

CONSERVATOIRE
BOTANIQUE NATIONAL
PYRÉNÉES
ET MIDI-PYRÉNÉES

SUIVIS DES POPULATIONS CUEILLIES D'ARNICA DES MONTAGNES

Synthèse et recommandations

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION.....	7
2. CONTEXTE.....	7
2.1. L'ARNICA : BIOLOGIE ET ÉCOLOGIE.....	7
2.2. LA CUEILLETTE DE L'ARNICA EN FRANCE.....	15
3. LES SITES DE CUEILLETTE SUIVIS ET LES PROTOCOLES ASSOCIÉS.....	18
3.1. LE MASSIF DU MARKSTEIN.....	18
3.2. LE COL DE PAILHÈRES.....	19
3.3. LE COL DE PORTÉ-PUYMORENS.....	21
3.4. LES MONTS D'ARDÈCHE.....	23
3.5. UN AUTRE SUIVI DE RÉFÉRENCE EN EUROPE : LES MONTS APUSENI EN ROUMANIE.....	23
4. LES SUIVIS ET LES QUESTIONS SCIENTIFIQUES ASSOCIÉES.....	24
4.1. RÉSUMÉ DES VARIABLES MESURÉES ET DES QUESTIONS TRAITÉES.....	24
4.2. ÉVALUATION DE LA DENSITÉ, DE L'ÉTENDUE DES POPULATIONS D'ARNICA, DU TAUX DE FLORAISON ET DE LA RESSOURCE CUEILLABLE.....	26
4.3. ÉVALUATION DE LA PRESSION DE CUEILLETTE.....	30
4.4. ÉVALUATION DE L'IMPACT DE LA CUEILLETTE SUR L'ARNICA.....	32
4.5. ÉVALUATION DES EFFETS ENVIRONNEMENTAUX ET DE LA GESTION SUR L'ARNICA.....	34
4.6. ÉVALUATION DES EFFETS DE LA GESTION SUR D'AUTRES ESPÈCES ET SUR LE MILIEU.....	35
4.7. QUELQUES PISTES DE RECHERCHE COMPLÉMENTAIRES.....	36
5. IMPORTANCE DE LA CONCERTATION ET ASPECTS ORGANISATIONNELS.....	38
6. UN PROTOCOLE COMMUN DANS TOUS LES MASSIFS ?.....	39
6.1. TEMPS ASSOCIÉS AUX DIFFÉRENTS PROTOCOLES.....	39
6.2. PRÉCONISATIONS SUR LES VARIABLES À MESURER ET LES TECHNIQUES À UTILISER.....	40
6.3. MISE À PROFIT DE L'EXPÉRIENCE DES CUEILLEURS ET DES AUTRES USAGERS.....	42
6.4. AIDE-MÉMOIRE POUR LA MISE EN PLACE D'UN PROTOCOLE DE SUIVI.....	42
7. PERSPECTIVES.....	42
8. BIBLIOGRAPHIE.....	42

À citer sous la référence :

LOCQUEVILLE J. 2024 – Suivis des populations d'*Arnica montana* : vers un plan de gestion national ? Conservatoire botanique national des Pyrénées et de Midi-Pyrénées (CBNPMP). Inédit. 43 p.

ABRÉVIATIONS

CBNMC : Conservatoire botanique national du Massif central

CBNPMP : Conservatoire botanique national des Pyrénées et Midi-Pyrénées

OFB : Office français de la Biodiversité

ONF : Office national des Forêts

PNRMA : Parc naturel régional des Monts d'Ardèche

PNRPC : Parc naturel régional des Pyrénées catalanes

PNRBV : Parc naturel régional des Ballons des Vosges

1. INTRODUCTION

L'arnica des montagnes (*Arnica montana* L.) est une des espèces de plantes cueillies qui concentre actuellement le plus de préoccupations sur la gestion durable de ses populations. La ressource en arnica est en déclin depuis plusieurs années, notamment du fait des changements climatiques, alors que la demande des industries cosmétique, pharmaceutique et homéopathique reste importante. Cela fait naître de multiples interrogations sur les pratiques de cueillette et de gestion du milieu qui sont à favoriser dans ce contexte, conduisant plusieurs organismes à mettre en place des suivis des populations d'arnica, de leur milieu et des pratiques de cueillette et de gestion associées.

Ce document consiste en une synthèse et une analyse des protocoles de suivi mis en place sur l'arnica, accompagnée de recommandations techniques dans la perspective de la constitution d'une feuille de route au niveau national sur la gestion de cette espèce. Dans un premier temps, des éléments du contexte biologique, écologique et social autour de cette plante sont exposés. Puis les protocoles de suivi déjà mis en place sur cette plante sont décrits et discutés. Des recommandations sont ensuite formulées pour la mise en place des futurs protocoles, en particulier afin de pouvoir mettre en commun les données de ceux-ci. Ce document constitue ainsi la première étape de mise en commun des travaux existants en France, dans l'optique d'harmoniser les données et les actions en cours autour d'un plan de gestion à l'échelle nationale.

2. CONTEXTE

2.1. L'ARNICA : BIOLOGIE ET ÉCOLOGIE

GÉNÉRALITÉS

Arnica montana est une Astéracée vivace, qui possède aussi des noms vernaculaires comme Tabac des Vosges, Tabac des Savoyards, Herbe à éternuer, Plantain des Alpes, Quinquina des pauvres, Panacée des chutes, Bétoine de montagne, ou Herbe aux prêcheurs. Le nom d'arnica provient du grec *ptarmika*, "éternuer" du fait de ses propriétés sternutatoires.

La plante est haute de 20 à 60 cm. Les fleurs sont jaune-orangé et regroupées en capitules larges de 4 à 8 cm, sur une tige simple ou peu ramifiée. Les fruits, des akènes, sont longs de 6-7 mm, avec des aigrettes d'environ 8 mm. Elle possède des feuilles basales en rosettes, ovales à lancéolées, sessiles. Elle se distingue de la plupart des autres Astéracées à capitules jaunes par ses feuilles caulinaires opposées. Malgré cela les confusions sont fréquentes, notamment avec le séneçon doronic (*Senecio doronicum* (L.) L. ; voir Figure 1).

Elle se reproduit d'une part par multiplication végétative, via des rhizomes souterrains bruns et qui s'étendent à un rythme de quelques centimètres par an (Figure 1), et d'autre part par reproduction sexuée – mais les aigrettes sur les akènes sont peu développées et la dispersion des graines est donc assez faible (dans un rayon de 5 m environ ; Strykstra et al., 1998). Les graines ne présentent pas de dormance et germent à l'automne ou au printemps qui suivent la fructification (Kahmen et Poschlod, 2000).

Toutes les rosettes d'un même individu ne fleurissent pas chaque année (Figure 2), le pourcentage de floraison des rosettes (ratio du nombre de hampes florales sur le nombre de rosettes sur une surface donnée) avoisine souvent les 10 % (Michler, 2007)¹. Lorsqu'on trouve dans la littérature une mesure du "pourcentage de pieds fleuris", il faut entendre par "pieds" les rosettes, ou plus précisément les modules végétaux appelés *ramets*² dans la littérature scientifique (Figure 3).

