



HAL
open science

QUELLES MODALITES DE PERENNISATION ET DE VALORISATION DES SUIVIS DE BIODIVERSITE LIES AU DISPOSITIF ALPAGES SENTINELLES ?

Gregory Loucougaray, Camille Martinez-Almoyna, Renaud Jaunatre, Emilie Crouzat

► To cite this version:

Gregory Loucougaray, Camille Martinez-Almoyna, Renaud Jaunatre, Emilie Crouzat. QUELLES MODALITES DE PERENNISATION ET DE VALORISATION DES SUIVIS DE BIODIVERSITE LIES AU DISPOSITIF ALPAGES SENTINELLES ?. INRAE. 2024. hal-04717206

HAL Id: hal-04717206

<https://hal.science/hal-04717206v1>

Submitted on 1 Oct 2024

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.



Convention OFB-SDA

Livrables

Alpages Sentinelles

QUELLES MODALITES DE PERENNISATION ET DE VALORISATION DES SUIVIS DE BIODIVERSITE LIES AU DISPOSITIF ALPAGES SENTINELLES ?

Note de synthèse pour une contribution à la réflexion autour du rôle des observatoires multipartenaires pour la stratégie de la surveillance de la biodiversité terrestre de l'OFB



Alpages Sentinelles

Loucougaray, G., Martinez-Almoyna, C., Jaunâtre, R. & Crouzat, E.

INRAE, LESSEM, Grenoble, France

Importance des mesures empiriques dans le cadre d'observatoires sur le long terme de la diversité végétale

La prise de conscience aiguë des changements globaux et de leur impact potentiel sur la biodiversité au sein des écosystèmes a soulevé, ces dernières décennies, la nécessité de pouvoir évaluer et suivre ces changements de façon empirique. L'intérêt des modèles, parfois très performants, n'est pas à remettre en cause, mais souvent, ceux-ci s'appuient sur des hypothèses qui requièrent des simplifications, concernent des échelles larges pas toujours compatibles avec des enjeux locaux de conservation ou de gestion et doivent pouvoir s'appuyer, être calibrés et validés par des données d'observation (e.g. Hannah et al, 2002 ; Quillet et al, 2010 ; Sieck et al, 2011). Ce contexte global génère des besoins d'observations et de connaissances de terrain issues de données à différentes échelles qui permettent de prendre en compte à la fois une profondeur temporelle suffisante, mais également la variété des conditions environnementales, des conditions de gestion, et donc des habitats exposés à ces changements.

De telles connaissances empiriques, notamment pour la diversité végétale, peuvent être acquises sur la base essentiellement d'observatoires de la diversité, c'est-à-dire de réseaux de sites qui permettent le suivi de la biodiversité à différentes dates, de façon diachronique, et de préférence avec un recul historique suffisant pour prendre en compte les dynamiques passées déjà influencées par les premiers effets de ces changements globaux. C'est dans ce



cadre que nous utilisons la notion de « long terme » en écologie dans la suite de cette note, c'est-à-dire couvrant des périodes de plusieurs décennies (différente de la notion de long terme au sens évolutif).

Importance de disposer de données empiriques sur les décennies passées

En effet, si la prise en compte du contexte des changements globaux est forte et bien ancrée aujourd'hui dans les enjeux de connaissances et d'évaluation des dynamiques de la biodiversité, les premiers impacts de ces changements ont pu apparaître bien en amont, sur des périodes où le contexte des changements globaux était moins prégnant dans les perspectives d'évaluation et d'observation de la biodiversité. L'évaluation des changements du passé récent (30-40 ans) est considérée comme majeure pour mieux comprendre les dynamiques actuelles d'évolution des écosystèmes et communautés végétales et améliorer les projections futures (Chytry et al, 2014).

Ainsi, si la nécessité de tels observatoires de la diversité végétale est aujourd'hui acquise et les modalités, les exigences et la rigueur nécessaires à leur mise en place sont bien définies ; ces éléments ne l'étaient pas nécessairement il y a plusieurs décennies dans un contexte d'enjeux environnementaux différents. Des premières phases de dynamique, de changements, de modifications de la diversité végétale ont déjà pu avoir lieu, qui ne peuvent être détectées que par la mobilisation d'inventaires plus anciens. Les dynamiques actuellement observées, s'appuyant sur des observations récentes et des dispositifs mis en place dans un contexte plus actuel, peuvent ainsi ne donner accès qu'à une perspective réduite de ces dynamiques, notamment si des évolutions ont déjà eu lieu lors des décennies passées. Par exemple, les suivis climatiques montrent que dans les Alpes, l'augmentation progressive de la température moyenne a commencé au début des années 1980, réduisant progressivement les durées d'enneigement et allongeant les périodes de croissance de la végétation et pouvant ainsi générer potentiellement des changements de diversité et composition floristique dès cette période (e.g. Erschbamer et al, 2009 ; Ramig et al, 2010 ; Vernay et al, 2022).

C'est dans ce contexte général que le besoin de données de suivis de végétation sur le long terme s'est progressivement accru pour répondre aux nouveaux enjeux de conservation et de suivi de la biodiversité (Chytry et al, 2011). Répondre à ces enjeux passe notamment par la mise en place de réseaux de suivis, d'observatoires donc, correctement conçus pour la surveillance des changements en cours et à venir (Chytry et al, 2014). Mais cela passe également par la connaissance des changements passés, couvrant les dernières décennies, et donc par la mobilisation de suivis plus anciens pas nécessairement conçus dans cet objectif d'observatoire. Les suivis diachroniques en conditions réelles (directement sur le terrain) sont souvent considérés comme les plus adaptés pour acquérir une connaissance des évolutions,



des vulnérabilités et des menaces qui pèsent sur la biodiversité, notamment concernant les végétations de la zone alpine (Grabherr et al, 2010).

Nécessité d'agréger des sites de suivis hétéroclites pour la construction d'observatoires : avantages et inconvénients

Pour les suivis de diversité des végétations cela signifie, pour les dynamiques des décennies précédentes, s'appuyer sur des relectures de suivis réalisés par le passé et donc sur l'assemblage composite, au sein de réseaux ou d'observatoires, de suivis associant des relevés présentant des caractéristiques hétérogènes : dates de mise en place, régularité des suivis, protocoles de mesures de la biodiversité, surfaces échantillonnées, précision des mesures, précision de la localisation, variété des référentiels taxonomiques mobilisés, compétences des naturalistes etc.

Cette hétérogénéité des caractéristiques des suivis anciens peut conduire à des biais, des approximations et des contraintes fortes en termes d'analyse des données ou d'interprétation des résultats. Toutefois ces contraintes peuvent être partiellement réduites du fait de la quantité des données disponibles et de règles de constructions de ces réseaux et observatoires ; c'est-à-dire des choix prévalant à l'intégration des relevés dans ces réseaux de sites. En ce sens, les données s'appuyant sur des placettes (équivalent de *plots* en anglais) de végétation sont considérées comme des moyens incontournables pour accéder aux évolutions temporelles des communautés végétales et de leur diversité, notamment parce qu'elles fournissent des données fines et précises sur la composition et la diversité de ces communautés sur les périodes passées (Haveman & Janssen 2008 ; Jandt et al. 2011). Ainsi à l'échelle européenne voire mondiale, plusieurs initiatives s'appuient sur de tels réseaux de sites et de données anciennes, hétérogènes dans leurs modalités de d'observation, pour proposer des bases de données et des observatoires permettant des relectures de relevés anciens et des estimations des dynamiques de la biodiversité, notamment végétale, au cours des dernières décennies voir du siècle dernier. C'est notamment les cas, par exemple, pour la diversité des végétations des sommets montagneux avec le réseau GLORIA (<https://www.gloria.ac.at/network/general> ; e.g. Grabherr et al, 2000 ; Pauli et al, 2023 ; on pourra voir de Bello et al, 2020 pour une récénsion des quelques autres cas à l'échelle mondiale).

Ainsi, il est bien admis que le caractère composite et hétérogène des observatoires permettant de couvrir les changements de diversité passés et en cours est de toute façon incontournable (Schaminée et al, 2009, Knollova et al 2024), et qu'il faut donc pouvoir mobiliser ces données dans des analyses permettant de s'affranchir au mieux de la variabilité concernant les modalités de récolte des données. Autrement dit, comme le souligne McIntosh et al (2007), pour répondre aux problématiques écologiques actuelles, les chercheurs doivent



disposer de données anciennes bien documentées (connaissance des métadonnées), validées et cohérentes.

Les placettes spatialement permanentes : support essentiel des observatoires de long terme

Les données issues de placettes de végétation anciennes peuvent être mobilisées de plusieurs façons selon le degré de précision (i) d'une part de la localisation des placettes et, d'autre part (ii) et de l'évaluation du recouvrement des espèces. Parmi les méthodes possibles, celle s'appuyant sur la revisite à différentes dates de placettes anciennes PERMANENTES (donc précisément localisées *in situ*) est considérée comme la plus fiable, soulignant le caractère précieux pour les suivis de diversité végétale de tels suivis diachroniques permettant de limiter les biais spatiaux d'interprétation (Chytry et al, 2014). Ces placettes permanentes (= *permanent plots*) correspondent à des surfaces ou transects positionnés de façon aléatoire et permettant de décrire des compositions floristiques au cours du temps dans des zones localement délimitées (cf Bakker et al, 1996a). La robustesse amenée par le caractère spatialement permanent des placettes permet ainsi de compiler des données malgré des protocoles d'échantillonnages différents, des régularités temporelles variables, comme dans le cadre du projet BioTIME (Dornelas et al., 2018), probablement la plus importante base de données de suivis diachroniques avec près de 9 000 000 de relevés qui inclut des suivis sur un large panel de groupes taxonomiques animaux et végétaux sur une large partie des biomes de la planète.

Les risques de biais d'analyse en lien avec les placettes permanentes

Concernant les communautés végétales, de façon générale, ce sont surtout les relevés phytosociologiques qui sont les plus représentés parmi les relevés anciens sur placettes permanentes, en raison de la culture historique forte concernant la description des milieux et des associations végétales (Bakker et al., 1996b). Mais bien qu'ils soient beaucoup plus nombreux, ce type de relevés est bien moins adaptés aux suivis fins diachroniques de composition floristique que ceux associés à des méthodes plus fines et précises des abondances, c'est-à-dire permettant une évaluation quantitative continue et non par classe des recouvrements (Chytry et al., 2014). Il faut ajouter également qu'en général, les placettes anciennes mises en place pour des descriptions ou suivis phytosociologiques sont rarement délimitées par des repères fixes entraînant des pertes de précision spatiale. Cela peut entraîner des effets de pseudo-turnover, c'est-à-dire des variations de composition floristique ou de diversité mesurées entre différentes dates qui sont en fait dues, au moins partiellement, à des différences de positions entre dates (e.g. Fischer & Stocklin, 1997).

