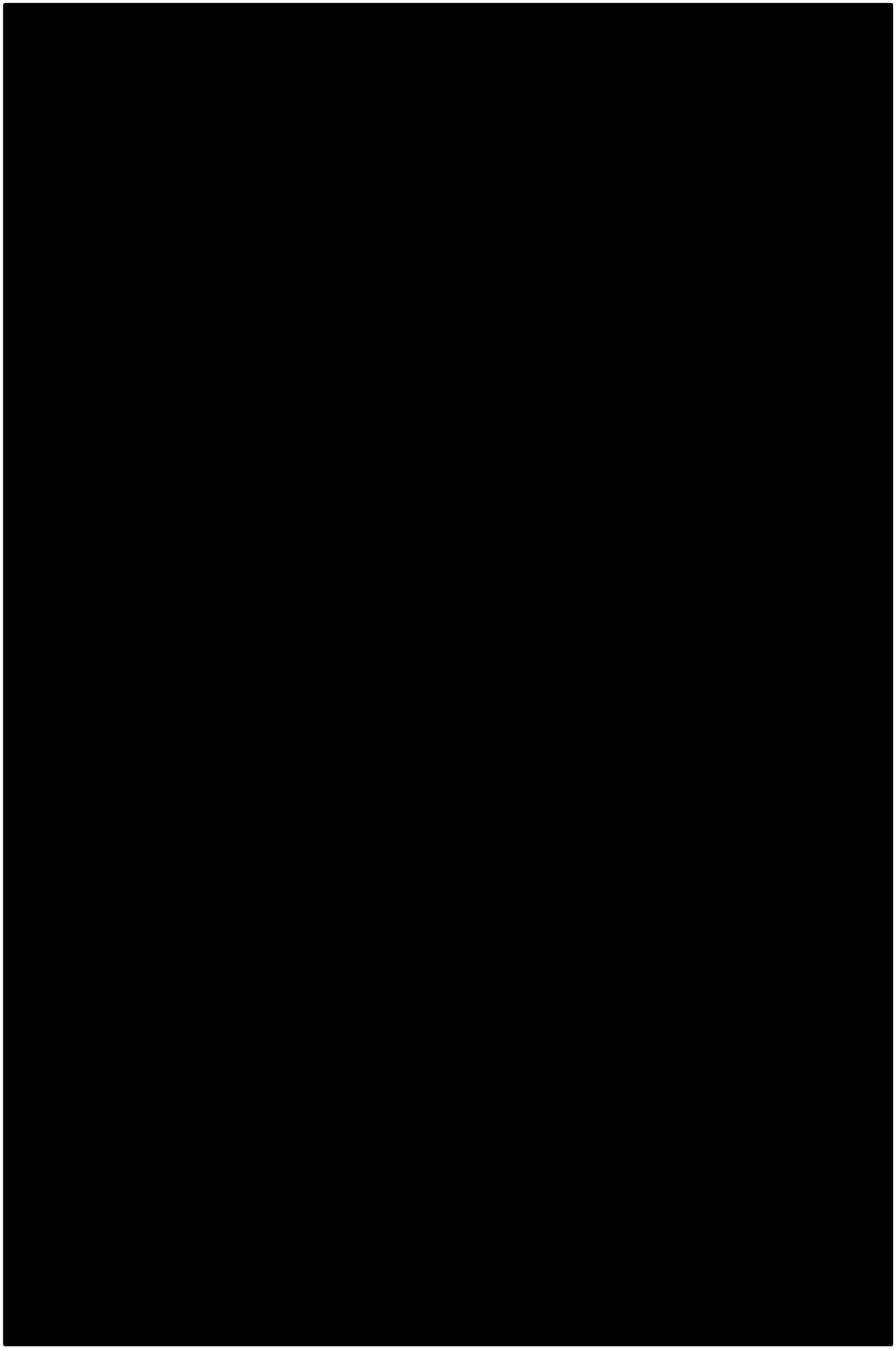


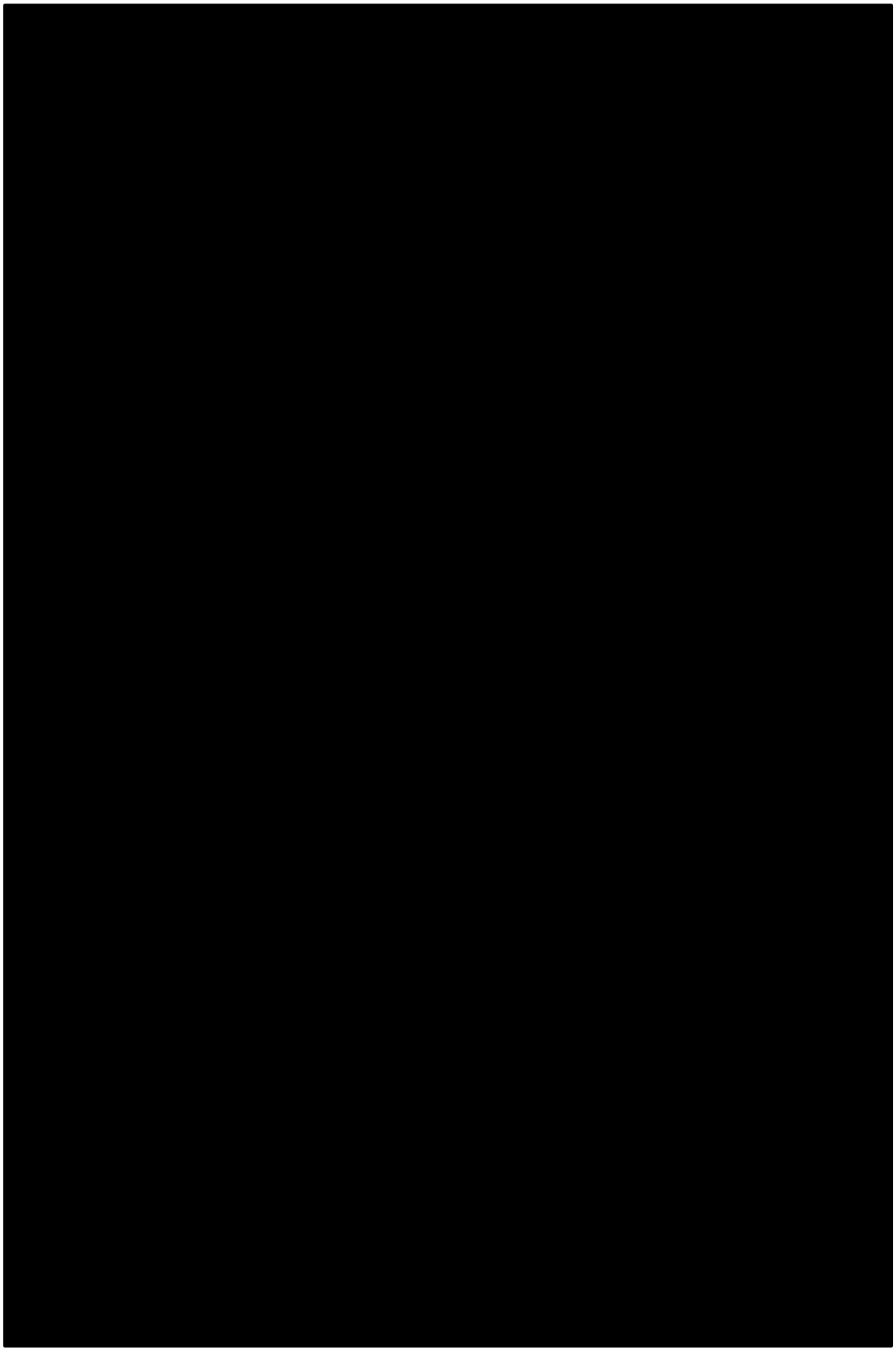