L'arnica est allogame et auto-incompatible, et dépend d'insectes pollinisateurs pour assurer sa reproduction sexuée. Son auto-incompatibilité induit un risque de disparition important des petites populations fragmentées, comme on en observe en particulier à basse altitude, ce qui est notamment le cas dans le Bassin parisien, en Belgique et aux Pays-Bas (Van Rossum et Raspé, 2018). Cela a par exemple encouragé le Jardin botanique de Meise à lancer un projet de translocation d'arnica, afin d'effectuer un sauvetage génétique de petites populations (Van Rossum et Raspé, 2018).

1 Mais les données que nous avons recueillies en France suggèrent que valeur est susceptible de varier de 0 à plus de 50 % selon les milieux et les années (voir p. 36)

2 En biologie végétale, on parle de ramet (terme d'origine anglaise) pour tous les "modules" d'une colonie clonale qui sont des parties d'un même individu initial (genet), partageant la même information génétique que les autres ramets. Les différents ramets peuvent devenir indépendants entre eux.



Figure 1 : *Arnica montana* (à gauche) et *Senecio doronicum* (à droite). Les feuilles dentées et les feuilles caulinaires opposées suffisent à les différencier, mais les capitules se ressemblent et les deux espèces peuvent se trouver dans les mêmes milieux.

L'arnica possède une relativement grande variabilité phénotypique, notamment au niveau de la forme, de la taille et de l'épaisseur de ses feuilles (Locqueville et al., 2023 ; Romero et al., 2011). Cela est dû en partie à une plasticité foliaire en réponse à la compétition avec les autres plantes et aux conditions hydriques (Locqueville et al., 2023). En conditions de compétition élevée, par exemple dans une lande à callune ou à rhododendron, ses feuilles sont érigées et peuvent atteindre 30 cm de long, tandis qu'elles sont petites et appliquées au sol lorsque la végétation est rase (Figure 3).

L'arnica montre aussi une variabilité chimique, à la fois qualitative et quantitative. La variabilité la plus étudiée concerne sa composition en lactones sesquiterpéniques, la famille de molécules responsable de son effet anti-inflammatoire. Au niveau qualitatif, les populations d'arnica sont souvent discriminées en deux grands types : l'arnica poussant en Europe centrale ou orientale montre une prédominance des esters d'hélénaline, tandis que l'arnica provenant de la péninsule ibérique contient presque exclusivement des dérivés de 11 α ,13-dihydrohélénaline (Schmidt, 2023). Leur action pharmacologique est légèrement distincte, mais cette différence est de peu d'importance en France puisque les esters d'hélénaline prédominent dans pratiquement toutes les stations. Au niveau quantitatif, la pharmacopée européenne impose pour le capitule et la teinture mère d'arnica une teneur totale minimale en lactones sesquiterpéniques de respectivement 0,4 % et 0,04 %. Bien que la teneur en lactones soit variable en fonction du milieu (Greinwald et al., 2022), elle passe rarement en dessous du seuil fixé par la pharmacopée, ce qui fait qu'elle n'est pas l'objet d'une attention particulière de la part des cueilleurs.

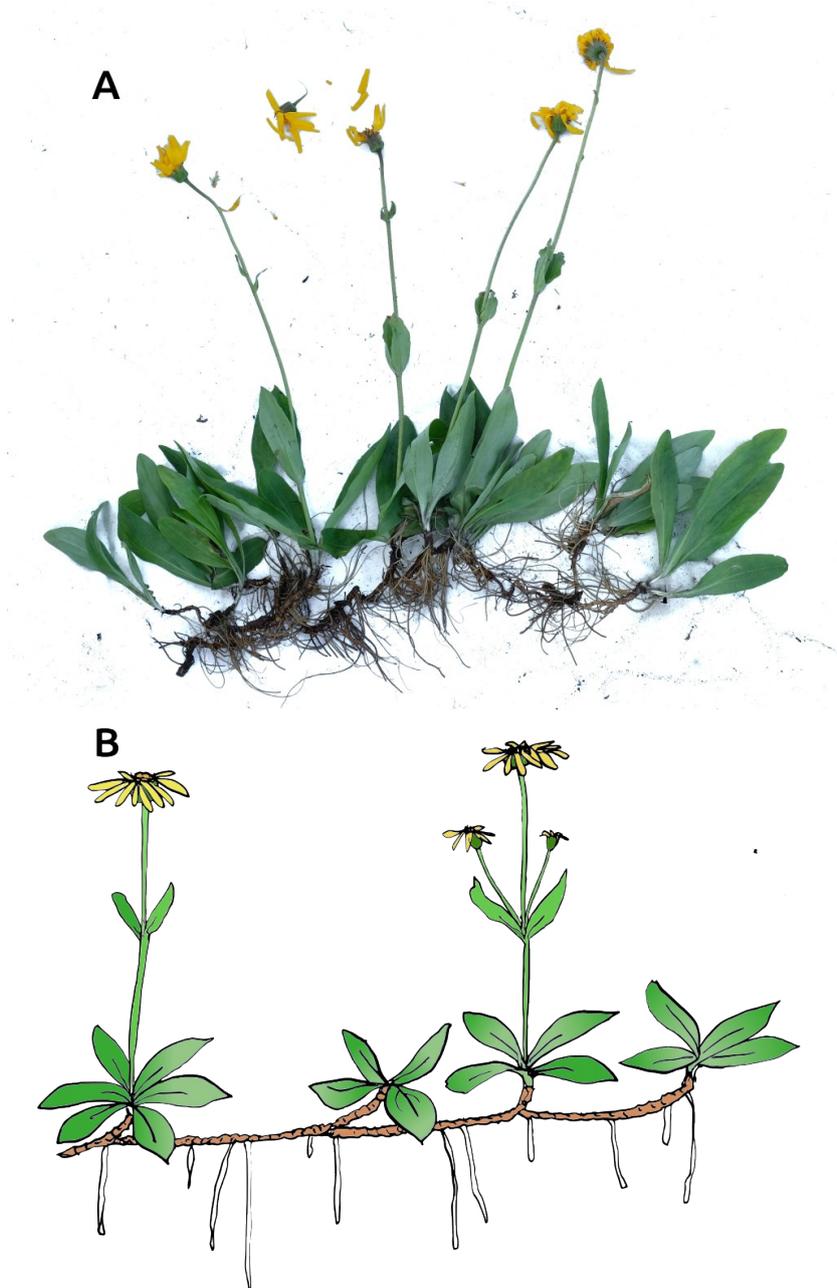


Figure 2 : En haut, schéma d'un individu d'arnica. En bas, photographie d'un individu d'arnica avec ses multiples rosettes connectées par le rhizome souterrain