Cela dit, même dans le cas de placettes permanentes, délimitées, repérées de façon fixe sur le terrain, la relecture à différentes dates pour inférer des dynamiques de diversité et de composition floristique, doit s'accompagner d'autres précautions supplémentaires (Kapfer et



al., 2017). Outre le risque de biais dû au pseudo-turnover spatial, des biais saisonniers sont possibles, en raison de variations de la composition floristique due à des différences de période de relevés (Vymazalova et al., 2012) correspondant à des stades différents de développement de la végétation (par exemple la disparition des espèces vernales après une certaine date peut conduire à des interprétations biaisées de disparition d'espèces en cas de relevés tardifs une année donnée). Les biais d'observateurs sont également non négligeables dans certains cas et interviennent systématiquement dans les relevés temporels sur le long terme où des changements d'observateurs sont incontournables (e.g. Archaux et al., 2006). Enfin, un point souvent négligé concerne les objectifs à l'origine de l'installation des placettes permanentes : dans certains cas ces objectifs étaient suffisamment spécifiques pour entraîner un choix non-aléatoire des placettes en fonction des attendus de l'étude. Cela peut entraîner des réponses particulières, non représentatives des effets que l'on cherche à mesurer, comme par exemple ceux du changement climatique (Chytry et al., 2014). Les conditions idéales s'appuieraient sur des placettes dont le positionnement est aléatoire sans a priori sur une réponse attendue.

De façon évidente, respecter à la lettre l'ensemble de ces précautions conduirait à ne pouvoir mobiliser dans les études de long terme qu'un nombre très restreint de placettes et donc pénaliserait fortement la portée statistique des résultats obtenus ainsi que leur généralisation. Les études s'intéressant spécifiquement à ces questions de biais d'interprétation dans les suivis temporels ne sont pas toutes concordantes sur la place et l'importance donnée à ces biais. Certains auteurs et certaines études considèrent qu'ils peuvent avoir des implications majeures dans la fiabilité des résultats des suivis au long terme comme par exemple dans l'étude de Verheyen et al. (2018). Dans le cadre de cette étude de relecture de placettes historiques « quasi-permanentes » de végétation ces auteurs concluent que malgré les informations nouvelles apportées par ces relectures, les biais d'observateurs et de pseudo-turnover spatial ne sont pas négligeables, biais d'autant plus importants si le nombre de placettes est réduit. Pour un contrepoint, l'étude de Kopecky & Macek (2015) a montré que malgré des erreurs de relocalisation de placettes historiques de suivis de végétation les résultats de diversité (richesse spécifique) et de composition floristique n'étaient que peu impactés.

Enfin, nous souhaitons aborder un dernier élément pouvant poser problème dans la relecture des placettes, et notamment la mise en commun et l'analyse des données aux différentes dates : il s'agit de l'usage de nomenclatures taxonomiques différentes entre les dates suivies. Des variations d'usage de la taxonomie des noms des plantes peut totalement compromettre l'utilisation des données associés à ces relectures. Si cela peut poser des problèmes essentiellement dans les bases de données à grande échelle (Jensen & Dengler, 2010), cela n'est pas à négliger à l'échelle d'observatoires plus modestes dans leur taille. L'absence de vigilance particulière sur ce point peut entraîner également des biais dans les mesures de changement de diversité végétale entre dates par des différences mesurées correspondant à des taxons identiques mais nommés différemment par les observateurs à différentes dates selon les habitudes du releveur, les règles taxonomiques ou les référentiels en vigueur au moment du relevé. La taxonomie du monde végétal est dynamique, changeante (Stuessy,



2009), les changements réguliers de taxonomie, les variations individuelles d'appellation des taxons et la diversité des flores disponibles peut conduire à une grande hétérogénéité dans la nomenclature de beaucoup de taxons (Jansen & Dengler, 2010) et l'effort d'homogénéisation des noms des espèces des relevés sur les différentes dates et les différentes placettes n'a absolument rien de négligeable.

Les éléments cités jusque-là concernent majoritairement les problèmes potentiels rencontrés dans le cadre de la revisite ou relecture des placettes. Mais comme nous l'évoquions également, la construction de ces observatoires s'appuie sur des assemblages hétérogènes de placettes issues de projets anciens variés. Cela entraîne donc que les groupes de placettes associés au sein de ces observatoires diffèrent en termes de protocole de mise en place et de suivi : surface et forme des placettes (transects, quadrats...), modalités des suivis (estimation visuelle, points-contacts...) et régularité des revisites (rythme, intervalle temporel, nombre total de revisites...). Cette hétérogénéité inhérente à ces observatoires peut donc interroger sur la faisabilité d'analyser et d'interpréter ensemble des données récoltées suivant des protocoles différents. Toutefois des solutions sont possibles concernant la prise en compte de cette variabilité dans l'acquisition des données. On peut par exemple citer ici les problématiques d'échantillonnage non-aléatoire (e.g. Botta-Dukat et al., 2007 ; Rolecek et al., 2007), de l'exhaustivité des différents relevés (e.g. Chytry, 2001) ou encore la variabilité des tailles des placettes entre différents groupes de relevés et l'effet sur la détection de changement de composition floristique (e.g. Otypkova & Chytry, 2006 ; Dengler, 2009). Notons que pour la plupart de ces références elles s'intéressent à des problématiques avec des relevés de types phytosociologiques, en lien donc avec des estimations des recouvrements par classe d'abondance et donc moins précises que dans les méthodes recommandées d'évaluation des recouvrements avec des mesures quantitatives continues. En fait, on peut considérer de manière générale que, dans le cadre des suivis temporels diachroniques, il ne s'agit pas de comparer les compositions et diversité des placettes entre elles, mais bien d'analyser les changements au cours du temps de chacune des placettes et d'analyser de façon globale les tendances observées pour chaque placette (variations de composition, de diversité, diversité beta temporelle à l'échelle d'une placette). Dans le cadre des objectifs d'un observatoire de la surveillance de la biodiversité, en se focalisant non pas sur les comparaisons de diversité entre sites ou placettes mais bien sur l'évolution temporelle de chaque placette on s'affranchit d'une partie des problèmes inhérents à ces différences de protocoles ou de tailles différentes des placettes. Cette hétérogénéité intrinsèque à la constitution de ces observatoires apparaît donc moins problématique concernant les problèmes de biais de relecture à l'échelle de chaque placette permanente.

Quels compromis et précaution pour limiter les biais d'analyses dans le cadre d'un observatoire de long terme de la diversité végétale

Il nous apparaît possible de trouver un point de compromis sur l'ensemble de ces considérations autour de l'usage de placettes permanentes historiques dans une perspective



de relecture régulière dans le cadre d'un observatoire permanent de la diversité végétale. D'une part il est important d'avoir en tête et de prendre en compte le fait que les biais de mesure (spatial, observateur, nomenclature...) sont inhérents à ces observatoires, et que, selon leur importance ils peuvent avoir des implications majeures pour la fiabilité des études de long terme en écologie végétale s'appuyant sur des relectures de placettes. D'autre part il est possible de réduire ces risques, les biais associés, en suivant un certain nombre de précautions (Kapfer et al., 2017) notamment (i) bien évaluer et choisir le niveau de précision disponible pour la relocalisation des placettes (limiter le biais dû au pseudo-turnover spatial) ; (ii) mobiliser et prendre en compte l'ensemble des métadonnées et informations disponibles concernant l'installation passée des placettes revisitées (objectif, contexte, protocole, observateurs, référentiel taxonomique ou flore utilisée...), (iii) effectuer les revisites de placettes à des périodes de développement de la végétation comparables à celles des relevés historiques (au moins s'appuyer sur les dates calendaires et mieux, sur les sommes des températures quand c'est possible comme suggéré par Vymazalova et al., 2012, 2014) pour limiter les biais en lien avec la variabilité saisonnière de la végétation (espèces vernales, espèces tardives...), (iv) s'assurer des compétences des observateurs et botanistes en charge des relevés, ou de leur comportement face à des identifications difficiles pour limiter les biais d'observateurs, et enfin, (v) prendre soin d'homogénéiser, vérifier les données (notamment la nomenclature) avant d'effectuer les analyses des données.

Deux règles primordiales pour la construction d'observatoires basés sur des relevés « hétérogènes » : permanence spatiale et estimation quantitative continue des abondances

De larges observatoires construits *a posteriori* existent donc, mais souvent s'appuyant sur des relevés de végétation par classe via une approche phytosociologique. Ils permettent de produire des analyses pertinentes de la dynamique de la diversité végétale mais à une échelle très large et en s'appuyant sur une grande hétérogénéité de milieux pour obtenir un nombre suffisant de relevés toutes dates confondues (e.g. Smits et al., 2002, de Snoo et al., 2012). Les données issues de ces formats d'observatoires peuvent être considérées comme adaptées pour évaluer des tendances d'évolution de la biodiversité à large échelle malgré des différences de protocoles d'échantillonnage (Dornelas et al., 2014 ; Blowes et al., 2019).

Par contre, concernant l'étude des dynamiques de végétation sur des habitats ou milieux spécifiques, on peut considérer que la mise en œuvre d'observatoires sur le long terme, mobilisant des placettes et relevés historiques, doit s'appuyer au moins à la fois sur des **placettes permanentes** et sur des **protocoles d'évaluation de l'abondance des espèces donnant une information quantitative continue** (e.g. fréquence, recouvrement, comptage d'individus etc). En effet, ces études vont s'appuyer sur un nombre plus réduit de placettes de suivi rendent les analyses potentiellement plus sensibles aux différents biais



d'échantillonnage. Il y a donc un besoin de vigilance et de rigueur accru pour l'intégration de placettes au sein d'un tel type d'observatoire.

Enjeu de disposer d'observatoires ciblés sur certains milieux

Les bases de données s'appuyant sur de tels réseaux de placettes permanentes constituent ainsi des sources d'information inégalées sur les dynamiques temporelles de la diversité, car s'appuyant sur des suivis à échelle fine de la diversité et de l'abondance des espèces au sein des communautés végétales. Chytry et al. (2019) suggèrent même que les études s'appuyant sur des placettes permanentes de végétation constituent parmi les plus importants développements récents en écologie végétale.

Comme nous l'avons souligné plus haut, la majorité des observatoires ne disposent pas nécessairement de réseaux de placettes étant à la fois spatialement permanentes et s'appuyant sur des relevés quantitatifs continus. Les données sont ainsi analysées en groupant un nombre important de placettes et en associant des relevés issus de milieux ou d'habitats différents pour contourner les limitations d'interprétations dues aux biais inhérents à ce type de jeu de données.