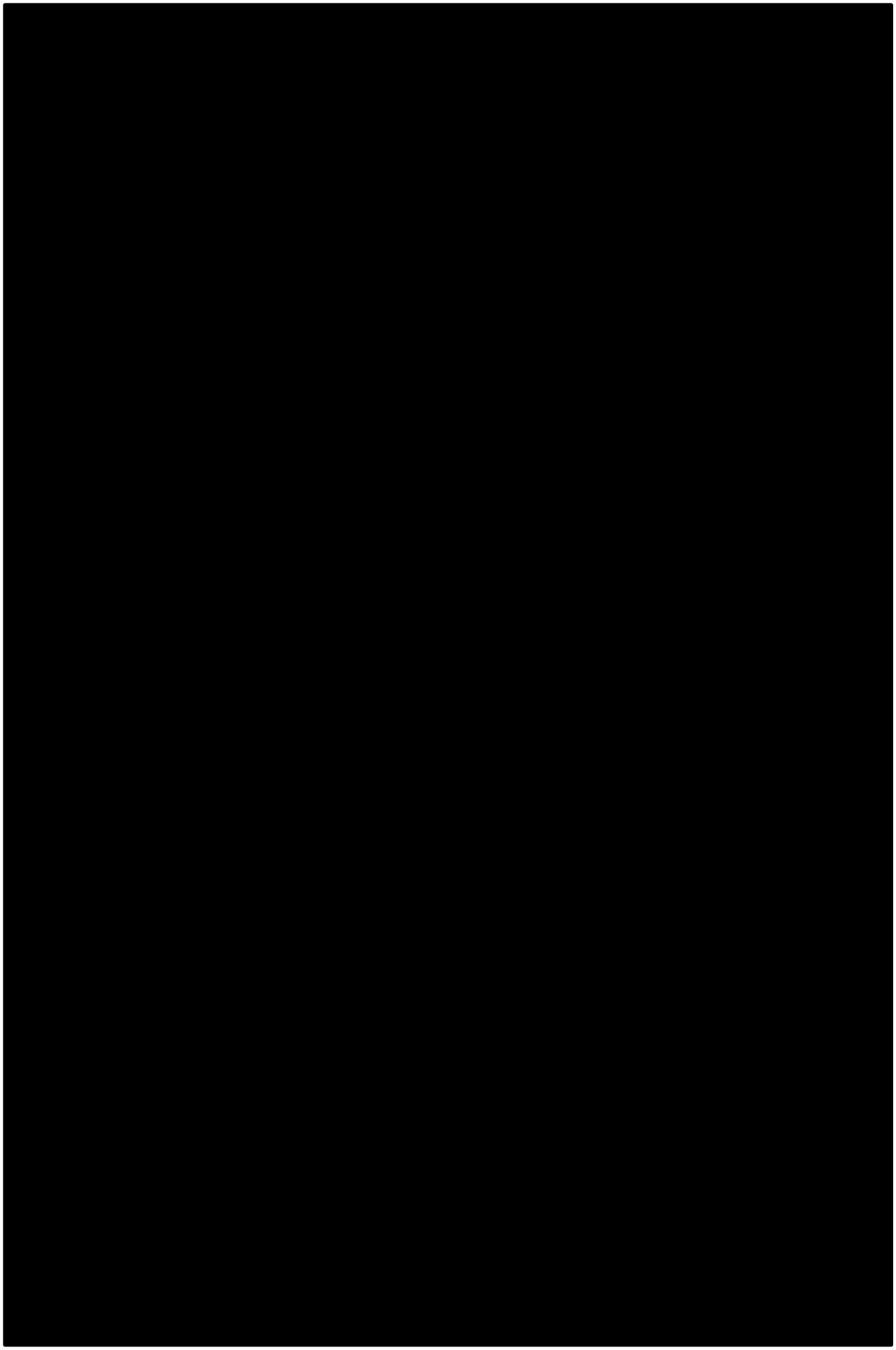


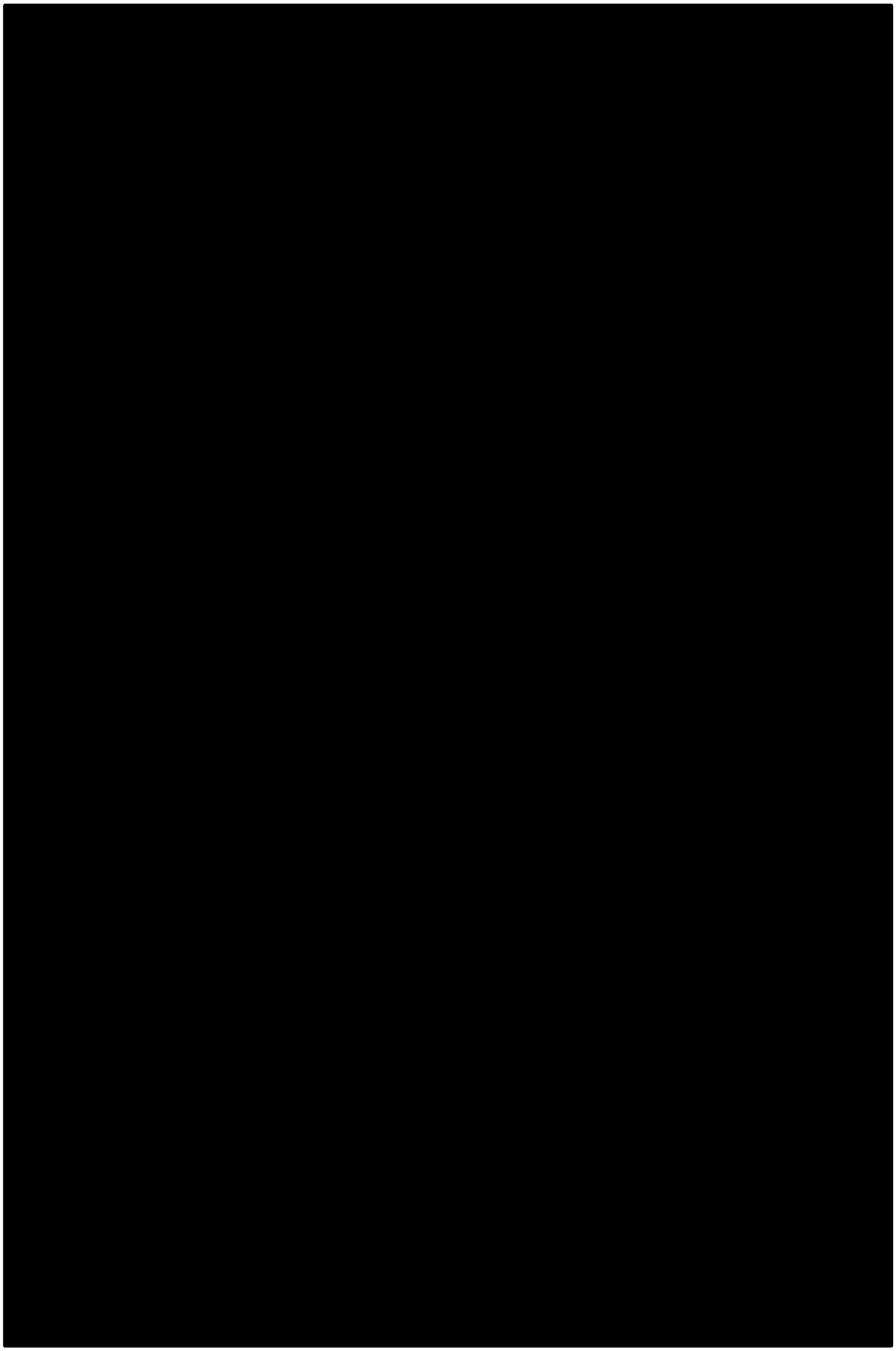


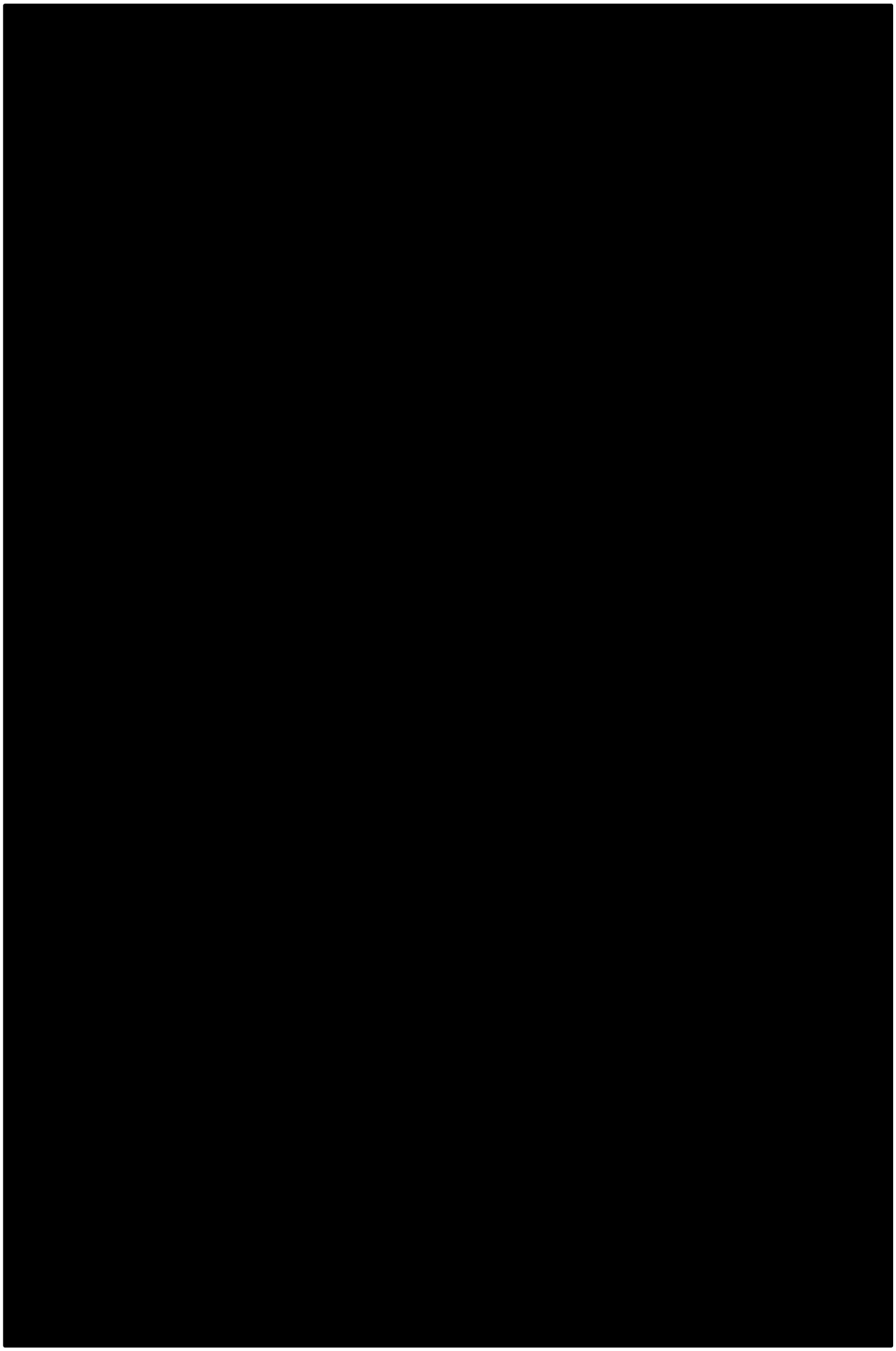
Annexe 23. Cartes de situation des transects sur les étangs arrière-littoraux