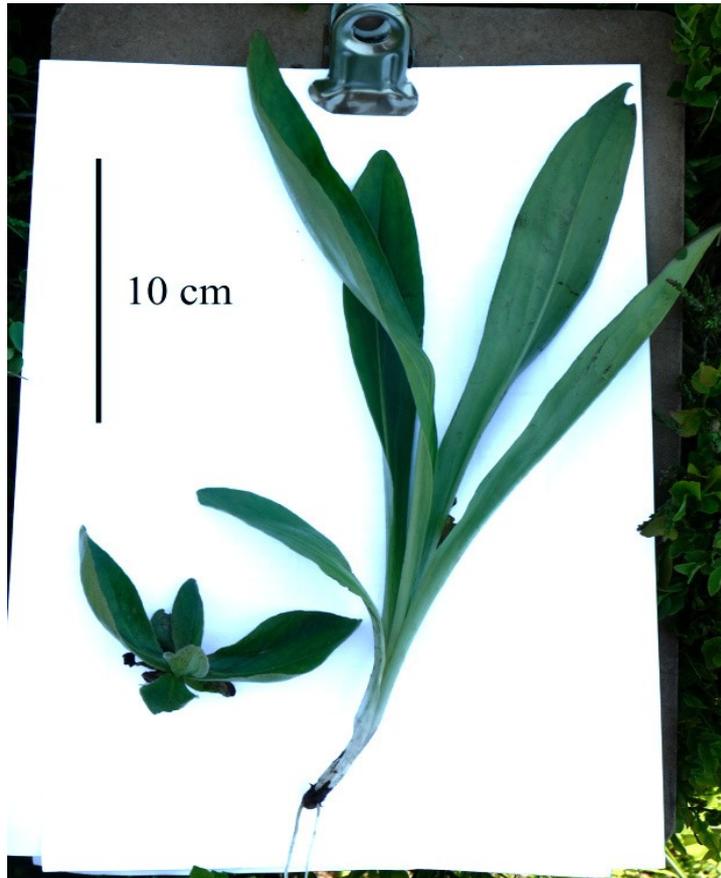


Figure 3 : Photographie de deux rosettes d'arnica prélevées dans la même population à quelques mètres de distance, mais dans un environnement végétal distinct : à gauche, sur un sol pratiquement nu, et à droite, parmi des myrtilliers hauts d'environ 30 cm de haut

DISTRIBUTION ET HABITAT

L'aire de répartition de l'arnica des montagnes va du sud de la Scandinavie à la Biélorussie, l'Ukraine, la Roumanie, le Nord des Balkans, au nord du Portugal et de l'Espagne (voir Figure 4). Deux sous-espèces ont été décrites en Europe : *A. montana* subsp. *montana* et *A. montana* subsp. *atlantica*. La première, la plus commune, est répartie sur tout le nord et l'est de son aire de répartition, et la seconde est seulement présente en Espagne et au Portugal (Vera et al., 2014). En France, ses populations les plus importantes se situent dans les Vosges, les Alpes, le Massif Central et les Pyrénées. C'est une plante acidiphile, que l'on retrouve sur les massifs non calcaires, dans la plupart des alliances des ordres du *Nardetalia strictae* et du *Festucetalia spadiceae*, les landes (*Vaccino-Genistetalia*) et les bois clairs (mélézins, cembraies, pineraies, hêtraies). Elle pousse sur des sols tourbeux, sableux ou limoneux, mais pauvres en bases et en éléments nutritifs. C'est une espèce mésophile à mésohygrophile (elle demande donc des sols modérément secs à humides).

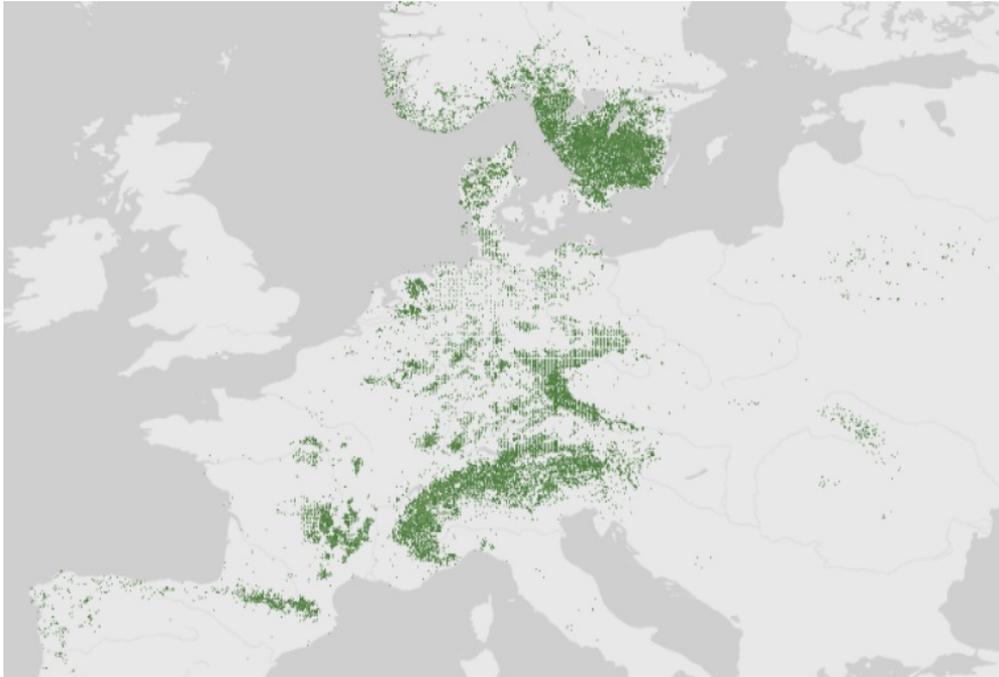


Figure 4 : Carte des observations en sauvage d'*Arnica montana* (points verts) répertoriées dans la base de données du GBIF. Données extraites le 3 mai 2024. L'intensité du vert reflète l'abondance des données plutôt que l'abondance réelle de l'arnica. Les données sont ainsi beaucoup plus nombreuses en Europe de l'Ouest qu'en Roumanie ou en Ukraine, où l'arnica est pourtant abondante.

LES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX AYANT UN IMPACT SUR L'ARNICA

Étant une espèce poussant principalement dans les pâturages et les landes d'altitude, la niche écologique de l'arnica est fortement influencée par les pratiques humaines de gestion du milieu. Un certain nombre de travaux ont déjà été réalisés à l'international pour évaluer sa sensibilité à certaines modifications de son milieu et dont nous présentons ici la synthèse. L'accent est mis sur les pratiques humaines susceptibles de faire l'objet d'une gestion (Figure 5). Nous avons choisi de distinguer différentes variables "réponse" de l'arnica aux variables environnementales : son abondance, son taux de floraison, sa diversité génétique et sa compétitivité vis-à-vis de la communauté végétale adjacente. En effet une population peut être abondante localement mais être déjà dans une situation de très faible diversité génétique ou n'être pas ou plus en capacité de fleurir. Distinguer ces différentes composantes de l'adaptation de l'arnica au milieu permet donc d'évaluer sur le plus long terme les chances qu'a une population de perdurer sur un site.

Les numéros ci-dessous font référence aux numéros sur la Figure 5.