Par contre, si l'on souhaite cibler des actions de conservation, de gestion des milieux et des espèces dans le contexte des changements globaux, pouvoir répondre à la fois à des problématiques de connaissances fondamentales de ces dynamiques et de gestion environnementale sur des territoires définis, la compréhension précise et fine de la dynamique de la composition et de la diversité d'habitats et de milieux spécifiques est nécessaire. Il y a dans ce cadre un réel enjeu à disposer d'observatoires ciblés sur des milieux d'intérêt, pour la conservation, la gestion environnementale, agricole ou sylvicole pour identifier les dynamiques en cours et les adaptations nécessaires (gestion adaptative, mesures de conservation, adaptation des pratiques...) en fonction des objectifs de gestion.

A notre connaissance, il n'existe pas encore, en-dehors d'Alpages Sentinelles, des observatoires spécifiquement consacrés aux pelouses subalpines. Les données concernant ces milieux sont particulièrement peu abondantes dans les observatoires, il s'agit par exemple d'un des biomes les moins représentés dans la base internationale BioTIME (Dornelas et al., 2018). Dans les zones montagneuses et froides, l'effort d'échantillonnage a surtout été porté sur l'étage alpin, notamment les sommets, et les zones de toundra (cf le projet GLORIA par exemple, Pauli et al., 2023). Pourtant un tel observatoire, répond à des attentes multiples aussi bien du point de vue de la conservation, les pelouses subalpines abritant une diversité végétale particulièrement remarquable, du fait de la diversité des communautés concernées associées à des conditions environnementales très variées (Bornard et al., 2004), de l'importance des surfaces de ces milieux dans des espaces protégés (réserves nationales, parcs nationaux et naturels régionaux), de leur représentativité dans les



habitats Natura 2000 à enjeu de conservation et de leur importance pour l'activité d'élevage notamment pastorale.

Dans ce cadre la construction de l'observatoire des végétations subalpines et de la base de données associée au sein du projet Alpages Sentinelles (Dobremez et al., 2014), nous sommes confrontés typiquement à un jeu de données hétérogènes qui demandent, pour pouvoir répondre aux enjeux de connaissances sur la dynamique de la biodiversité sur ces milieux (Spiegelberger et al., 2010), de suivre largement les points de vigilance soulignés ci-dessus. Construire, alimenter, faire-vivre sur le long terme, produire des connaissances fondamentales, transférables et appliquées font partie des enjeux à l'origine de cet observatoire qui se focalise sur une zone biogéographique bien précise (le massif alpin français) et un ensemble de milieux, d'habitats spécifiques, que sont les prairies et pelouses pastorales d'altitude utilisées comme estives par le pâturage (majoritairement entre 1400 et 2500 m d'altitude).

Dans la suite de cette note de synthèse, nous présentons d'abord le cadre général de l'observatoire de la dynamique des pelouses subalpines en réponses aux changements globaux au sein du dispositif Alpages Sentinelles pour illustrer la façon dont cet observatoire s'est construit et s'intègre dans le cadre général présenté en amont de cette note. Cela permet de montrer comment il relève des enjeux, des précautions et du cadre qui y est décrit à lumière de la bibliographie, notamment du fait de **l'assemblage de placettes plus ou moins hétérogènes dans leurs origines et leurs protocoles, mais dont la sélection répond à des règles spécifiques**. Ainsi cet observatoire peut constituer un exemple illustratif pouvant être généralisé car correspondant à des situations équivalentes sur d'autres milieux.

Dans un second temps nous présentons également les moyens, les méthodes, les choix opérationnels que nous opérons au sein de cet observatoire pour en faire un observatoire durable, pertinent et répondant aux exigences nécessaires pour que les connaissances produites soient les plus fiables possibles et puissent contribuer de façon générale à l'observation de la réponse de la biodiversité terrestre.

En effet, pour reformuler les propos de Bakker (1996a), on peut dire que maintenir un ensemble de plots permanents sur un temps suffisamment long pour répondre à des questions d'importance en écologie demande une grande discipline. Nous serons en accord avec de Bello (2020) pour dire que le long-terme en écologie demande des efforts importants. Ils ne peuvent être portés par les chercheurs ou les gestionnaires seuls, et les stratégies nationales comme celle portée par l'OFB sur la surveillance de la biodiversité terrestre sont des soutiens indispensables (financiers, mais pas seulement) pour permettre de maintenir ces efforts sur des durées pertinentes pour l'évaluation des dynamiques de diversité en réponse dans un contexte de changement global.

Ainsi nous pensons que les choix et expériences tirés de cet observatoire peuvent être transférables à d'autres constructions d'observatoire avec pour objectif leur pérennisation et la valorisation des jeux de données associés. Les règles proposées ne sont pas nécessairement spécifiques aux végétations d'alpage et donc facilement généralisables. Ce



retour d'expérience peut encourager à la revalorisation, ou la remise en activité de suivis, de placettes, d'observatoires de la dynamique de la végétation sur d'autres milieux.

Le cadre du projet Alpages Sentinelles

Le projet Alpages Sentinelles représente une contribution unique à notre connaissance à la surveillance sur le moyen et long terme de la diversité et de la composition en espèces des végétations herbacées de l'étage subalpin : prairies, pelouses et landes subalpines. De plus cette surveillance s'opère dans un contexte de pratiques pastorales qui sont en interaction avec les changements environnementaux, notamment climatiques, changements qui font l'objet de suivis spécifiques au sein même du projet.

La plupart des observatoires de long terme des végétations de la zone alpine se concentrent sur les végétations sommitales de haute altitude (e.g. projet GLORIA), en absence de pratiques anthropiques liées à l'élevage, alors que les études ciblées sur des milieux pastoraux similaires en Europe (Autriche, Italie...) ne constituent pas toujours des observatoires au long terme, couvrent une amplitude géographique ou une gamme d'habitats/communautés végétales bien plus réduite et ont un recul historique moins important (e.g. Mayer et al., 2009 ; Matteodo et al., 2016 ; Michalet et al., 2024).

Dans le cadre du projet Alpages Sentinelles, la mise en place en 2012 de l'action centrée sur l'étude et le suivi au long terme de la dynamique de la diversité et de la composition floristique des végétations d'alpage a dès le départ été conçue comme un observatoire de long terme en mobilisant une structure, une organisation, des modes opératoires et des exigences qui permettent une répétabilité des suivis, la réalisation d'analyses spécifiques et la possibilité d'un transfert du pilotage et de la réalisation de ces suivis.

Le montage de cet observatoire s'est réalisé dans un cadre spécifique au projet Alpages Sentinelles et présente un certain nombre de spécificités. Mais ces particularités nous ont permis de mettre en lumière des enjeux génériques autour de la conduite et de la pérennisation d'observatoires de la diversité végétale des milieux herbacés. Ce sont ces apprentissages et les modalités choisies pour les intégrer dans l'observatoire de ces milieux herbacés subalpins qui sont présentés dans la suite de cette note de synthèse.

L'objectif est de présenter comment nous avons choisi de structurer, organiser et conduire cet observatoire, en réponse aux difficultés, atouts et caractéristiques propre à des suivis permanents de végétation. Les apprentissages issus de l'expérience acquise dans le cadre de cette action pourront contribuer à éclairer certains enjeux utiles à la conduite d'une stratégie



de surveillance de la biodiversité terrestre, telle que celle conduite par l'OFB à l'échelle nationale, tout particulièrement pour les suivis de la diversité des communautés végétales.

Les spécificités de l'observatoire des végétations subalpines du dispositif Alpages Sentinelles

Certaines caractéristiques de l'action concernant l'observatoire de la dynamique et de la diversité des végétations d'alpage sont précisées ici. Elles permettent de mieux saisir le contexte général de l'observatoire et donc les choix qui ont été opérés et les mesures d'adaptation qui ont été nécessaires pour assurer la mise en forme et les modalités du bon déroulement des suivis.

Une action au contour plus large que les autres actions Alpages Sentinelles

Le dispositif alpages sentinelles s'est construit autour d'un partenariat élargi entre laboratoires scientifiques, territoires d'espaces protégés, services pastoraux et acteurs du monde agricole et experts avec un objectif de poser un regard synthétique sur les modalités de réponse et d'adaptation du socioécosystème « alpage » dans ses diverses composantes : climatique, pastorale, ressource, milieux... Dans ce cadre une trentaine d'alpages sont suivis de façon régulière sur l'ensemble de ces aspects et constitue le cœur du programme avec des suivis poussés (biomasse, usages et pratiques, bilan climatique...) chaque année. Les moyens nécessaires pour suivre l'ensemble des communautés végétales sur ces 30 alpages n'étaient pas compatibles avec les ressources apportées par le financement du projet. De plus, selon les alpages, certains avaient déjà fait l'objet de suivi de végétation sur des placettes anciennes, avec des nombres de placettes variables, et des profondeurs temporelles et régularités historiques différentes.

La connaissance de l'évolution des végétations subalpines, en réponse au changement climatique et en interaction avec les usages pastoraux ne nécessitent pas d'être connue spécifiquement sur ce réseau d'alpages. L'objectif de cette action est d'acquérir des connaissances à l'échelle du massif alpin sur l'évolution des végétations subalpines dans leur diversité (diversité de communautés végétales ou de types d'habitats). L'action concernée prend donc un contour géographique et des localisations qui ne sont pas nécessairement couplées avec les 30 alpages suivis de façon systématique dans le réseau du projet.

➔ L'observatoire des végétations subalpines ne superpose pas totalement et dépasse le



cadre géographique du noyau du projet.

L'assemblage d'un réseau de placettes à l'échelle du massif alpin : des modalités/règles d'intégration des suivis dans l'observatoire

Dans un objectif d'assurer la meilleure représentativité possible de l'observatoire nous avons souhaité construire un réseau de placettes couvrant un maximum de types de végétation, de massifs. De la même façon l'existence de relevés anciens sur des végétations subalpines, parfois même sur des alpages du réseau « Alpages Sentinelles » nous ont encouragé à valoriser ces données, à les mobiliser pour disposer d'un recul temporel plus important pour mieux comprendre les dynamiques au long terme de ces végétations.

Ce choix de construire un réseau de placettes de suivis de végétation élargis, intégrant des suivis issus de projets variés, plus ou moins anciens, avec parfois des objectifs différents conduit à la création d'un réseau de placettes forcément hétérogène sur plusieurs aspects : dates de début de suivi, taille et forme des placettes, régularité des relevés, observateurs/botanistes, protocoles de mesure de la diversité et de la composition floristique. Cette hétérogénéité dans les caractéristiques des placettes peut apparaître comme autant d'inconvénients forts pour l'analyse commune des relevés et en effet elles peuvent amener à des biais d'analyse et d'interprétation si l'on souhaite comparer ces relevés entre eux ayant des modalités de suivis ou de mise en place différentes (voir la première partie de la note).

Mais l'objectif de cet observatoire est bien une analyse temporelle, diachronique (et non synchronique), de la dynamique de végétation (diversité et composition floristique) à l'échelle de chaque placette. Cette approche permet de s'affranchir grandement de l'hétérogénéité des modalités de suivi des placettes et peut ainsi permettre d'associer l'ensemble de ces placettes au sein d'un même réseau et de réaliser des analyses communes.