Annexe 24. Fiche de renseignements de transect d'étangs arrière-littoraux (recto et verso)

Fiche de relevé de terrrain pour la méthode des transects

Etang :

Code transect :

Métadonnées

Observateur(s) :

Département :

Date :

Commune :

Lieu-dit / site :

Temps passé :

Précision géographique :

Géolocalisation

	Coordonnées GPS		Distance au repère fixe supérieur	Repère naturel 1	Distance (m)	Repère naturel 1	Distance (m)	Précision
	X	Y						
Repère fixe supérieur								
Repère fixe inférieur								
Repère temporaire 1								
Repère temporaire 2								
Repère temporaire 3								
Repère temporaire 4								

Caractéristiques et contenu du transect

Longueur totale (m):

Nombre de quadrats

Situations atypiques non évitées :

N° communauté	Communauté végétale	Intervalle (m)	
		supérieur	inférieur
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			

Schéma linéaire :

Altérations

Liste des atteintes :

	Recouvrement	Habitats	Niveau d'impacts
Atteintes biologiques			
Atteintes physiques			
Atteintes hydrauliques			
Atteintes chimiques			
Autres atteintes			

Perspectives futures

Altérations présentes ou prévisibles menaçant le maintien des habitats ***sur le long terme*** *:*

Atteintes biologiques
Atteintes physiques
Atteintes hydrauliques
Atteintes chimiques
Autres atteintes

Mesures de conservation :
Date de mise en gestion : / /
Gestionnaire :
Mesures de gestion principales :

Relevé floristique

Taxon	Freq	Taxon	Freq	Taxon	Freq

Annexe 25. Fiche de renseignements des quadrats de fréquence d'étangs arrière-littoraux

| | | |

Annexe 26. Protocole de caractérisation des populations de Grenouille des Pyrénées

I – Présentation

Le protocole ici présenté a pour but de quantifier de manière reproductible et fiable la reproduction annuelle de la Grenouille des Pyrénées.

II – Objectif

Les objectifs du protocole sont les suivants :

– Obtenir des données fiables d'abondance sur les différents sites identifiés.

– Mettre en relation les données d'abondance avec les caractéristiques du site d'accueil.

– Proposer une méthode reproductible dans le temps afin de mettre en place une veille écologique des sites de présence de l'espèce.

III – Eléments de base du protocole

Ce protocole propose une méthode de prospection rigoureuse et systématique de sites de présence de la Grenouille des Pyrénées.

III.1 – Recherche de l'espèce

La recherche de la Grenouille des Pyrénées est basée sur le contact visuel des têtards. Ces derniers sont très caractéristiques de l'espèce, et sont aisément visibles dans les eaux claires des vasques des torrents. C'est la méthode la plus aisée et la plus efficace pour conclure sur la présence de l'espèce sur un site.

Les torrents sont les uniques milieux de reproduction de la Grenouille des Pyrénées.

Détermination du têtard de Rana pyrenaica

Très caractéristiques, les têtards de Grenouille des Pyrénées sont noirs pailletés de points blancs ou dorés. La nageoire caudale est largement développée et termine en pointe. Ils atteignent jusqu'à 30 mm.

Les risques de confusion sont faibles : les têtards de Crapaud commun sont gris sombre ou noirs (parfois légèrement tachetés de blanc pâle), mais de dimensions réduites (< 25 mm), et avec une nageoire caudale peu développée et arrondie.

Les têtards d'Alyte accoucheur sont gris ou beige, généralement clairs, avec des tâches foncés sur la nageoire caudale, et une face ventrale très claire. Ils atteignent parfois des dimensions importantes (> 70 mm).

Dans l'aire de répartition de la Grenouille des Pyrénées, les autres espèces d'Anoures n'utilisent pas les torrents comme sites de reproduction.

III.2 – Période et conditions météorologiques favorables

Début mai à fin juillet, période correspondant généralement au développement des têtards de Grenouille des Pyrénées.

Pas de préconisations particulières concernant les conditions météorologiques, mais les jours suivants les périodes des crues sont à éviter (turbidité et niveaux d'eau élevés).