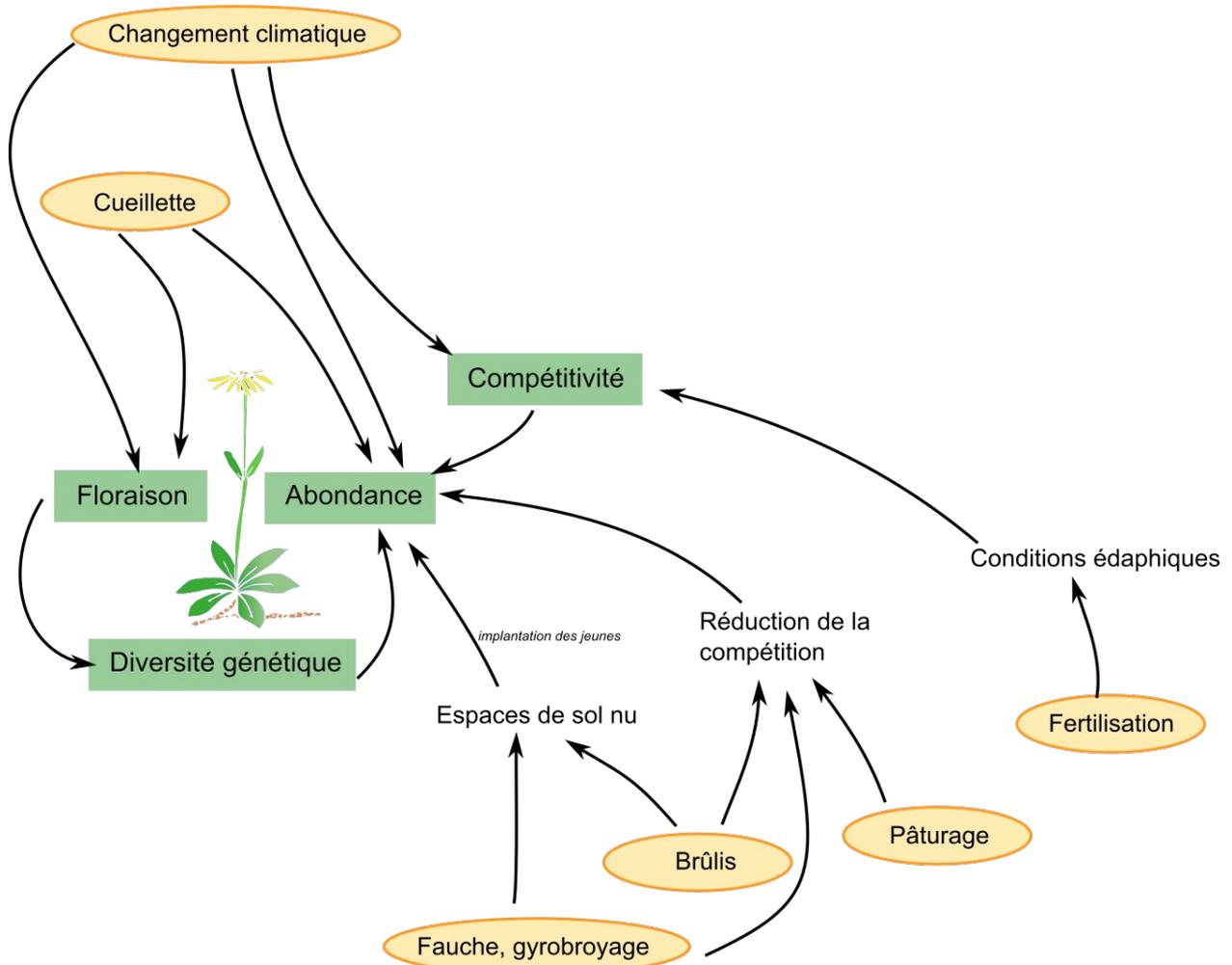


Figure 5 : Schéma des différents facteurs influant sur la présence et l'abondance de l'arnica des montagnes

1. La **fertilisation** est une des principales causes de disparition de l'arnica (Hollmann et al., 2020). En effet, cette plante est oligotrophe. Elle est capable de pousser en culture dans des substrats plus riches, mais en milieu sauvage d'autres espèces mésotrophes sont plus compétitives que l'arnica lorsque les nutriments sont abondants. Une fertilisation importante conduit ainsi à des milieux où l'arnica a une faible compétitivité et est amené à disparaître, mais des petites quantités ne sont pas forcément néfastes, surtout si un export de matière organique (par la fauche notamment) est réalisé. Les prairies de fauche roumaines riches en arnica sont généralement fertilisées en petites quantités, de l'ordre de 10 t/ha/an de fumier tous les deux à trois ans (Păcurar et al., 2023).

2. Le **chaulage** des prairies augmente le pH du sol. Or, bien que l'arnica puisse très bien être cultivé dans des sols autour de pH 7, en milieu sauvage il est acidiphile et tire son épingle du jeu dans des milieux à pH 4-6. Le chaulage a donc dans la plupart des cas un effet délétère sur l'arnica, une augmentation importante de la concentration en bases entraînant une augmentation de la minéralisation, et a tendance à transformer les habitats oligotrophes en habitats mésotrophes, dans lesquels d'autres espèces (des Poacées notamment) sont plus compétitives et mènent à l'exclusion de l'arnica (Tenz et al., 2010).

3. L'**herbivorie** (consommation d'arnica) a notamment été documentée dans le cas des gastéropodes (Bruehlheide et Scheidel, 1999), qui ont consommé jusqu'à 75% de la surface foliaire de l'arnica dans l'expérimentation. L'herbivorie par les gastéropodes pourrait ainsi partiellement expliquer la distribution montagnarde de l'arnica, car la densité des gastéropodes diminue avec l'altitude. La consommation des capitules par la mouche de l'arnica, *Tephritis arnicae*, est une pression sur la production de graines qui est variable en fonction des années, de la taille des populations d'arnica (les petites populations isolées ne permettent souvent pas l'établissement d'une population de *T. arnicae*), et de l'altitude (Scheidel et al., 2003). Le parasitisme par *T. arnicae* est aussi un inconvénient pour la cueillette, car il diminue la qualité de la récolte. Pour l'herbivorie par les animaux d'élevage, voir le point 4 ci-dessous.

4. Le **pâturage bovin** extensif permet de créer et de maintenir sur le long terme des conditions favorables pour l'arnica. Les bovins consomment peu l'arnica, et si le chargement n'est pas trop important (1 UGB/ha par exemple) ceux-ci participent au maintien du milieu ouvert et agissent comme agent sélectif au sein de la communauté végétale en faveur de l'arnica. À des chargements élevés en revanche, le piétinement et la perturbation fréquente du couvert font diminuer l'abondance de l'arnica (Kathe, 2006 ; Păcurar et al., 2023). Le pâturage a aussi un effet sur le sol via les excréments. Un haut chargement peut amener à une fertilisation excessive et à une baisse de la compétitivité de l'arnica (voir point 1). Le **pâturage ovin**, quant à lui, est clairement néfaste à l'arnica. Des enquêtes (Locqueville, données de thèse) ont rapporté que l'arnica disparaît ou régresse très fortement en l'espace de quelques mois après l'introduction d'ovins. Une hypothèse a été également avancée d'un effet alcalinisant des excréments ovins sur le sol des prairies, les ovins ayant donc selon cette hypothèse un effet similaire à celui du chaulage, affectant négativement l'arnica (Ducurf, 2021). Si cet effet sur l'arnica existe, il est cependant probablement beaucoup moins rapide que celui de l'herbivorie directe par les ovins, et a donc peu de chances de s'observer en pratique.

5. La **fauche** agit de manière globalement similaire au pâturage mais de manière non sélective, sans apport d'excréments et avec un plus faible tassement du sol que celui généré par le piétinement. Les densités très importantes d'arnica sont souvent observées dans des systèmes de fauche, ou de fauche et pâturage combinés (Jager, 2016; Păcurar et al, 2023).