Cette possibilité s'appuie donc sur le fait de pouvoir évaluer la dynamique temporelle à l'échelle de chaque placette. Cela n'est toutefois possible qu'en respectant certaines règles que nous avons fixées pour qu'une placette puisse intégrer le dispositif de l'observatoire en accord avec les éléments de bibliographie cité plus haut dans cette note :

- (i) Être une placette permanente (notion de *permanent plot* en anglais), c'est-à-dire localisée précisément sur le terrain à l'aide de repères fixes associés ou non à des pointages GPS et des photographies de localisation pour limiter les biais en raison d'un pseudo-turnover spatial.
- (ii) Le protocole de mesure de la diversité et de la composition doit être fixe au cours du temps sur chaque placette. Pas de changement de protocole d'un relevé à l'autre et le protocole d'origine doit continuer à être utilisé lors des relevés ultérieurs.
- (iii) Le protocole, la méthode de relevés de la diversité et de la composition floristique doit permettre de renseigner de façon quantitative et continue l'abondance ou la fréquence des espèces. Ceci exclut tout protocole uniquement en présence/absence à l'échelle de la placette ou utilisant des relevés par classe



notamment phytosociologiques.

L'application de ces règles nous a permis de sélectionner un certain nombre de placettes permanentes dont l'assemblage constitue à ce jour l'observatoire des végétations subalpines. Il comprend ainsi à ce stade :

- 169 placettes réparties depuis le Massif du Lubéron pour le plus au sud jusqu'au massif des Aiguilles Rouges en Haute-Savoie le plus au Nord.
- 653 relevés de végétation toutes dates et localisation confondues
- Des placettes permanentes dont la mise en place s'étale entre 1981 pour les plus anciennes (massif des Grandes Rousses) et 2023 pour les plus récentes (RNN de Passy en Haute-Savoie).
- Des séries temporelles variant de 1 à 14 dates de suivis sur la période.
- Une variété de conditions de pratiques pastorales, associée à des placettes en situation d'absence ou d'exclusion du pâturage qui permettent potentiellement de pouvoir étudier l'interaction entre le maintien des pratiques pastorales et le changement climatique.
- Des placettes couvrant une grande diversité d'habitats/milieus/communautés végétales au sein de la zone subalpine (1400-2500m d'altitude) du massif alpin français.

Pérennisation et fiabilité d'un observatoire multi-partenarial : Moyens, méthodes et choix opérationnels dans le cadre de l'observatoire des végétations subalpines

Dans le cadre de cette note nous souhaitons mettre en avant plusieurs axes qui ont été mis en œuvre à l'issue de réflexions collectives et qui nous semblent indispensables d'être cadrés et définis de façon rigoureuse pour permettre **la pérennisation** de l'observatoire et la **fiabilité des données** récoltées, ces deux qualités étant absolument incontournables pour la **pertinence d'un tel observatoire** dédié à des observations **sur le long terme**.

Nous avons identifié 5 axes qui correspondent (i) à la centralisation de l'animation de l'observatoire, (ii) au cadrage de la réalisation des suivis de végétation, (iii) à la gestion des données anciennes et nouvelles, (iv) à l'analyse des données et la production de résultats, et (v) au transfert et à la communication des résultats et des connaissances produites par l'observatoire.

(i) Centralisation de l'animation de l'observatoire

Dans le cadre d'un observatoire multi partenarial, comme c'est le cas pour celui-ci au sein d'Alpes Sentinelles, regroupant des laboratoires scientifiques, des Parcs Nationaux, des Parcs Naturels Régionaux et des associations, une coordination du fonctionnement de l'observatoire est nécessaire pour pouvoir distribuer les informations, opérer une veille des suivis et assurer les moyens de fonctionner du dispositif. La centralisation permet à l'opérateur d'avoir une vision synthétique de l'observatoire et d'anticiper les actions à mener



pour suivre le mode opératoire défini collectivement de conduite des opérations (suivis, analyses, réunions, financement...).

Dans ce cadre précis, il s'agit du LESSEM, laboratoire d'INRAE qui est en charge de cette centralisation/animation générale du dispositif, avec une personne désignée spécifiquement pour cette tâche qui s'appuie si nécessaire sur un groupe de travail regroupant des représentants des différents partenaires. Les tâches essentielles pour le bon fonctionnement de l'observatoire et qui correspondent à cet axe d'animation sont :

- **La communication** en amont, permettant un délai suffisant pour la planification des actions, **avec l'ensemble des partenaires de l'observatoire**. Chaque structure participante ayant désigné au préalable une représentant par qui passe les contacts avec l'animateur principal (en général, les chargés de mission agriculture ou biodiversité des parcs, les responsables des services scientifiques, les techniciens etc).
- L'organisation **de réunions du groupe de travail** (dans l'idéal au moins une fois tous les deux ans) pour présenter le dispositif aux nouveaux partenaires le cas échéant, ainsi que les avancées méthodologiques (construction de la base de données), les évolutions du contour de l'observatoire (nouvelles placettes) et les résultats des analyses les plus récentes. Il s'agit également de réfléchir collectivement aux nouvelles pistes d'analyses à conduire, à l'intérêt des résultats produits et aux formes de diffusion des connaissances acquises via l'observatoire. Dans ce cadre, l'observatoire a déjà pu produire un livret tout public (https://www.alpages-sentinelles.fr/wp-content/uploads/2021/10/Alpages-Sentinelles_2021_Effets-CC-vegetations-alpage_web2.pdf).
- **La planification de la liste des relevés à effectuer chaque année**. Dans le cadre d'alpages sentinelles, le nombre de placettes suivies est trop important au regard du nombre de partenaires et les besoins à la fois financiers et en temps ne permettent pas un suivi annuel de l'ensemble des 169 placettes constituant l'observatoire. De plus l'objectif du dispositif est de déterminer les tendances d'évolution de la diversité et de la composition floristique sur le long terme, c'est-à-dire des dynamiques tendancielle qui correspondent à une évolution significative des communautés. L'accès à la variabilité interannuelle qui serait détectée et mesurée par des mesures annuelles sur l'ensemble des placettes serait d'un grand intérêt mais n'est pas indispensable pour répondre à cette question des évolutions tendancielle. Nous effectuons donc un roulement régulier des placettes à suivre sur un rythme de 5 ans. **Chaque année**, durant la période de roulement de 5 ans, ce sont donc des lots différents de placettes qui sont revisités impliquant, en amont, **une anticipation de la liste des placettes** concernées qui seront communiquées aux opérateurs des territoires concernés. Cet intervalle maximum de 5 ans, appliqué depuis la création de l'observatoire (les relevés historiques n'ont pas suivi cette règle), par contre, ne constitue pas une obligation si des possibilités de relecture plus fréquente sont



possibles. Pour certains territoires, autonomes en termes de moyens et de compétences quelques placettes peuvent être relues chaque année.

Enfin, il faut noter que deux options sont possibles concernant le choix des placettes à relire chaque année : (i) soit effectuer un tirage au sort aléatoire des placettes à relire chaque année pour minimiser les risques de biais dus au fait que ce sont toujours les mêmes lots de placettes relues en même temps. Une relecture aléatoire permettrait de randomiser chaque année les assemblages de placettes faisant l'objet de relevés et donc de limiter des biais de dépendance entre années et groupes de placettes ; (ii) **l'option, retenue dans notre cas, d'effectuer un roulement, tous les 5 ans au plus tard, de relecture des placettes.** C'est-à-dire que sont bien les mêmes lots de placettes qui sont relues ensemble les années qui les concernent. Cette option a été retenue pour plusieurs raisons qui sont que le choix aléatoire des placettes devrait être effectué avec un certain nombre de contraintes pour assurer chaque année la représentativité des différents types de végétation (communautés végétales), des différents massifs et des différentes situations de gestion (avec ou sans pâturage domestique), or ces contraintes seraient tellement fortes qu'elles réduiraient drastiquement le choix des placettes chaque année ; également, des raisons pratiques sont avancées comme notamment le fait de pouvoir plus facilement anticiper l'organisation avec les gestionnaires, mieux répartir les efforts entre les différents opérateurs des relevés (botanistes et écologues) et éviter une trop forte concentration spatiale des relevés ; un autre point militant pour ce roulement est de permettre la participation régulière de tous les territoires impliqués, les données acquises produisant des informations utiles pour les gestionnaires et facilitant leur implication dans l'observatoire ; enfin comme l'objectif principal de l'observatoire est bien de déterminer s'il existe de tendances au long terme de l'évolution de la diversité des pelouses subalpines, l'interprétation des données est moins sensible à ces effets « annuels » qui n'ont pas vocation à être interprétés spécifiquement dans ce cadre.

Une période de réalisation des relevés est également communiquée pour chaque placette qui doit être relue de façon à limiter les changements de composition dus majoritairement à des effets phénologiques ou de variation d'expression de certaines espèces (vernales ou tardives).

- **La planification des moyens humains, techniques, financiers et des compétences** pour la réalisation des relevés. Il s'agit ici de vérifier que les moyens nécessaires aux suivis sur les différents territoires sont bien prévus et disponibles et, si nécessaire de prévoir les demandes de financement adapté. Les opérateurs qui seront en charge de la réalisation des relevés floristiques doivent être identifiés pour chaque placette ou lot de placettes.
- **La réception des nouvelles données**, qui est associée à une vérification générale des éléments nécessaires à leur bonne **intégration dans la base de données**. Il s'agit de vérifier que les métadonnées sont bien renseignées (dates de relevés, noms des observateurs, référence de la placette etc...) et que la forme du relevé correspond bien aux attendus pour chacune des placettes concernées (format des données, protocole



respecté...).