III.3 – Matériel nécessaire pour la prospection

- GPS
- Thermomètre étanche
- Règle blanche graduée
- Appareil photographique
- Plan du site

- Fiches de relevés

IV – Méthodologie détaillée

IV.1 – Délimitation et sectorisation du site d'étude

Le protocole s'applique à l'échelle d'un tronçon de ruisseau préalablement défini. Les limites de ce tronçon devront être parfaitement délimitées et arrêtées sur toute la durée de l'application du protocole. Ce tronçon correspond au site d'étude.

Le site d'étude se voit lui-même délimité en sections de 5 mètres de long, appelées "placettes". Ces placettes devront être parfaitement délimitées et arrêtées sur toute la durée du protocole.

IV.2– Mode de prospection

Les têtards de Grenouille des Pyrénées doivent être recherchés en arpentant les berges des ruisseaux favorables. Les adultes et les pontes ne doivent pas être recherchés spécifiquement, mais seront notés en cas d'observation. Dans la mesure du possible, il est préférable de limiter le piétinement au sein même du ruisseau, et de prospecter en remontant d'aval en amont.

Chaque placette doit être parcourue trois fois au cours de la période définie comme favorable. A chaque passage, la placette est prospectée avec attention afin d'y dénombrer précisément les têtards. Les observations sont notées et quantifiées pour chaque placette et chaque passage. D'autres informations sont également relevées (cf. V – Données à renseigner).

V – Entrée des variables

Deux fiches de renseignements doivent être remplies au total.

– La première fiche "Données de présence & Covariables d'échantillonnage " renseigne, pour chaque placette et chaque passage, les dénombrements concernant l'espèce ainsi que les variables qui différent entre chaque passage (température, hauteur d'eau, etc.).

– La deuxième fiche "Description de la placette" permet un descriptif précis de chaque placette. Ces variables sont fixes durant les différents passages (ex. : altitude).

V.1 – Variables d'échantillonnage

V.1.1 – Météo

- T° 7 jours précédents : Somme de la T° (°C) max des 7 jours précédents le jour de relevé (cf www.meteo64.org –> Tableau horaire –> Pau)

  https://public.meteofrance.com/public/donnees_gratuites?DONNEES_GRATUITES_PORTLET.path=donneesgratuitesbcm

- T° eau : au fond de la vasque la plus profonde.
- Nébulosité : la couverture nuageuse doit être indiquée selon 5 coefficients (1 ≤ 20% ; 20 % < 2 ≤ 40 % ; 40 % < 3 ≤ 60 % ; 60 % < 4 ≤ 80 % ; 5 > 80 %).
- Pluvio. : Non / crachin / pluie faible / pluie soutenue / déluge
- Pluviométrie 7 jours précédents : Somme des mm tombés durant les 7 derniers jours

  https://public.meteofrance.com/public/donnees_gratuites?DONNEES_GRATUITES_PORTLET. path=donneesgratuitesbcm
- Profondeur max. : en cm.
- Turbidité max. : Plonger à la verticale un disque blanc de 10 cm de diamètre au bout d'un manche droit et mesurer la distance à laquelle le disque n'est plus visible. Noter "> à xx cm" en cas de profondeur insuffisante ou de turbidité trop faible.
- Débit : Calculer la vitesse du court d'eau avec un petit élément flottant (type balle de ping-pong) sur une section donnée. Etablir une moyenne (en m/s) sur 3 passages. Puis estimer la surface moyenne (largeur x profondeur) de la section traversée.

  Le débit Q suit la formule suivante : Q (m3/s) = V(m²/s) x S (m²).

V.1.2 – Contact Grenouille des Pyrénées

- Nombre de têtards : Dénombrer précisément le nombre de têtards, sans remuer l'eau ni retourner les pierres.
- Nombre de groupes : Estimer le nombre de vasques distinctes avec nombre de têtards de Grenouille des Pyrénées ≥ 2.
- Nombre d'adultes : Nombre d'adultes observés sans recherche spécifique.
- Nombre de pontes : Nombre d'adultes observés sans recherche spécifique.

V.1.3 – Contact autres faunes

- Nombre adultes de Lissotriton helveticus : Dénombrer précisément le nombre d'adultes de Triton palmé, visibles sans remuer l'eau ni retourner les pierres.
- Nombre adultes de Calotriton asper : Dénombrer précisément le nombre d'adultes de Calotriton des Pyrénées, visibles sans remuer l'eau ni retourner les pierres.
- Nombre de larves de Calotriton asper : Dénombrer précisément le nombre de larves de Calotriton des Pyrénées (attention à la confusion avec les larves de Salamandra salamandra, sans remuer l'eau ni retourner les pierres.
- Nombre de larves de Salamandra salamandra : Dénombrer précisément le nombre de larves de Calotriton des Pyrénées (attention à la confusion avec les larves de Calotriton asper, sans remuer l'eau ni retourner les pierres.
- Nombre de têtards de Alytes obstetricans : Dénombrer précisément le nombre de têtards d'Alyte accoucheur, sans remuer l'eau ni retourner les pierres.

- Nombre de têtards de Bufo bufo : Dénombrer précisément le nombre de têtards de Crapaud commun, sans remuer l'eau ni retourner les pierres.
- Nombre de Pacifastacus leniusculus : Dénombrer précisément le nombre d'Ecrevisse signal, sans remuer l'eau ni retourner les pierres.
- Nombre de Salmo trutta : Noter l'observation de truites.
- Nombre de Natrix maura : Noter l'observation de Couleuvre vipérine.