Le **gyrobroyage** est similaire à la fauche sans export de matière mais dans des landes présentant une dominante d'espèces ligneuses, comme la callune (*Calluna vulgaris*), les genêts (*Genista* spp.), le rhododendron (*Rhododendron ferrugineum*), ou les myrtilles et aïrelles (*Vaccinium* spp.). Le gyrobroyage est généralement pratiqué durant la période hivernale par les éleveurs afin de rajeunir le milieu, diminuer la compétition générée par les espèces ligneuses et retrouver des pâturages plus riches en espèces herbacées. Il peut s'effectuer avec un broyeur attelé à un tracteur, ou des engins spécialisés à chenilles capables d'accéder à des zones plus pentues (voir Figure 6). L'arnica profite généralement de cette réouverture du milieu à court ou moyen terme, car son rhizome souterrain non affecté par le gyrobroyage lui permet de recoloniser rapidement après la perturbation du couvert. L'apparition de zones de sol nu suite au gyrobroyage peut aussi permettre un recrutement plus aisé de nouveaux pieds d'arnica par semis (van der Berg, 2003). Plusieurs sites de cueillettes importants ont ainsi été repérés suite à un gyrobroyage. À court terme un gyrobroyage peut par contre aussi rendre l'arnica plus sensible à la sécheresse, car le sol nu des zones gyrobroyées est davantage sujet à l'évapotranspiration.



Figure 6 : Gyrobroyage avec un chenillard au col de Porté-Puymorens dans les Pyrénées catalanes en hiver 2023-2024, visant à une réouverture des milieux à arnica

6. Le **brûlis** (parfois improprement appelé écobuage) est une technique traditionnelle pour limiter le développement des plantes ligneuses, et qui est sujet à de multiples controverses (Dumez, 2010). S'il est effectué correctement (végétation

pas trop haute, flamme qui se déplace et donc température du sol restant faible), il est assez efficace pour rajeunir la végétation et augmenter la proportion d'herbacées. Mais il peut entraîner des changements dans la composition des espèces et, s'il est mal réalisé ou trop souvent, il peut favoriser la propagation d'espèces peu désirées comme la fougère aigle (*Pteridium aquilinum*). Appliqué sur des landes où l'arnica est présent, le brûlis peut entraîner une prolifération importante de cette espèce. En effet le rhizome souterrain de l'arnica n'est normalement pas affecté par un brûlis hivernal (période de repos végétatif), ce qui lui permet de coloniser rapidement les zones laissées nues par le brûlis. La colonisation se fait par multiplication végétative, mais peut aussi passer par de nouveaux pieds issus de semis l'été suivant. De la même manière que le gyrobroyage, le brûlis semble aussi avoir un effet sur le taux de floraison (pourcentage de rosettes fleuries), pour des raisons encore à élucider³. De nombreux sites de cueillette importants ont ainsi été repérés après un brûlis. Un effet positif de l'apport de K et Mg par le brûlis est également possible (Pegtel, 1994).

7. La **cueillette** d'arnica a été peu étudiée quant à ses effets sur les populations de cette espèce. Elle a visiblement un effet moindre à court et moyen terme sur les populations d'arnica que les pratiques de gestion du milieu, et aucune disparition de populations à la suite d'une sur-cueillette n'a pour le moment été rapportée. L'effet est d'autant moins fort que seul un faible pourcentage des rosettes d'un individu fleurit chaque année (généralement autour de 10 %, mais parfois plus élevé dans certaines conditions). Il est donc très rare que des individus entiers soient prélevés. Il faut cependant distinguer la cueillette de capitule de la cueillette de plante entière (voir partie 2.2). La cueillette de la plante entière fleurie (avec un morceau de rhizome) a vraisemblablement un impact énergétique plus fort sur la plante que la cueillette du capitule, puisqu'elle affecte des organes de réserve et des organes photosynthétiques. Les travaux expérimentaux de Jager (2016) sur le massif du Markstein dans les Vosges suggèrent qu'une cueillette de plus de 50 % des rosettes fleuries d'arnica entraîne une régression importante du pourcentage de rosettes fleuries (mais pas de la densité des rosettes) dans la population en quelques années. Sur la zone de cueillette du massif du Markstein, une cueillette intense sur de nombreuses années n'a pas entraîné de déclin de la population, mais une diminution de la floraison a été observée. Si celle-ci peut être attribuée à des facteurs environnementaux (changement climatique notamment), il n'est pas impossible qu'elle soit en partie imputable à la cueillette, la plante investissant davantage dans la reproduction végétative que reproductive du fait de la cueillette (ce qui reste une hypothèse parmi d'autres). Enfin, un effet à ne pas négliger est qu'une cueillette excessive, en diminuant la production de graines, pourrait entraîner la diminution de la capacité de la population à assurer un renouvellement des jeunes pieds par semis. Les conséquences du vieillissement des individus d'arnica sont encore mal connues. S'agissant d'une espèce clonale, il se pourrait que les individus soient capables de se maintenir plusieurs dizaines d'années sans sénescence et avec un taux de floraison stable, mais les données manquent à ce sujet. Des compléments à ce sujet sont apportés dans la section 4.4.

8. Le **changement climatique** a un effet majeur sur les communautés végétales de la plupart du territoire, et les montagnes ne font pas exception. L'augmentation des températures et la diminution des précipitations affecte négativement la fitness de l'arnica (Vikane et al., 2019), et la mortalité des jeunes plantules s'accroît (Stanik et al. 2020, 2021). La hausse des températures hivernales a aussi pour effet probable de diminuer la floraison de l'arnica. En effet l'arnica a vraisemblablement un besoin en vernalisation, c'est-à-dire de cumuler durant l'hiver suffisamment de jours à température basse pour qu'il y ait induction de la floraison (Smallfield et Douglas, 2008). L'épaisseur et la durée de couverture neigeuse a potentiellement un effet positif sur l'arnica (Laydu-Mange, 1992 ; cité par Jager, 2016). Il faut enfin noter que le changement climatique peut modifier la distribution altitudinale et la dynamique annuelle des autres organismes, par exemple *Tephritis arnicae* ou les gastéropodes consommateurs d'arnica, ce qui peut amener à des changements d'adaptation de l'arnica difficilement prévisibles.

2.2. LA CUEILLETTE DE L'ARNICA EN FRANCE

La cueillette est un ensemble de pratiques de prélèvement des plantes, qui englobe aussi des pratiques de recherche des sites de cueillette, de transport et d'interaction avec les autres usagers des sites de cueillette (éleveurs, propriétaires, forestiers par exemple). La grande pluralité d'acteurs pratiquant la cueillette rend difficile d'énoncer des généralités à ce sujet. On peut cependant distinguer plusieurs types de cueillette qui diffèrent notamment par la relation à la plante, les impacts potentiels sur la ressource et les enjeux économiques :

- les cueillettes familiales, souvent associées à un prélèvement de petites quantités de plante. Les enjeux pour la ressource sont souvent limités, mais si par des effets de mode une plante devient particulièrement recherchée, l'impact des cueillettes familiales peut devenir considérable (par exemple pour l'ail des ours)

³ Parmi les hypothèses pour expliquer cette explosion du taux de floraison après un brûlis ou un gyrobroyage, on peut citer l'augmentation des nutriments dans le sol à la suite de la minéralisation de la matière organique ; l'investissement de l'arnica dans une stratégie de colonisation par les graines du fait de la présence de sol nu ; ou encore un stress hydrique soudain du fait de la modification du couvert végétal et qui stimulerait la floraison.