- **Réalisation d'un bilan** à la fin de chaque saison **des relevés réalisés en regard de l'attendu planifié**, et si besoin, une reprogrammation des relevés éventuellement non réalisés pour diverses raisons (pratiques pastorales avancées sur le site, indisponibilité de dernière minute de l'observateur, conditions météorologiques...).
- Enfin, cet axe intègre également les possibilités d'**intégration de nouvelles placettes historiques** qui seraient proposées ou mises à disposition pour l'observatoire a posteriori. Cette tâche consiste en une vérification des conditions nécessaires à l'intégration de placettes dans l'observatoire qui sont listées ci-après. En parallèle sont également gérées dans le cadre de l'animation de l'observatoire la mise en place de nouvelles placettes après réflexion collective sur leur intérêt en fonction de la localisation géographique (zone peu couverte par l'observatoire), du type de végétation concerné (par exemple pour compléter des communautés végétales peu représentées dans l'observatoire), intérêt pour le gestionnaire du territoire concerné. Dans ce cas, l'observatoire propose un protocole clé en main pour l'installation et la lecture de ces placettes de végétation qui permet de respecter les conditions suivantes :
 - localisation dans la zone biogéographique subalpine (~1300-2500m d'altitude)
 - un accès possible en dehors de zones privées qui nécessiterait une demande d'autorisation systématique auprès d'un propriétaire privé
 - communauté végétale correspondant à un écosystème herbacé ou de landes
 - caractère spatialement permanent de la placette avec des repères fixes sur le terrain, une localisation avec des coordonnées GPS et des photographies de contextualisation et de localisation des repères.
 - Un protocole de mesure de la diversité et de la composition floristique fixe au cours du temps
 - Un protocole de lecture de la végétation permettant d'accéder à des mesures quantitatives continues de l'abondance ou de la fréquence des espèces

(ii) Récolte des données et suivis sur le terrain : cadrage des suivis de végétation

Les suivis de terrains à la base de l'acquisition des données doivent s'organiser d'une façon la plus opérationnelle possible notamment en permettant de perdre le moins de temps possible dans la phase de localisation des placettes et des repères associés, et en limitant au mieux les risques d'erreurs dans la réalisation et la saisie *in situ* des relevés. L'objectif est bien de faciliter la tâche des opérateurs sur le terrain au moment de la réalisation du relevé, et que la méthodologie de saisie soit ensuite la plus adaptée pour l'intégration des nouvelles données dans la base de données communes. Pour se faire plusieurs tâches ont été identifiées dans cet axe de récolte des données qui ont abouti à des actions communes à l'ensemble des placettes de l'observatoire :

- **Un dernier rappel des suivis et des placettes ciblées** juste avant la saison auprès des



opérateurs et gestionnaires des sites concernés. Ce rappel vient en complément, juste avant la saison de terrain, de l'anticipation de la liste des placettes à relire effectuée durant l'hiver précédent (voir l'axe précédent).

- **La mise à disposition de fiches descriptives des placettes et des protocoles** qui réunissent toutes les informations nécessaires à la localisation des placettes et la réalisation des relevés. Si ces fiches ont été réalisées pour un certain nombre de placettes de suivi elles sont toujours en cours de production au sein du réseau. Elles permettent de disposer de façon pérenne et centralisée (auprès de l'opérateur central et du responsable local du site concerné) des informations indispensables pour transférer les possibilités de suivis des placettes à d'autres personnes en cas de renouvellement des personnes en charge de la réalisation des relevés. C'est une étape absolument indispensable pour la pérennité de l'observatoire, en complément de la centralisation de ces informations dans la base de données.

Les informations disponibles sur ces fiches sont :

- ✓ La date du précédent relevé
- ✓ Une description de la méthode de relevés (type de méthode, longueur ou surface des lignes ou surface de relevés, méthode d'estimation des abondances ou fréquences...).
- ✓ Période de pâturage du site
- ✓ Coordonnées GPS du site avec toutes indications complémentaire nécessaires
- ✓ Une proposition de trajet pour l'accès à la placette
- ✓ Une photo aérienne du site où la placette est indiquée (ex : avec Google Earth) avec indication éventuelle de repères utiles autour.
- ✓ Photos de la placette dans son contexte et environnement
- ✓ Photos des repères fixes avec des mesures complémentaires de distance à des repères fixes du terrain (roches ou autres).

L'objectif est d'arriver rapidement à la réalisation de telles fiches pour l'ensemble des placettes de tous les territoires. A terme ces fiches seront déposées sur un espace commun au réseau et donc facilement consultables, modifiables et récupérables.

- **La génération automatique de fiches de relevés avec liste d'espèces.** Ce travail a été intégré dans le cadre du post-doctorat de C. Martinez-Almoyna autour de la base de données de végétation « Alpages Sentinelles ». Un mode opératoire est disponible pour permettre de produire automatiquement des fiches imprimables de relevés de végétation adaptées à chaque placette. Ces fiches peuvent à ce jour être générées pour l'ensemble des placettes de la base quel que soit le protocole de lecture de la végétation. Ce système permet à l'opérateur central (LESSEM-INRAE) de générer ces fiches lors de l'anticipation du listing de relevés de l'année et les envoyer aux opérateurs de terrain réalisant les relevés de végétation.

Ces fiches de saisie de terrain sont composées de 4 types de documents :

- ✓ Une fiche de métadonnées autour des relevés, préremplie, rappelant les coordonnées GPS de la placette, le code de la placette, le massif et le nom de l'alpage, un rappel simplifié du protocole, le type de végétation de la placette



s'appuyant sur la classification de la Pastothèque (Dodier et al., 2023).

- ✓ Une fiche de saisie de relevés permettant l'importation directement dans la base de données. Elle comporte une liste des espèces par ordre alphabétique déjà présentes lors des relevés précédents ainsi qu'une indication de la version de TaxRef correspondant aux noms indiqués. Il y a, bien sûr, la possibilité de rajouter de nouvelles espèces à la suite en suivant la même nomenclature et version de TaxRef. C'est sur cette fiche que sont notées *in fine* les valeurs numériques (abondance ou fréquence) des espèces.
 - ✓ Une fiche de saisie de relevés pour le terrain préremplie avec les noms des espèces déjà présentes les années précédents. Cette fiche est adaptée au protocole correspondant et permet une saisie rapide manuscrite sur le terrain. Elles ont fait l'objet de multiples essais afin d'aboutir à une version la plus ergonomique possible pour le noteur (botaniste ou noteur accompagnant).
 - ✓ Est également générée une fiche de saisie équivalente mais vierge sans indication d'espèces déjà présentes.
- **Vers une transition pour la saisie numérique sur le terrain** : La saisie directe sur le terrain des fréquences ou abondances (selon le protocole) des espèces sera rendue à terme possible à partir d'une adaptation de ces fichiers. Cet aspect qui reste important, n'est toutefois pas apparu dans l'expérience « Alpages Sentinelles » comme une priorité du fait des contraintes liées à l'autonomie des batteries, la résistance et la manipulation des tablettes en terrain de montagne (pluie, luminosité, risque de chute...); mais surtout en raison du fait que lors de la saison de terrain le facteur limitant pour les relevés est bien de réaliser les relevés dans le temps imparti sur le terrain et qu'à ce jour tous nos essais montrent que le maximum de gain de temps provient d'une saisie manuscrite dans la majorité des cas.

(iii) **Gestion des données : fonctionnement et accessibilité de la base de données**

La question de la gestion des données, anciennes, issues des relevés historiques, et nouvelles qui enrichissent chaque année le pool de données de l'observatoire depuis sa constitution, est probablement le point le plus délicat et le plus central pour la pertinence de l'observatoire pour les réponses auxquelles il souhaite contribuer : effet du changement climatique et des usages sur le long terme. La base de données constitue l'outil central qui permet de faire le pont entre la collecte, la sécurisation et la qualité des données d'une part, et leur valorisation, leur mobilisation dans les analyses permettant de produire de la connaissance nouvelle d'autre part. Il y a ainsi un enjeu à ce que la qualité des données, leur homogénéité soient assurées pour limiter au mieux les erreurs et biais d'analyse par la suite. Ce travail de construction de la base de données de végétation « Alpages Sentinelles » a fait l'objet en grande partie du travail de post-doctorat de Camille Martinez-Almoyna dans le cadre du contrat 2022-2023 entre Sentinelles des Alpes et l'OFB. Les critères nécessaires à l'établissement d'une base de données pérennes sont largement communs à de nombreuses approches en écologie (faune, flore, sol etc) et disponibles dans la littérature (e.g. McIntosh et al., 2007 ; Michener & Brunt, 2009). L'objectif ici n'est pas de reprendre tous ces éléments mais de mettre en avant des points d'attention qui nous ont apparu spécifiques et importants



dans le contexte d'un observatoire de long terme de la végétation mobilisant des données hétérogènes dans leurs modalités et périodes de récolte.

- **La construction d'un cadre commun complet**: la compilation de relevés de végétation au sein d'une base de données ayant pour objectif des analyses temporelles ne peut évidemment pas se limiter à saisir uniquement les données d'abondance ou de fréquence des espèces, mais nécessite une compilation des métadonnées également. Pour la base de données Alpes Sentinelles 5 blocs d'informations, reliés entre eux sont nécessaires pour informer correctement chaque relevé de végétation réalisé. Le modèle relationnel de la base est présenté pour information ci-dessous.

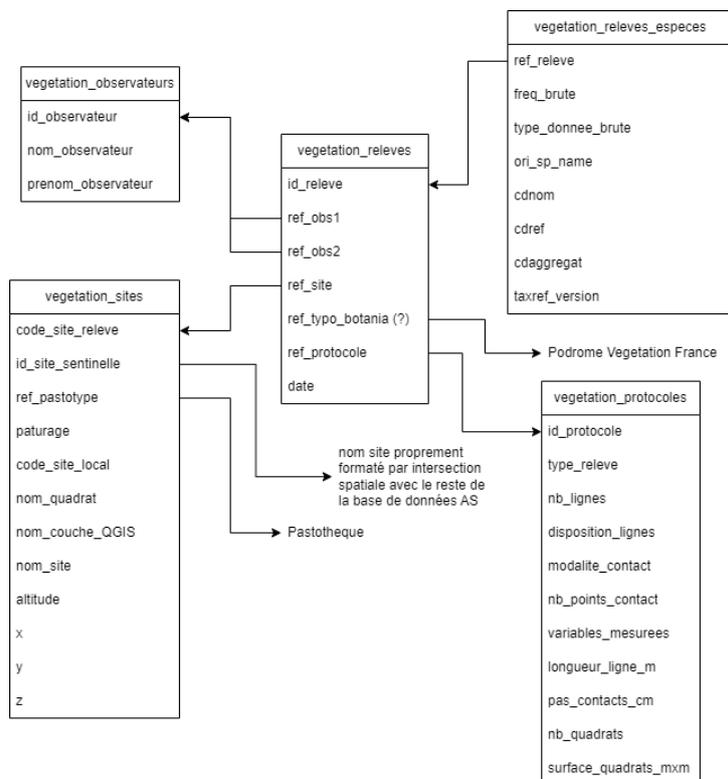


Figure 1 : Modèle relationnel de la base de données de relevés de végétation « Alpes Sentinelles ».

Ces cinq blocs correspondent à :

- ✓ La description de la placette (localisation, usage, type de végétation...)
- ✓ La description du protocole utilisé
- ✓ L'identification des observateurs/botanistes réalisant le relevé
- ✓ Le référentiel de nomenclature des noms d'espèces
- ✓ La description du relevé lui-même : date de réalisation, données de fréquence



ou abondance des espèces dans le relevé lui-même

Cette structure permet ainsi de conserver l'ensemble des données nécessaires à l'interprétation des relevés et de produire un **identifiant unique pour chaque relevé** à chaque date pour chaque placette.

La base est actuellement opérationnelle et hébergée sur les serveurs du LESSEM où elle peut être consultée.