V.2 – Description de la placette

V.2.1 – Description générale

- Altitude : Cf. GPS
- Largeurs, dénivelé : Estimations au décamètre
- Exposition : Notée S / SE / E / NE / N / NW / W / SW
- Nombre de vasques : nombre de vasques d'un diamètre supérieur à 40 cm.
- Substrat : Argile / Limon / Sable / Sable grossier – gravier – galets / Roche nue Calcaire – Karst / Roche nue Granite
- Distance source : A estimer sous SIG via Scan 25
- Présence connue de P. leniusculus dans le ruisseau : Observation de l'espèce dans le cours d'eau (même hors tronçon).
- Hiver précédent : Caractérisation de la saison hivernale précédent la session :

Moyenne, minimale, maximale des températures entre le 1er novembre et le 1er mars

Total de la pluviométrie entre le 1er novembre et le 1er mars

https://public.meteofrance.com/public/donnees_gratuites?DONNEES_GRATUITES_PORTLET.path=donneesgratuitesbcm

V.2.2 – Description du paysage

- Paysage : Cocher le type de paysage dominant correspondant.
- Présence d'élevage bovin / ovin en amont : non / pâturage occasionnel / parcage

V.2.3 – Description de la végétation

- Strates de végétation : pourcentage de strate chaque strate visible sur la longueur du tronçon depuis le centre du ruisseau

Annexe 27. Protocole de suivi des Lézards pyrénéens

1- Contexte

L'érosion de la biodiversité est constatée par les scientifiques depuis plus de 30 ans. La disparition d'espèces est un phénomène naturel mais la vitesse de disparition actuelle, environ 1 000 fois plus rapide, a conduit certains scientifiques à présager une 6ème grande extinction. Des estimations vont jusqu'à une disparition de 25 % des espèces à cause des changements climatiques d'ici à 2050 sur l'ensemble du globe. Le déclin mondial des Lézards, notamment, est démontré (voir Sinervo et al. 2010).

Le Lézard de Bonnal est l'une des trois espèces d'Iberolézard endémique de la chaîne pyrénéenne. Ces lézards vivent principalement entre 1 800 m et 2 200 m d'altitude. Aujourd'hui, la principale menace qui semble peser sur ces trois espèces est une potentielle élévation des températures. Celles-ci pourraient en effet permettre la remontée d'espèces compétitrices (par exemple le Lézard des murailles) entraînant à terme la disparition des Iberolézard (Pottier 2014).

2- Objectif

L'objectif du protocole est de mesurer l'évolution du rapport de force entre les différentes espèces de lézards sur les sites témoins. Ce protocole doit permettre, sur le long terme, de mettre en évidence l'évolution des répartitions ou des abondances du Lézard de Bonnal, du Lézard des murailles, ou encore du Lézard catalan, au sein de leurs habitats de prédilection. En fonction des caractéristiques du terrain, les sites témoins seront divisés en placettes réparties de façon linéaire ou surfacique.

Ce protocole sera amené à être modifié et amélioré, dans le cadre de l'optimisation des méthodes de suivis qui est une action clé du programme Sentinelles du Climat.

3- Protocole

3.1 Eléments de base du protocole

Le protocole consiste en un dénombrement systématique des différentes espèces, par prise de contact visuel des individus au sein des différentes placettes du site d'étude

3.1.1 Détermination des différents lézards gris des Pyrénées-Atlantiques

Le département des Pyrénées-Atlantiques présente la particularité d'abriter pas moins de quatre espèces de "lézards gris". Ces espèces sont les suivantes (Fig. 149):

- Le Lézard des murailles Podarcis muralis (Laurenti, 1768). Ce lézard est largement réparti en Aquitaine et dans les Pyrénées-Atlantiques. Ubiquiste, il colonise tout type de milieu, avec une préférence pour les milieux rocailleux. Il atteint au moins 2360 m dans le département.

- Le Lézard catalan Podarcis liolepis (Boulenger, 1905). Ce lézard ibérique traverse de part en part les Pyrénées et gagne notamment le Pays basque à l'ouest. Une unique station a

également été découverte dans le Béarn. Cette espèce est strictement rupestre. Thermophile, elle ne dépasse pas 950 m d'altitude en Pyrénées–Atlantiques.

– Le Lézard de Bonnal Iberolacerta bonnali (Lantz, 1927). Endémique de l'ouest des Pyrénées, cette espèce est inféodé aux éboulis et autres structures rocheuses plus ou moins végétalisées d'altitude. Dans les Pyrénées–Atlantiques, sa répartition altitudinale s'étend entre 1991 et 2683 m.

– Le Lézard vivipare Zootoca vivipara (Lichtentein, 1823). Le Lézard vivipare est une espèce adaptée aux milieux frais et humides. Rare et localisée en plaine, cette espèce devient relativement abondante en montagne. Le Lézard vivipare présente une nette préférence pour les habitats de landes et de tourbières, mais devient moins exigeant en altitude, où il atteint 2310 m

La détermination du Lézard de Bonnal et du Lézard vivipare est relativement aisée. Le Lézard des murailles et le Lézard catalan présentent en revanche des similitudes importantes nécessitant une certaine expérience. Le tableau ci–dessous résume les différents outils de détermination (Tab. LXVI).

3.1.2 Période et conditions météorologiques favorables

Les Lézards gris d'Aquitaine sont tous relativement actifs et visibles en journée, en dehors des jours de fort vent, froid, ou jours de pluie. Les conditions optimales de détection se situent entre 17 et 25°C, par ciel ensoleillé, changeant ou légèrement couvert. Les fortes chaleurs sont déconseillées car les Lézards deviennent rapidement inactifs et restent à couvert.