- les cueillettes à fins de transformation et de vente sur le territoire local, comme cela est souvent pratiqué par les cueilleuses et les cueilleurs affiliés au Syndicat SIMPLES. Lorsque toute la production est destinée à la vente directe, les quantités de plantes prélevées sont généralement limitées (moins de 5 kg de capitules d'arnica par an par exemple).
- les cueillettes commerciales destinées aux moyennes et grandes entreprises utilisatrices de plantes (cosmétique, pharmacie, homéopathie, distillerie...). Elles peuvent être réalisées par (1) des cueilleurs indépendants, (2) des cueilleurs directement embauchés par les entreprises utilisatrices, (3) des cueilleurs affiliés à des coopératives, (4) des cueilleurs embauchés par des entreprises de négoce de plantes, ou (5) par des cueilleurs de divers statuts qui revendent leur production à des intermédiaires, lesquelles revendent aux entreprises utilisatrices (filière dite de collectage). Il existe des différences de pratiques de cueillette entre ces différents types, mais ceux-ci ont en commun de cueillir en grandes quantités et revendre la plante non ou faiblement transformée (parfois fraîche, congelée, ou séchée, et éventuellement triée et hachée).

Nous n'entrons pas ici dans les détails du fonctionnement de la cueillette dans ces différents cas de figure. L'arnica est cueillie à la fois dans le cadre familial (voir par exemple les enquêtes effectuées dans les Vosges ; Bain, 2019), pour la transformation et la vente directe et pour la vente en gros à des entreprises utilisatrices. Il n'existe pas d'estimations des volumes récoltés par les deux premiers types de cueillettes, mais il est certain que les volumes prélevés pour le secteur industriel sont plus beaucoup plus importants ; ceux-ci peuvent être quant à eux partiellement estimés. En effet la cueillette se répartit sur quatre principaux massifs : les Vosges, le Massif central, les Alpes et les Pyrénées (Figure 7). Le massif du Markstein dans les Vosges a été pendant plusieurs décennies le plus important site de cueillette en France, et Jager (2016) fait état d'une moyenne de 8,5 tonnes de plante entière fleurie et 622 kg de capitule cueillis par an entre 2009 et 2013. En ajoutant les cueillettes effectuées dans le Massif Central, les Pyrénées et les Alpes à cette période, on peut estimer que les cueillettes pour l'industrie ont fourni entre 12 et 20 tonnes d'arnica par an dans les années 2010. Depuis 2019, le taux de floraison de l'arnica sur le Massif du Markstein a chuté drastiquement, entraînant une décision de ne pas y cueillir. Les cueilleurs d'arnica ont donc pour certains relocalisé leur cueillette sur les autres massifs. Mais la tendance est plutôt à la baisse de la floraison de l'arnica sur la France entière, sans doute en partie du fait de l'augmentation des températures et de la baisse des précipitations. Les volumes cueillis sont donc en baisse et sont probablement passés sous les 10 tonnes au cours des dernières années. Le développement de la culture d'arnica et le développement de partenariats commerciaux des entreprises utilisatrices avec la Roumanie notamment ont pallié cette baisse de la cueillette en France.

Cette période de déclin de la ressource cueillable en arnica introduit un risque supplémentaire sur cette plante, celui de voir les cueilleurs commencer à prélever dans les petites populations. Si certains cueilleurs préfèrent s'abstenir de cueillir (pour des raisons à la fois écologiques et économiques) plutôt que de prélever sur des sites où la ressource est très dispersée, ce n'est pas le cas de tous. Les filières de collectage notamment sont plus à même de permettre ce type de pratiques, car elles peuvent regrouper les récoltes de nombreux cueilleurs dispersés, souvent non professionnels.

Il existe plusieurs modalités de cueillette de l'arnica, qui sont destinées à différents usages (Figure 8) :

- la plante entière fleurie, destinée à l'homéopathie et à la cosmétique, et qui inclut toute la hampe florale, la rosette basale et le petit morceau du rhizome qui se détache en tirant sur la hampe
- la partie aérienne fleurie, destinée à la cosmétique, moins fréquemment demandée, et qui n'inclut que la hampe florale et éventuellement une partie de la rosette basale
- le capitule, destiné à la cosmétique et à la phytothérapie (baumes, pommades...)
- la racine seule pour l'homéopathie (en réalité rhizome et racines), très peu récoltée, et qui ne sera pas développée dans ce document

La cueillette de l'arnica dure de quelques jours à deux semaines sur un site donné, selon les conditions météorologiques. Elle a lieu entre mi-juin et mi-juillet selon les années et les régions. La floraison de l'arnica a tendance à démarrer de plus en plus précocement, du fait des changements climatiques. Des cueillettes d'arnica avaient lieu en début août sur les monts d'Ardèche dans les années 1970, alors qu'elles se terminent rarement après la mi-juillet aujourd'hui. La plante est en principe cueillie au pic de floraison, lorsque le maximum de capitules sont épanouis. La teneur en principes actifs (lactones sesquiterpéniques) étant maximale vers la fin de floraison, il serait normalement préférable de ne pas cueillir l'arnica en début de floraison, mais la compétition entre cueilleurs a tendance à favoriser des cueillettes précoces.

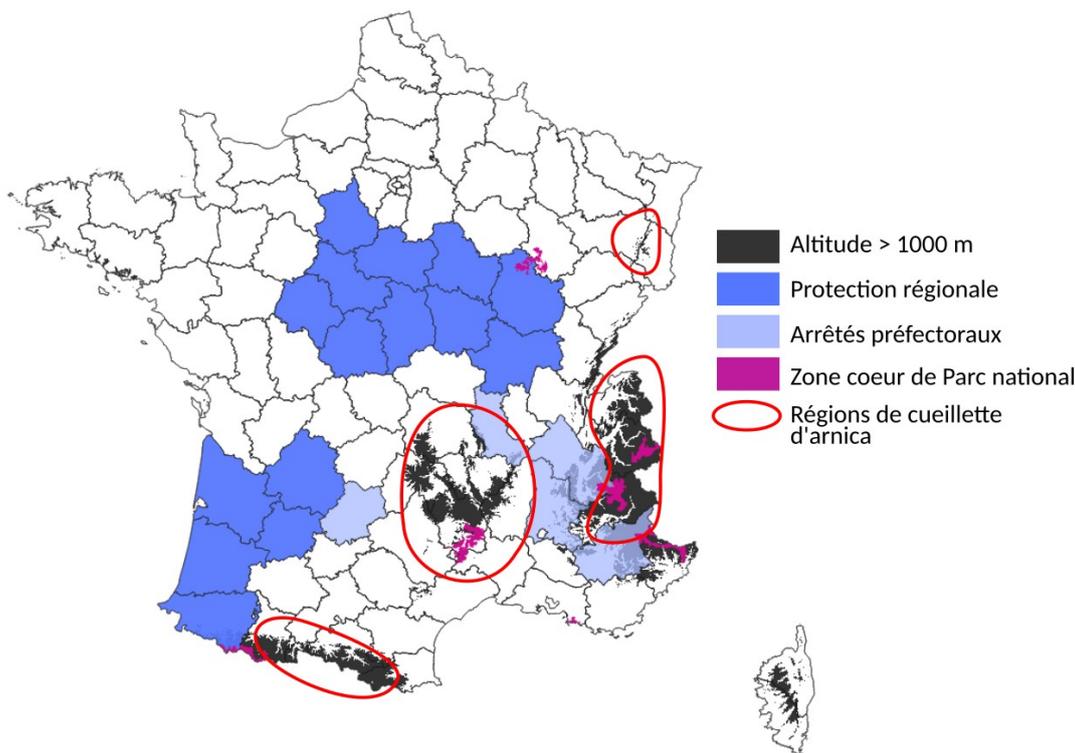


Figure 7 : Les principales régions de cueillette d'arnica en France, délimitées par des cercles rouges.