- **L'homogénéisation des données disponibles.** Il s'agit d'un point majeur, qui, dans le cadre d'un observatoire associant des données anciennes et récentes, récoltées par des observateurs variés dans des contextes de projets variés et avec parfois des protocoles différents, peut conduire à un énorme travail de mise en forme et en commun des données. A titre d'exemples, pour Alpages Sentinelles au moins 5 grands types de format de fichiers Excel étaient présents, et pour certains de ces formats il pouvait y avoir jusqu'à 160 fichiers non homogènes entre eux (en termes d'organisation et de labellisation des lignes ou colonnes). Cette étape de formatage des fichiers est cruciale et pas forcément automatisable. Elle nécessite donc des allers-retours entre la personne en charge de la base, les experts ayant participé aux relevés pour aboutir un format unique. **Ce point souligne le rôle absolument indispensable par la suite de produire un format unique de fiche de saisie des données à partir de la création de la base.**
- **L'utilisation d'un référentiel taxonomique commun.** Cet aspect est en lien étroit avec l'homogénéisation des données. Comme évoqué plus haut, la taxonomie est une discipline dynamique, qui dépend de nombreux facteurs comme l'époque du relevé, le référentiel utilisé, l'observateur, l'opérateur de saisie (faute de frappe). Cela conduit à des fichiers de relevés historiques et récents présentant une forte hétérogénéité dans la nomenclature. A ceci s'ajoute les incertitudes et erreurs potentielles de détermination des espèces. Dans le cadre de notre observatoire nous avons opté pour la méthode suivante : **utilisation d'un référentiel commun à la date de la création de la base qui est la version 17 de TaxRef.** Cela a donc nécessité de corriger toutes les nomenclatures non valides dans ce référentiel. Le nettoyage des noms d'espèces a constitué un travail intense. A titre d'illustration il faut savoir que la base « brute » de départ contenait 1547 noms d'espèces différents donnés par les botanistes en charge des relevés, au final après nettoyage et homogénéisation de la nomenclature avec TaxRef v17 il subsiste : 756 espèces uniques (CDREFS). Par la suite un travail de **création d'agrégats d'espèces** a été réalisé pour regrouper des espèces proches où les risques de confusion sont forts et où les variations d'abondance ou les passages au cours du temps de l'un de ces espèces à l'autre d'un même agrégat ne peuvent être considérés comme fiables (e.g., certaines Fétuques, certains *Hieracium* etc). Toutefois, il faut noter que **l'information initiale** (le nom donné au départ sur le terrain par le botaniste) **est systématiquement conservée dans la base**, il n'y a donc pas de



perte de l'information originelle. Cet aspect conditionne les possibilités de correction, de revenir aux données sources au sein même de la base.

- **La gestion des incertitudes de détermination et des erreurs passées qui peuvent être corrigées ultérieurement.** Ce point est en lien avec la saisie correcte de la nomenclature. Il n'est toujours pris en compte de façon satisfaisante dans la base, mais c'est un point sur lequel nous travaillerons dans un avenir proche. L'idée ici est, d'une part, de réfléchir à associer un indice de certitude sur la détermination effectuée, et d'autre part, à conserver l'erreur de détermination de départ quand celle-ci peut être corrigée à posteriori (quand on s'aperçoit que les années précédentes une espèce a été mal déterminée et que l'on peut corriger avec une grande certitude les déterminations anciennes, car les deux espèces confondues ne coexistent pas sur le site). Cette situation a été rencontrée et nous souhaitons ne pas perdre l'information de la détermination erronée au départ.
- **Les modalités de saisies et d'importation des relevés dans la base.** Les différents points soulevés auparavant dans cet axe concernant la gestion des données militent pour **l'établissement d'un cadre strict, rigoureux pour toute nouvelle importation de données.** C'est ce que propose désormais l'observatoire des végétations d'Alpages Sentinelles. Tout nouveau relevé importé à partir de maintenant devra faire l'objet d'une saisie dans un fichier formaté pour la base qui permet de respecter le format de saisie des données et qui s'appuie sur le référentiel taxonomique valide pour l'observatoire. Ainsi les opérateurs de terrain, peuvent réaliser de façon libre (mais des fiches préremplies sont disponibles s'ils le souhaitent) les relevés sur les fiches de terrain qui leur conviennent, mais la transmission de ces données à l'opérateur central en charge d'alimenter la base de données ne peut se faire que via des **fichiers respectant le format d'importation.** Cette approche permet de réduire le travail conséquent et potentiellement source d'erreurs d'homogénéisation des relevés, uniquement aux quelques nouveaux relevés anciens répondant aux critères de l'observatoire qui pourraient nous être proposés.
En complément de cette approche cadrée et rigoureuse pour tous les relevés à venir, un **système de vérification et de contrôle a minima des données saisies** permet d'alerter l'opérateur qui saisit le relevé dans la fiche formatée si les valeurs saisies dépassent l'amplitude des valeurs correctes. Quoiqu'il en soit, une contre vérification rapide des fichiers par l'opérateur central est recommandée avant toute importation dans la base.
- **La question de la saisie des données brutes pour les protocoles où la donnée d'abondance/fréquence n'est pas la donnée primaire récoltée sur le terrain.** Cette question a été abordée de nombreuses fois au sein du dispositif. En effet la majorité des protocoles mis en œuvre dans l'observatoire concerne des lignes de lecture s'appuyant sur des points-contacts, c'est-à-dire que la donnée de base mesurée sur le terrain n'est pas la fréquence de chaque espèce mais sa présence-absence aux différents points (de 50 à 100) des transects suivis dans les placettes. C'est le nombre de fois où l'espèce est présente (au moins un contact avec l'aiguille sur le point de



mesure) sur l'ensemble des points du relevés qui permet d'accéder à la donnée de fréquence qui est la donnée saisie dans la base comme donnée initiale. Objectivement, la vraie donnée brute est celle de l'ensemble des contacts (présence-absence) par point pour l'ensemble des points. Nous avons choisi de ne pas saisir cette donnée dans la base pour plusieurs raisons. D'une part il faut voir que c'est l'ensemble de ces points qui constituent la mesure du relevé et pas chacun des points, la méthode n'est pas conçue initialement pour une analyse à l'échelle du point, d'autre part ces données ne feront pas l'objet d'analyses spécifiques, et elles ne sont pas représentées dans tous les protocoles (absentes des protocoles basés sur des mesure visuelle d'abondance sur des quadrats) et ne correspondent pas aux pistes principales d'analyses des données ciblées par l'observatoire. Ce choix permet également d'éviter de complexifier grandement la base de données et sa structure.

- **Compatibilité avec les autres bases de données**, institutionnelles, nationales ou internationales. L'approche décrite ci-dessus et la nomenclature de référence systématiquement utilisée permet de favoriser le transfert des données vers d'autres bases. Les deux prochaines étapes vont être de transférer les données de l'observatoire dans la base de données naturalistes BALISTE d'INRAE pour une consultation large. De la même façon, les données sont en cours de préparation pour intégrer la base floristique du CBNA. A l'issue de la publication (en cours de rédaction) d'un *data paper* sur ces données, elles seront ensuite largement accessibles.

(iv) **Analyse des données et production de résultats.**

Tout comme pour la création de la base de données, l'analyse des données n'a rien en soi de spécifique à un observatoire. Et les directions choisies dépendent des questions posées. Il ne s'agit donc pas de faire un tour exhaustif des possibilités d'analyse offertes par le jeu de données mais de préciser les axes choisis et pertinents dans le cadre spécifique de l'observatoire de la végétation du réseau Alpages Sentinelles, en regard de ses particularités qui sont donc de ne concerner que la flore vasculaire, une grande diversité de communautés végétales de l'étage subalpin soumises à des pratiques pastorales ou non dans une approche diachronique d'évolution temporelle.

- **Les grandes questions abordées par l'observatoire.** Les critères de choix des placettes, l'hétérogénéité des placettes dans leur représentativité de certaines communautés végétales, leur historique d'usage, le rythme de leur relecture, leur ancienneté permet de cibler certaines questions spécifiques concernant la dynamique de la diversité et de la composition floristique des pelouses subalpines en réponse au changement climatique. Ainsi trois approches peuvent être développées et analysées en réponse à deux facteurs d'interaction pris en compte dans le cadre de notre observatoire. Ces trois approches correspondent à trois niveaux d'information sur la connaissance de la vulnérabilité de ces milieux au changement climat.
 - ✓ Une approche sur **l'évolution globale tendancielle des végétations d'alpage** : leur dynamique temporelle de leur diversité, de leur composition taxonomique.
 - ✓ Une approche plus agropastorale renseignant sur la **dynamique de leurs**



propriétés fonctionnelles agropastorales par une approche fonctionnelle plus ciblée et pouvant apporter des éléments sur l'évolution de la composante pastorale de ces végétations : quelle dynamique de l'abondance des différents groupes fonctionnels de plantes ; des espèces dominantes structurantes de la qualité du fourrage et des traits fonctionnels associés à ces propriétés.

- ✓ Une **approche plus mécanistique et fondamentale sur les changements de structure des communautés** (assemblages d'espèces, structure de dominance, diversité fonctionnelle...) à échelle fine pour mieux saisir les mécanismes à l'œuvre dans l'organisation dynamique de la composition des communautés

En parallèle, ces évolutions, ces dynamiques peuvent dépendre, donc être en interaction, avec deux facteurs pris en compte par l'observatoire : le type de communauté végétale et la présence ou non de pâturage.

- ✓ **Le type de communauté** correspond dans notre cas à des types de végétation spécifiques, relativement homogènes dans leur description agroécologique c'est à dire couplant à la fois les conditions environnementales, les espèces végétales structurantes et les usages. Ces types, pour les milieux pastoraux d'altitude, ont été décrit récemment dans l'ouvrage La Pastothèque (Dodier et al., 2023) offrant une classification agroécologique de ces pelouses. Il nous est ainsi possible d'associer à chaque placette un type pastoral issu de cette classification et prendre en compte ce facteur (que l'on appelle *pastotype*) dans les analyses ?
- ✓ Historiquement, les placettes suivies les plus anciennes intégraient sur certains sites une **comparaison entre sites pâturés et sites expérimentaux non pâturés**. Ainsi pour certains types de végétation nous disposons historiquement de placettes non pâturées depuis plusieurs décennies. Nous avons ensuite pu intégrer ou développer d'autres placettes sur des zones non soumises au pâturage qu'elles soient expérimentales ou non (sites inaccessibles aux troupeaux domestiques). L'effet d'interaction entre la dynamique sous l'effet du changement climatique en fonction de la présence ou non d'herbivores domestiques peut ainsi être abordé pour certaines végétation.

Le croisement de ces trois approches et de ces facteurs d'interaction nous permet de dégager un corpus de 4 grandes questions qui peuvent être traitées avec ce jeu de données et contribueront à répondre aux attentes des gestionnaires de sites, des enjeux de conservation tout en apportant des connaissances scientifiques nouvelles sur la dynamique de ces milieux.