3.1.3 Matériel nécessaire à la prospection

Matériel nécessaire à l'observateur :

- Paire de jumelles
- GPS
- Anémomètre/Thermomètre
- Appareil photographique
- Carte du site (+ placettes ou transect)
- Fiches de relevé

Tab. LXVI. Différents critères de détermination des quatre espèces de Lézards gris d'Aquitaine

	Lézard des murailles	**Lézard catalan**	**Lézard de Bonnal**	**Lézard vivipare**
Forme générale	Lézard aplati horizontalement et robuste	Lézard aplati horizontalement, petit et peu robuste	Lézard aplati horizontalement	Lézard aplati verticalement, généralement petit et trapu
Forme de tête	Museau grand, long et droit	Museau court, fin et pointu	Museau grand et long, arcade sourcilière marquée (profil "crocodilien")	Museau très court et arrondi, tête haute
Ecaillure	Fine	Fine	Fine	Grossière, possibilité de compter les écailles dorsales
Motifs dorsaux	Mâle généralement marbré, ligne vertébrale et aspect ligné fréquents chez les femelles	Mâle généralement marbré, aspect ligné très marqué chez les femelles	Dos uni et flanc sombre, pas de ligne vertébrale sombre	Robe rarement marbré, ligne vertébrale sombre fréquente
Face ventrale	Parfois orangé, écailles latérales bleues fréquentes	Souvent orangé, écailles latérales bleues possibles	Jamais orangé, pas d'écailles latérales bleues	Parfois orangé, pas d'écailles latérales bleues
Ecaille internasale	Ne touche pas la rostrale	Ne touche pas la rostrale	Touche largement la rostrale	Ne touche pas la rostrale
Présence d'un ocelle blanc entouré de noir au-dessus de l'épaule	Oui	Non	Non	Non

Fig. 149. De gauche à droite : Lézard vivipare, Lézard des murailles, Lézard catalan, Lézard de Bonnal

3.2 Méthodologie détaillée

3.2.1 Sites et placettes d'étude

Choix des sites

L'échantillonnage dans le cadre d'enquêtes menées sur des phénomènes distribués spatialement doit reposer, a minima, sur des protocoles probabilistes simples tels que l'échantillonnage aléatoire simple, systématique ou stratifié qui présentent des limites parfois importantes. A l'issue du programme, un protocole probabiliste doit être mis en place de façon à privilégier l'équilibre spatial et permettant de retenir des sites d'étude situés de telle façon qu'il y ait une couverture quasi-équitable du système étudié (Brown, Robertson & McDonald 2015).

Effort de suivi

En l'absence d'information initiale sur la détectabilité des espèces choisies et de modèles simples de calcul de la performance des estimateurs d'abondance, le suivi pourra démarrer sur la base d'une information pragmatique simple. Au fil du temps, dans une logique adaptative, la taille optimale des sites et l'effort optimal de suivi envisageable ou réalisable pourront être estimés sur la base des informations acquises.

Contexte surfacique :

Le "Site" correspond à une zone géographique étudiée, abritant une population d'une ou des espèces cibles. Sur le site sont placées des "placettes" pré-géolocalisées.

Contexte linéaire :

Le "Site" correspond à une zone géographique étudiée, abritant une population d'une ou des espèces cibles. Le site est traversé par un cheminement linéaire ("transects") prédéterminé (Fig. 150).

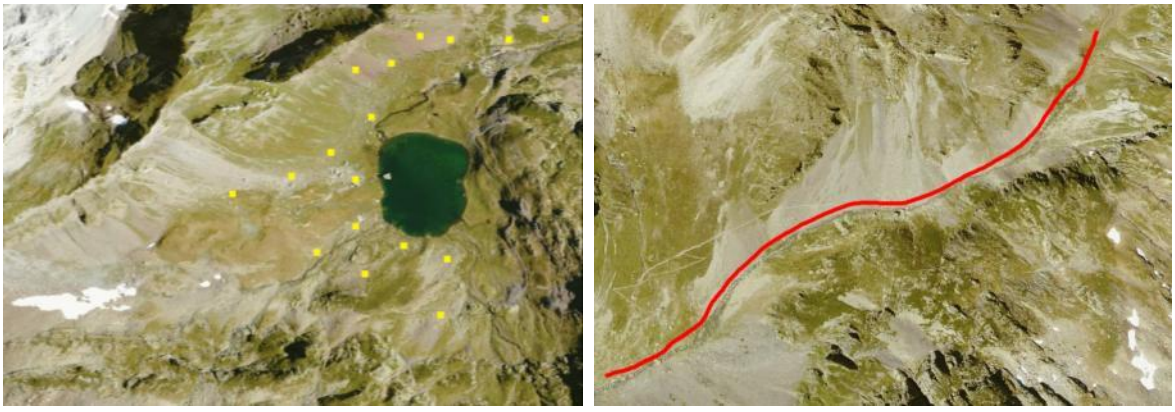


Fig. 150. Disposition en placettes à gauche, et transect à droite

3.2.2 Mode de prospection et de relevé

Sur placettes : Observation et dénombrement des lézards avec une prospection lente et aléatoire. 10 minutes par placettes maximum. 3 passages par placettes espacées d'une semaine minimum.

Sur transects : Déplacement lent avec observation des lézards. Dénombrement et géolocalisation systématique des différents individus. Durée de prospection chronométrée et équivalente à chaque passage. 3 passages espacés d'une semaine minimum.

Attention ! Pour chaque espèce et chaque site, les dates de passages devront être similaires d'une année sur l'autre (à deux semaines près). Par exemple pour le Lézard de Bonnal : Une prospection la première quinzaine de juillet, une prospection la deuxième quinzaine de juillet, une prospection la première quinzaine d'août.

3.3 Collecte des données

Pour chaque site : (covariables de site et d'échantillonnage)

– Heure du début et de fin : la durée de la prospection doit globalement être la même pour un même site.

– T° : valeur maximale indiquée par le thermomètre/anémomètre (en degré Celsius) prise à hauteur d'homme.

– Vent : valeur maximale indiquée par le thermomètre/anémomètre (en m/s) sur une minute, à hauteur d'homme et face au vent.

– Nuage : la couverture nuageuse doit être indiquée selon 5 coefficients ($1 \leq 20\%$; $20\% < 2 \leq 40\%$; $40\% < 3 \leq 60\%$; $60\% < 4 \leq 80\%$; $5 > 80\%$).

– Nom de l'observateur

Pour chaque observation d'individu unique : (données spécifiques)

– Nom de l'espèce

– Sexe, stade : si le type d'observation le permet, l'observateur peut estimer le sexe (mâle, femelle, indéterminé), et le stade de l'animal (juvénile, adulte).