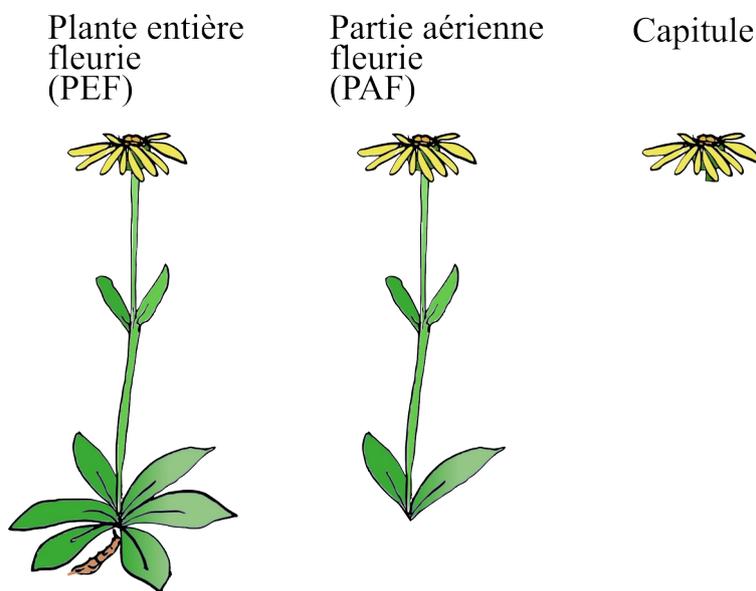


Figure 8 : Les différentes modalités de cueillette de l'arnica

3. LES SITES DE CUEILLETTE SUIVIS ET LES PROTOCOLES ASSOCIÉS

L'augmentation des constats de déclin de la ressource en arnica durant la dernière décennie a poussé plusieurs organismes en France à développer des protocoles de suivis sur cette espèce, en particulier sur des sites de cueillette. Cela fait suite au constat que la plupart des données de terrain collectées par les Conservatoires botaniques nationaux contiennent peu d'informations sur l'étendue et la densité des populations d'arnica sur le territoire, et donc permettent difficilement d'évaluer si la plante est en déclin sur certains territoires. Des protocoles plus spécifiques ont également été

mis en œuvre pour mieux comprendre différents aspects de l'écologie de l'arnica en relation avec la cueillette ou la gestion du milieu. Notre objectif ici est donc de synthétiser les choix méthodologiques et les résultats obtenus dans le cadre de ces différents suivis.

Au total, nous avons inventorié 4 sites ou zones où des suivis ont été mis en place spécifiquement autour de l'arnica en France, et dont les caractéristiques sont présentées ci-dessous. Nous complétons cet inventaire par la description d'un suivi réalisé en Roumanie. Dans ce document nous nous concentrons sur les protocoles de suivi à visée de gestion, et ne détaillerons pas les dizaines de protocoles ponctuels présents dans la littérature scientifique européenne, et qui étaient destinés à répondre à des questions de recherche en écologie ou en génétique des populations sur l'arnica.

3.1. LE MASSIF DU MARKSTEIN

CONTEXTE

Le massif du Markstein présente un site d'arnica unique en France, qui a soutenu la majeure partie des cueillettes commerciales françaises d'arnica pendant plusieurs décennies, jusqu'en 2018. La zone de cueillette recouvre une superficie de 200 ha, répartie sur 6 communes du Haut-Rhin. Elle est essentiellement constituée de prairies de fauche et de pâturages d'altitude (Figure 9). Une cueillette commerciale d'importance a lieu depuis plusieurs dizaines d'années sur le massif, avec des volumes cueillis qui ont été parfois supérieurs à 10 tonnes par an, avec une cinquantaine de cueilleurs impliqués.

Un plan de gestion a été mis en place dès 2007, avec la signature d'une convention visant "à organiser les acteurs impliqués dans la cueillette de l'Arnica sur le secteur du Markstein - Grand Ballon et à garantir la conservation de cette plante en tant que ressource commune" (Collectif, 2016). Cette convention a réuni les représentants des cueilleurs, les maires de trois communes, le Syndicat Mixte d'Aménagement du Markstein Grand Ballon, le PNRBV, l'Association Vosgienne d'Economie Montagnarde, ainsi que les organismes de contrôle (ONF, ONCFS, brigade verte, gendarmerie nationale) et les agriculteurs exploitant les prairies sur la zone. Cette convention définit un nombre maximum de cueilleurs d'arnica par saison (55 cueilleurs maximum), un tonnage maximum en plante entière fraîche (11 t) et un tonnage maximum de capitule frais (1 t). La date de démarrage de la cueillette est définie par le comité de pilotage et celui-ci peut interdire la cueillette si la ressource n'est pas suffisamment abondante. La convention définit également les pratiques de gestion agricole autorisées ou non sur la zone. Le chaulage, la fertilisation, le travail du sol et les traitements phytosanitaires sont ainsi proscrits, et un chargement bovin de 0,5 à 1 UGB/hectare pendant 7 mois maximum, ou une fauche après le 15 juillet sont des pratiques recommandées.

Pour suivre l'évolution de la ressource en arnica, des suivis et expérimentations ont été réalisés entre 2022 et 2015 par le bureau d'étude Ésope et ont donné lieu à une publication détaillée (Jager, 2016).



Figure 9: Cueillette sur les hautes chaumes du Markstein, juin 2020. © Fabien Dupont, PNR BV

MÉTHODES

Différentes méthodes ont été utilisées par le bureau d'étude Ésope pour cette étude, incluant des relevés de terrain, mais aussi une approche expérimentale visant à détecter un éventuel impact de la cueillette sur la plante. Cette approche expérimentale n'est pas à proprement parler un protocole de suivi, mais sera tout de même détaillée ici pour permettre à de futurs protocoles d'intégrer la question de l'impact de la cueillette.

Le suivi de la population d'arnica a été réalisé suivant trois méthodes :

- la classe d'abondance de l'arnica dans les relevés phytosociologiques. Ce type de relevés décrit l'abondance des différentes espèces selon 5 classes de densité. L'intérêt de ce dispositif est que les 24 relevés phytosociologiques utilisés étaient localisés par des bornes de type géomètre, permettant un suivi diachronique de carrés fixes.
- l'évaluation de la densité des hampes d'arnica. l'objectif est de cartographier les zones d'isodensité de la floraison de l'arnica. La densité de floraison a été décrite selon 6 classes : (1) absence de floraison de l'arnica ; (2) floraison quasi-nulle (quelques pieds) ; (3) floraison rare (moins de 5 % des pieds) ; (4) floraison faible (5 à 10 % des pieds) ; (5) floraison moyenne (10 à 25 % des pieds) ; (6) floraison élevée (25 à 50 % des pieds).
- la fréquence de l'arnica dans les poignées de Vries. Cette méthode consiste à prélever aléatoirement 25 poignées de végétation d'environ 25 cm² et à recenser les espèces présentes.