- ➔ La première question concerne l'existence d'une **évolution des végétations d'alpage dans toutes leurs composantes** (taxonomiques, fonctionnelles, diversité) **dans un contexte de changement climatique** et si cette évolution est **tendancielle** (changements graduels temporels progressifs) ou bien reflète uniquement une variabilité temporelle idiosyncratique.
- ➔ La seconde question s'intéresse à **identifier les composantes des communautés végétales qui répondent le plus fortement** au cours du temps : composition



taxonomique, fonctionnelle, diversité, abondances relatives des espèces, types morphologiques, structure fine des assemblages d'espèces... et sont donc à même de permettre de détecter le plus précocement possible des risques d'évolution.

- ➔ La troisième question aborde **l'importance relative** sur ces changements **du changement climatique, de l'arrêt ou de l'absence de pâturage domestique** et de leurs interactions. Notamment il s'agit de déterminer si le pastoralisme module la réponse des communautés végétales aux effets du changement climatique
- ➔ Enfin la quatrième question traitée vise à identifier des réponses différentielles en fonction du type de végétation ou communauté végétale. L'objectif est de déterminer **des vulnérabilités ou sensibilités au changement climatique et à l'arrêt du pâturage différentes selon les communautés** et donc des enjeux de gestion ou de conservation hiérarchisés selon les milieux en s'appuyant sur la typologie des végétations pastorales proposée par la Pastothèque (Dodier et al., 2023).
- **La production d'un cadre d'analyse** pour traiter l'ensemble de ces questions et d'**un cadre de présentation des résultats** permettant d'illustrer chacun de ces enjeux d'acquisition de connaissance. Ce cadre doit pouvoir être mobilisable facilement chaque année avec l'ajout des nouvelles données récoltées. Nous travaillons ainsi actuellement à définir les analyses, la formalisation des résultats dans le cadre d'un travail produisant des routines sous R, qui permettraient à terme d'assurer une mise à jour annuelle des résultats intégrant les nouveaux relevés.

(v) *Transfert et communication des résultats*

Une attention importante est portée par l'observatoire à la diffusion des informations concernant la vie du réseau, au transfert des actions réalisées, et au partage des résultats. Cet aspect de communication autour de l'observatoire est particulièrement vital si l'on veut maintenir la dimension collective à l'échelle de l'arc alpin. La structuration de cet axe s'articule autour de trois types d'actions :

- **Des réunions d'un groupe de travail.** Un groupe de travail « végétation » a été formé avec pour objectif de se réunir régulièrement (a minima 1 fois tous les 2 ans), il est constitué des animateurs de l'observatoire et du programme Alpages Sentinelles, des chercheurs participants et de représentants de tous les territoires ou structures qui contribuent à fournir des placettes ou à participer aux relevés de végétation (chargés de mission, gestionnaires, opérateurs indépendants). Les objectifs de ce groupe de travail et des réunions associées sont de partager le bilan des actions menées, de contribuer à planifier en commun les actions à venir, de présenter les résultats d'analyses en cours, de réfléchir à des pistes de réflexions nouvelles autour de la valorisation de ces données et de proposer les moyens de communication, de transfert les plus pertinents auprès d'un public plus large des connaissances acquises : livrets, plaquettes, mode de diffusion de ces données. Ces réunions sont une étape importante de la vie de l'observatoire pour permettre à l'ensemble des acteurs impliqués de garder le lien avec des actions et des objectifs parfois valorisables



uniquement sur le temps long pour les territoires. C'est aussi un moyen d'être vigilant à conserver, en complément de la production de connaissances scientifiques ou fondamentales, des approches valorisables pour les gestionnaires en réponse aux enjeux des territoires dans le contexte de l'adaptation au changement climatique.

- **La production de supports des actions et des connaissances produites.** L'objectif ici est de pouvoir produire régulièrement des plaquettes ou des supports mis à jour des résultats en s'appuyant sur les différentes questions élaborées plus haut (sur la dynamique, la sensibilité des types de végétation, les interactions entre changement climatique et pâturage, les composantes de réponse de la végétation). Ces supports doivent être transférables et mobilisables par les différents acteurs des territoires tout en contribuant au transfert de connaissances auprès d'un public plus large. A ce jour, une première plaquette a été produite sur ce thème (https://www.alpages-sentinelles.fr/wp-content/uploads/2021/10/Alpages-Sentinelles_2021_Effets-CC-vegetations-alpage_web2.pdf). Dans une deuxième phase, après une avancée significative sur la forme des résultats à présenter, l'idée est de proposer une base commune, de présentation des résultats qui puissent être mise à jour régulièrement (tous les 2-3 ans) en intégrant les nouveaux relevés et étant le support d'informations à différentes échelles :
 - ✓ Echelle de la placette, pour les enjeux locaux de conservation ou de connaissances des milieux
 - ✓ Echelle du territoire, souvent le massif (e.g. Vercors, Vanoise, Ecrins, Ventoux, Lubéron etc) pour les enjeux de gestion et de connaissance à l'échelle territoriale
 - ✓ Echelle des types de végétation, pour les enjeux régionaux de gestion à l'échelle des habitats
 - ✓ Echelle de l'ensemble du dispositif pour une vision globale écologique des grandes tendances à l'échelle du massif alpin français (évolution globale de la composition, de la diversité ou de la structure fonctionnelle des pelouses subalpines)

Ces supports doivent s'accompagner d'un guide d'interprétation des résultats construit collectivement pour favoriser l'appropriation et la compréhension des analyses et le transfert aux gestionnaires des territoires.

- **Des actions complémentaires de diffusion** sont en cours de réflexion autour de différents niveaux de valorisation : **publications scientifiques** (un *data paper* en préparation, une trame pour de futurs articles scientifiques...), documents à disposition sur le **site internet** du projet Alpages Sentinelles...

CONCLUSION

Avec cette note de synthèse nous souhaitons mettre en avant les enjeux, les défis et les réponses apportées aux problématiques liées aux suivis de long terme de la végétation dans le cadre de l'observatoire des végétations du programme Alpages Sentinelles. Si cet observatoire comporte de nombreuses spécificités liées à son histoire, sa structure, aux



questions posées, il représente selon nous, malgré tout, de nombreuses problématiques communes à la question majeure aujourd'hui de l'observation au long terme de la diversité dans un contexte de changement climatique.

L'objet de cette note a été de montrer les problématiques générales, communes autour de la question des observatoires de végétation sur le long terme en soulignant :

- Le besoin de disposer de données anciennes concomitantes à la période de démarrage de l'évolution récente du climat d'origine anthropique (début des années 1980) où les effets du changement climatiques ont commencé.
- Les problématiques soulevées par l'agrégation dans des observatoires de données hétérogènes, et comment il est possible de prendre en compte, tolérer ou dépasser ces problématiques par des règles d'intégration des suivis dans l'observatoire et comment ces règles peuvent contribuer à limiter des biais d'analyse (e.g. choix de placettes spatialement permanentes, stabilité des protocoles de mesure...).
- Le besoin de disposer d'observatoires ciblés sur des milieux spécifiques pour favoriser l'articulation avec des problématiques de gestion conservatoire territoriale.

Il s'agit ensuite d'illustrer ces problématiques en s'appuyant sur l'expérience acquise dans le cadre du fonctionnement de l'observatoire des végétations du programme Alpages Sentinelles, spécifique des pelouses subalpines du massif alpin français et, notamment, de présenter et justifier les choix que nous avons faits pour favoriser à la fois la pérennisation et la fiabilité de cet observatoire qui associe de nombreux acteurs : chercheurs et gestionnaires. Nous pensons que cette note permet d'apporter des éléments importants et généralisables pour permettre des choix opérationnels contribuant à ces enjeux de pérennisation et de fiabilité d'observatoires de la végétation sur le long terme à l'échelle des communautés végétales.

Nous avons ainsi proposé une approche du fonctionnement d'un tel observatoire autour de 5 axes :

- Une animation centralisée
- Des règles de cadrage de la réalisation des suivis de végétation
- Des règles autour de la gestion des données anciennes et nouvellement acquises
- Des propositions autour de l'analyse des données et de la production de résultats
- Les besoins de transfert et de communication des résultats et des connaissances

L'ensemble des propositions associées à ces axes visent à permettre une mise en routine fiable et facilitée de la relecture, de la saisie, de l'analyse et de l'interprétation régulières des suivis de végétation sur le long terme dans une dimension collective à l'échelle du massif alpin français.

Toutefois la réalisation et la mise en œuvre de ces suivis, le respect des règles évoquées ici, ne peuvent se faire que dans un cadre stabilisé de financement de tels suivis. Le cadre actuel de soutien financier de la recherche scientifique n'est structurellement pas le plus favorable à ce type de stabilité avec des financements généralement compris entre 3 et 5 ans maximum et des guichets financeurs qui ne sont pas enclins à financer des projets similaires d'une campagne à l'autre. Ce fonctionnement du financement de la recherche n'est pas le plus



adapté sur ces questions d'observatoires de long terme malgré l'affichage fort de la question de l'impact des changements climatiques comme thématique prioritaire dans les priorités de financements. A titre d'illustration on peut noter que le réseau de suivis dont il est question ici a été financé depuis sa création par des fonds du Ministère de l'Ecologie, des fonds CASDAR, des fonds européens FEDER, des soutiens réguliers de la Zone Atelier Alpes ainsi que sur des fonds propres ou des financements extérieurs de nos structures partenaires (Parcs Nationaux et Parcs Naturels Régionaux). Cette diversité de sources de financement a rendu difficile l'anticipation et la mise en œuvre des propositions énoncées dans cette note, mais tout en permettant malgré tout d'assurer des suivis réguliers et de maintenir une forme de pérennité de l'observatoire. Depuis 2022, la convention entre l'OFB et Sentinelles des Alpes nous a permis de n'avoir qu'un interlocuteur pour le financement de l'ensemble du réseau (quel que soit le territoire concerné) et d'avoir une capacité de préparation sur quelques années qui a grandement facilité la structuration de l'observatoire telle que décrite dans ce document et la création de la base de données dans le cadre du travail de C. Martinez-Almoyna. Cela nous a donné un support fixe nous permettant de poser les bases du fonctionnement que l'on espère fiable et pérenne de l'observatoire. Ce type de moyens de fonctionnement, sur plusieurs années d'affilée et avec un potentiel de répétabilité est un soutien majeur pour ce type d'observatoire, où, finalement les moyens nécessaires sont variables d'une année sur l'autre (en fonction du nombre de placettes à relire et des opérateurs responsables de ces placettes).