– Coordonnées GPS : les champs renseignées sont, de gauche à droite, la latitude et la longitude (projection : WGS 84).

– Altitude

– Photos : si une photo est réalisée, celle–ci doit être référencée.

– Commentaires : tout type d'information utile à l'interprétation des résultats.

4– Modélisation des données collectées

4.1 Modèles dynamiques d'occupation et d'abondance

Les modèles d'occupation de sites ont été introduits indépendamment par MacKenzie et al. (2003) et Tyre et al. (2003). Ce sont des modèles hiérarchiques de régression qui modélisent de façon conjointe la probabilité d'occupation (ou l'abondance) et la probabilité de détection de chaque espèce suivie. Ils autorisent un cadre extrêmement flexible de modélisation, avec une approche fréquentiste ou une approche bayésienne, et permettent l'introduction de covariables (de site et/ou d'échantillonnage). Dans le cadre du programme « Sentinelles du climat », la modélisation des données sera basée sur les modèles dynamiques d'occupation et d'abondance (ex. Royle & Kéry 2007 ; Kéry & Schaub 2012). Ces modèles permettent de prendre en compte les changements temporels survenant dans l'état d'occupation de sites ou l'abondance en introduisant des paramètres supplémentaires (probabilité d'extinction et probabilité de colonisation) en modélisant la transition de l'état d'occupation entre instants successifs.

L'utilisation rigoureuse de ces modèles repose sur certaines conditions (Ferguson *et al*. 2015 ; Miller *et al*. 2015), parmi lesquelles, l'indépendance des sites et des relevés l'absence d'hétérogénéité non modélisée, l'absence de faux-positifs (= il est possible de rater une espèce alors qu'elle est présente, mais elle ne peut pas être détectée quand elle n'est pas présente !).

4.2 Format des données

Les données seront intégrées en suivant le modèle d'un fichier Excel prêt à remplir qui sera fourni à l'utilisateur.

Références sélectionnées:

Brown J.A., Robertson B.L. & McDonald T. (2015). Spatially Balanced Sampling: Application to Environmental Surveys, Procedia Environmental Sciences, Spatial Statistics conference 2015. 27: 6–9. 4.

Berroneau M., D'Amico F., Fournier A., Desvaux B. & Chazal R. (2015). Trois années de suivi des populations françaises de Rana pyrenaica Serra Cobo, 1993 (Amphibia : Ranidae) : premières estimations d'abondance des têtards. Bull. Soc. Herp. Fr. 156 : 31–44

Ferguson, P. F.B., Conroy, M. J. and Hepinstall-Cymerman, J. (2015), Occupancy models for data with false positive and false negative errors and heterogeneity across sites and surveys. Methods Ecol Evol, 6: 1395–1406.

Guillera-Arroita, G., Ridout, M.S. & Morgan, B.J.T., (2010). Design of occupancy studies with imperfect detection. Methods in Ecology & Evolution. 1: 131–139.

Kéry M., Schaub M. (2012). *Bayesian Population Analysis using WinBUGS – a hierarchical perspective*. Ed *Academic Press.*

MacKenzie, D.I. & Royle, J.A. (2005) Designing occupancy studies: general advice and allocating survey effort. Journal of Applied Ecology. 42: 1105–1114.

MacKenzie, D.I., Nichols, J.D., Hines, J.E., Knutson, M.G., Franklin, A.B., 2003. Estimating site occupancy, colonization, and local extinction when a species is detected imperfectly. *Ecology* 84, 2200–2207.

MacKenzie, D.I., Nichols, J.D., Royle, J.A., Pollock, K.H., Bailey, L.L. & Hines, J.E. (2006) *Occupancy Estimation and Modeling: Inferring Patterns and Dynamics of Species Occurrence*. Elsevier, San Diego, CA.

MacKenzie, D.I., Nichols, J.D., Seamans, M.E., Gutierrez, R.J., 2009. Modeling species occurrence dynamics with multiple states and imperfect detection. *Ecology* 90, 823–835.

Miller, D. A. W., Bailey, L. L., Grant, E. H. C., McClintock, B. T., Weir, L. A. and Simons, T. R. (2015), Performance of species occurrence estimators when basic assumptions are not met: a test using field data where true occupancy status is known. Methods Ecol Evol, 6: 557–565.

Moore, A. L. and McCarthy, M. A. (2016), Optimizing ecological survey effort over space and time. Methods Ecol Evol. doi:10.1111/2041-210X.12564.

Pottier G. 2014 – Cahier technique – Lézards des Pyrénées, Iberolacerta. Nature Midi-Pyrénées, 58 p.

Royle, J.A., Kéry, M., 2007. A Bayesian state-space formulation of dynamics occupancy models. *Ecology* 88, 1813–1823.

Sinervo, B., F. Méndez-de-la-Cruz, D. B. Miles, B. Heulin, E. Bastiaans, M. Villagran-Santa Cruz, R. Lara-Resendiz, N. Martínez-Méndez, M. L. Calderón-Espinosa, R. N. Meza-Lázaro, H. Gadsden, L. J. Avila, M. Morando, I. J. De la Riva, P. Victoriano Sepulveda, C. F. Duarte Rocha, N. Ibargüengoytía, C. A. Puntriano, M. Massot, V. Lepetz, T. A. Oksanen, D. G. Chapple, A. M. Bauer, W. R. Branch, J. Clobert, and J. W. Sites Jr. 2010. Erosion of lizard diversity by climate change and altered thermal niches. Science 328:894–899.

Tyre, A.J., Tenhumberg, B., Field, S.A., Niejalke, D., Parris, K., Possingham, H.P., 2003. Improving precision and reducing bias in biological surveys: estimating false-negative error rates. *Ecol. Appl*. 13, 1790–1801.

Yoccoz, N.G., Nichols, J.D. & Boulinier, T. (2001) Monitoring of biological diversity in space and time. Trends in Ecology & Evolution. 16: 446–453

les sentinelles du climat

Avec le soutien de :