Enfin, on peut souligner aussi que si cet observatoire répond à des enjeux spécifiques pour notre réseau autour des prairies subalpines, il peut (doit ?) également avoir vocation à opérer des rapprochements au moins niveau national avec d'autres observatoires de la biodiversité. Cela souligne la pertinence d'une structure nationale ayant une vision plus large des enjeux nationaux ou supranationaux autour de la surveillance de la biodiversité et pouvant potentiellement permettre des rapprochements entre différents observatoires. A ce titre, nous serions en effet intéressés par un séminaire national entre observatoires permanents de la biodiversité pour échanger sur les modalités de pérennisation, de fonctionnement de nos divers dispositifs et des perspectives de partage et d'harmonisation de ces réseaux.



BIBLIOGRAPHIE

- Archaux, F., Gosselin, F., Bergès, L. & Chevalier, R. (2006) Effects of sampling time, species richness and observer on the exhaustiveness of plant censuses. *Journal of Vegetation Science*, 17, 299-306.
- Bakker, J.P., Willems, J.H. and Zobel, M. (1996a) Long-term vegetation dynamics: Introduction. *Journal of Vegetation Science*, 7, 146.
- Bakker, J.P., Olff, H., Willems, J.H. & Zobel, M. (1996b) Why do we need permanent plots in the study of long-term vegetation dynamics? *Journal of Vegetation Science*, 7, 147-156.
- Blowes, S.A., Supp, S.R., Antão, L.H., Bates, A., Bruelheide, H., Chase, J.M. et al. (2019) The geography of biodiversity change in marine and terrestrial assemblages. *Science*, 366, 339-345.
- Bornard, A., Bassignana, M., Bernard-Brunet, C., Labonne, S. & Cozic, P. (2004) La diversité végétale des alpages des Alpes internes françaises et italiennes. Influence du milieu et des pratiques. *Fourrages*, 178, 153-169.
- Botta-Dukat, Z., Kovacs-Lang, E., Redei, T., Kertesz, M. & Garadnai, J. (2007) Statistical and biological consequences of preferential sampling in phytosociology: theoretical considerations and a case study. *Folia Geobotanica*, 42, 141-152.
- de Bello, F., Valencia, E., Ward, D. & Hallett, L. (2020) Why we still need permanent plots for vegetation science. *Journal of Vegetation Science*, 31, 679-685.
- de Snoo, G.R., Naus, N., Verhulst, J., van Ruijven, J. & Schaffers, A.P. (2012) Long-term changes in plant diversity of grasslands under agricultural and conservation management. *Applied Vegetation Science*, 15, 299-306.
- Chytrý, M. (2001) Phytosociological data give biased estimates of species richness. *Journal of Vegetation Science*, 12, 439-444.
- Chytrý, M., Schaminée, J.H.J & Schwabe, A. (2011) Vegetation survey: a new focus for Applied Vegetation Science. *Applied Vegetation Science*, 14, 435-439.
- Chytrý, M., Tichy, L., Hennekens, S.M. & Schaminée, J.H.J. (2014) Assessing vegetation change using vegetation-plot databases: a risky business. *Applied Vegetation Science*, 17, 32-41.
- Chytrý, M., Chiarucci, A., Pärtel, M. & Pillar, V.D. (2019) Progress in vegetation science: trends over the past three decades and new horizons. *Journal of Vegetation Science*, 30, 1-4.
- Dengler, J. (2009) A flexible multi-scale approach for standardised recording of plant species richness patterns. *Ecological Indicators*, 9, 1169-1178.



- Dobremez, L., Nettièr, B., Legeard, J.-P., Caraguel, B., Garde, L., Vieux, S., Lavorel, S. & Della-Vedova, M. (2014) Les alpages sentinelles : Un dispositif original pour une nouvelle forme de gouvernance partagée face aux enjeux climatiques. *Journal of Alpine Research*, 102.
- Dodier, H., Garde, L., Genevet, E., Charmetant, R., Grivel, G. (coord.) (2023) *La Pastothèque. Référentiel des milieux pastoraux du Sud de la France dans un contexte de changement climatique. Tome 1. Montagne : étages alpin, subalpin et montagnard*. Cardère éditeur, 512 p.
- Dornelas, M., Antao, L.H., Moyes, F., Bates, A.E., Magurran, A.E., Adam, D. et al. (2018) BioTIME: a database of biodiversity time series for the Anthropocene. *Global Ecology and Biogeography*, 27, 760–786.
- Dornelas, M., Gotelli, N.J., McGill, B., Shimadzu, H., Moyes, F., Sievers, C. et al. (2014) Assemblage time series reveal biodiversity change but not systematic loss. *Science*, 344, 296–299.
- Erschbamer, B., Kiebacher, T., Mallaun, M. & Unterluggauer, P. (2009) Short-term signals of climate change along an altitudinal gradient in the South Alps. *Plant Ecology*, 202, 79–89.
- Fischer, M. & Stöcklin, J. (1997) Local extinctions of plants in remnants of extensively used calcareous grasslands 1950–1985. *Conservation Biology*, 11, 727–737.
- Jandt, U, von Wehrden, H. & Bruehlheide, H. (2011) Exploring large vegetation databases to detect temporal trends in species occurrences. *Journal of Vegetation Science*, 22, 957–972.
- Grabherr, G., Gottfried, M., & Pauli, H. (2000). GLORIA: A Global Observation Research Initiative in Alpine Environments. *Mountain Research and Development*, 20(2), 190–191.
- Grabherr, G., Gottfried, M. & Pauli, H. (2010) Climate change impacts in alpine environments. *Geography Compass*, 4/8, 1133–1153.
- Hannah, L., Midgley, G.F. & Millar, D. (2002) Climate change-integrated conservation strategies. *Global Ecology & Biogeography*, 11, 485–495.
- Haveman, R. & Janssen, J.A.A. (2008) The analysis of long-term changes in plant communities using
- Jansen, F. & Dengler, J. (2010) Plant names in vegetation databases – a neglected source of bias. *Journal of Vegetation Science*, 21, 1179–1186.
- Kapfer, J., Hedl, R., Jurasinski, G., Kopecky, M., Schei, F.H. & Grytnes, J.-A. (2017) Resurveying historical vegetation data – opportunities and challenges. *Applied Vegetation Science*, 20, 164–171.
- Knollova, I., Chytrý, M. et al. (2024) ReSurveyEurope: A database of resurveyed vegetation plots in Europe. *Journal of Vegetation Science*, DOI: 10.1111/jvs.13235.
- Kopecky, M. & Macek, M. (2015) Vegetation resurvey is robust to plot location uncertainty. *Diversity & Distributions*, 21, 322–330.



- Matteodo, M., Ammann, K., Verrecchia, E.P. & Vittoz, P. (2016) Snowbeds are more affected than other subalpine–alpine plant communities by climate change in the Swiss Alps. *Ecology and Evolution*, 6, 6969-6982.
- Mayer, R., Kaufmann, R., Vorhauser, K. & Erschbamer, B. (2009) Effects of grazing exclusion on species composition in high-altitude grasslands of the Central Alps. *Basic and Applied Ecology*, 10, 447-455.
- McIntosh, A.C.S., Cushing, J.B., Nadkarni, N.M. & Zeman, L. (2007) Database design for ecologists: Composing core entities with observations. *Ecological Informatics*, 3, 224-236.
- Michalet, R., Touzard, B., Billard, G., Choler, P., & Loucougaray, G. (2024). Changes in taxonomic and functional composition of subalpine plant communities in response to climate change under contrasting conditions of bedrock and snow cover duration. *Journal of Vegetation Science*, 35, e13253.
- Michener, W. K., & Brunt, J. W. (Eds.). (2009) *Ecological data: Design, management and processing*. John Wiley & Sons.
- Otypková, Z. & Chytrý, M. (2006) Effects of plot size on the ordination of vegetation samples. *Journal of Vegetation Science*, 17, 465-472.
- Pauli, H., Bardy-Durchhalter, M., Euller, K., Kagerl, K., Lamprecht, A., Saccone, P. & Winkler, M. (2023). Alpine plant diversity monitoring in protected areas: The GLORIA observation network after 20 years of operation. In Wrbka, T. & Egger, A. (eds.), (2023). 7th International Symposium for Research in Protected Areas 7-9 September 2022, Vienna, Austria. Conference Volume: 201-205. National parks Austria, Orth an der Donau. ISBN: 978-3-200-08898-6 <https://usolar.univie.ac.at/detail/o:1659552>
- Quillet, A., Peng, C. & Garneau, M. (2010) Toward dynamic global vegetation models for simulating vegetation–climate interactions and feedbacks: recent developments, limitations, and future challenges. *Environmental Reviews*, 18, 333-353. <https://doi.org/10.1139/A10-01>
- Rammig, A., Jonas, T, Zimmermann, N.E. & Rixen, C. (2010) Changes in alpine plant growth under future climate conditions. *Biogeosciences*, 7, 2013-2024.
- Roleček, J., Chytrý, M., Hájek, M., Lvončík, S. & Tichý, L. (2007) Sampling design in large-scale vegetation studies: do not sacrifice ecological thinking to statistical purism! *Folia Geobotanica*, 42, 199-208.
- Schaminée, J.H.J., Hennekens, S.M., Chytrý, M. & Rodwell, J.S. (2009) Vegetation-plot data and databases in Europe: an overview. *Preslia*, 81, 173-185.
- Sieck, M., Ibsch, P.L., Moloney, K.A. & Jeltsch, F. (2011) Current models broadly neglect specific needs of biodiversity conservation in protected areas under climate change. *BMC Ecology*, 11 : 12. <http://www.biomedcentral.com/1472-6785/11/12>



- Smits, N.A.C., Schaminée, J.H.J. & van Duuren, L. (2002) 70 years of permanent plot research in The Netherlands. *Applied Vegetation Science*, 5, 121-126.
- Spiegelberger, T., Bernard-Brunet, C., & Loucougaray, G. (2010) Du simple relevé de végétation à la gestion des données sur la biodiversité : problèmes liés à la construction d'une base de données sur la flore alpine. *Sciences Eaux & Territoires*, 3, 88.
- Stuessy, T.F. (2009) *Plant Taxonomy: The Systematic Evaluation of Comparative Data*. Columbia University Press.
- Verheyen, K., Bažány, M., Chečko, E., Chudomelová, M. et al (2018) Observer and relocation errors matter in resurveys of historical vegetation plots. *Journal of Vegetation Science*, 29 812-823.
- Vernay, M., Lafaysse, M., Monteiro, D., Hagenmuller, P., Nheili, R., Samacoïts, R., Verfaillie, D. & Morin, S. (2022) The S2M meteorological and snow cover reanalysis over the French mountainous areas: description and evaluation (1958–2021). *Earth Science System Data*, 14, 1707-1733.
- Vymazalová, M., Axmanová, I. & Tichý, L. (2012) Effect of intra-seasonal variability on vegetation data. *Journal of Vegetation Science*, 23, 978-984.
- Vymazalová, M., Tichý, L. & Axmanová, I. (2014) How does vegetation sampling in different parts of the growing season influence classification results and analyses of beta diversity? *Applied Vegetation Science*, 17, 556-566.