Une expérimentation en blocs répétés a également été mise en place sur 5 ans pour tester l'impact de la cueillette de plante entière fleurie sur l'arnica.

3.2. LE COL DE PAILHÈRES

CONTEXTE

Le site de cueillette du col de Pailhères, à cheval sur les communes de Merial et de Niort-de-Sault, dans le département de l'Aude, a été remarqué par un cueilleur en 2016, peu après un gyrobroyage réalisé par le groupement pastoral (Garreta et al., 2022). Le cueilleur a obtenu les autorisations de cueillette des deux communes propriétaires des parcelles de la zone à arnica, et chaque année 1 à 6 cueilleurs associés y ont cueilli de l'arnica. Des cueillettes par d'autres équipes ont cependant eu lieu, pour une part de manière illégale et pour une part du fait d'autorisations géographiquement imprécises d'une des deux communes. Le site est une estive pâturée de manière extensive par des bovins et les chevaux,

et il s'étend sur environ 190 ha, à une altitude moyenne de 1 800 m. Il est composé de prairies, de landes à callune, à rhododendron et à myrtille et de secteurs de prébois de pins à crochets (Figures 10 et 11).

Des suivis ont été mis en place dès 2019 par le CBNPMP après des échanges avec le cueilleur principal.



Figure 10 : Photographie d'une partie du site de cueillette de Pailhères. L'arnica y est présent à la fois dans les prairies au premier plan et dans la zone des pins à l'arrière-plan.

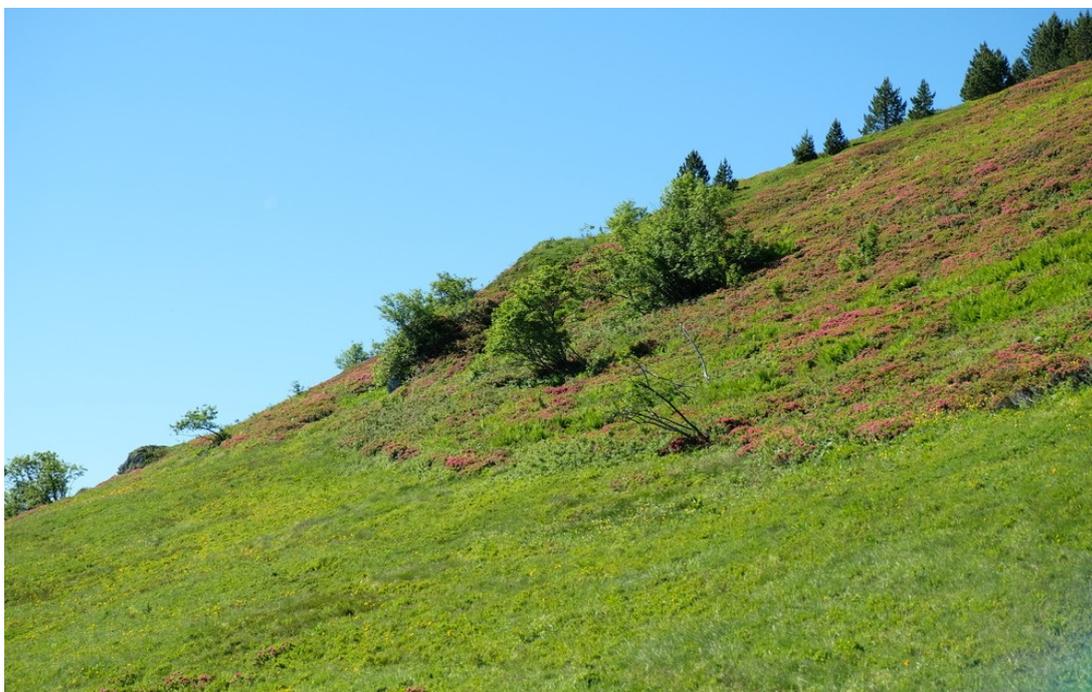


Figure 11 : Photographie sur le site de Pailhères montrant l'effet du gyrobroyage, réalisé sur la zone basse et pas dans la zone haute. La partie basse est devenue une prairie riche en arnica, et la partie haute est restée une lande à rhododendrons

MÉTHODES

Des comptages d'arnica avant et après cueillette ont été réalisés en 2022 dans 40 quadrats de 50 cm de côté sur chacune des zones d'isodensité du site (des zones de densité apparemment homogène en capitules d'arnica). Mais cette méthode a été abandonnée et l'accent est mis depuis 2021 sur le comptage par drone, qui nécessite lui aussi des relevés et comptages d'arnica au sol, notamment pour calibrer les images capturées par le drone. C'est cette dernière méthodologie qui est décrite ci-dessous.

Pour chaque vol du drone dans un secteur donné, 3 quadrats sont disposés de manière non aléatoire : un quadrat est disposé dans une zone dense en hampes florales d'arnica, un quadrat dans une zone moyennement dense, et un quadrat dans une zone peu dense (Figure 12). En supplément, un transect de 1 × 10 m sur une zone présentant différentes densités en hampes florales d'arnica est mis en place. Des fanions sont disposés tous les mètres sur ce transect, de manière à être visibles sur l'image drone. Un dessin est réalisé sur chaque carré d'1m×1m (quadrats et segments du transect) représentant la position et le stade de maturité des capitules d'arnica et des autres inflorescences jaunes susceptibles d'être confondues avec l'arnica, un comptage du nombre de rosettes d'arnica par quadrat est effectué, et le taux de recouvrement en arnica est estimé.

Les données recueillies servent à calibrer le drone et sont à réaliser à chaque vol, sur chaque secteur, car les conditions de luminosité varient au cours du temps et la végétation environnante est différente sur chaque secteur.



Figure 12 : Le transect (à gauche) et un des trois quadrats (à droite) utilisés par le CBNPMP au col de Pailhères ; l'ensemble est survolé par le drone et est à réaliser à chaque vol, sur chaque secteur.

3.3. LE COL DE PORTÉ-PUYMORENS

CONTEXTE

Ce site d'environ 200 ha se situe sur l'estive du col de Porté-Puymorens, dans le département des Pyrénées orientales, à une altitude de 2 100 m environ. Une cueillette commerciale a lieu sur ce site depuis 2010. Cette estive est composée de prairies, de landes à callune et à lycopode en massue, de landes à rhododendrons et de prébois de pins à crochets (Figure 13).

Les suivis, réalisés par le Parc naturel des Pyrénées catalanes (PNRPC) ont été mis en place depuis 2020. Des travaux de réouverture du milieu comprenant du gyrobroyage et de la coupe d'arbres ont été entrepris en hiver 2022-2023 et 2023-2024 (Figure 14), dans l'objectif de favoriser la population d'arnica. Un test de l'usage du brûlis dirigé est projeté mais n'a pas encore pu être réalisé pour des raisons techniques.



Figure 13 : La zone de prébois du site de cueillette du col de Porté-Puymorens

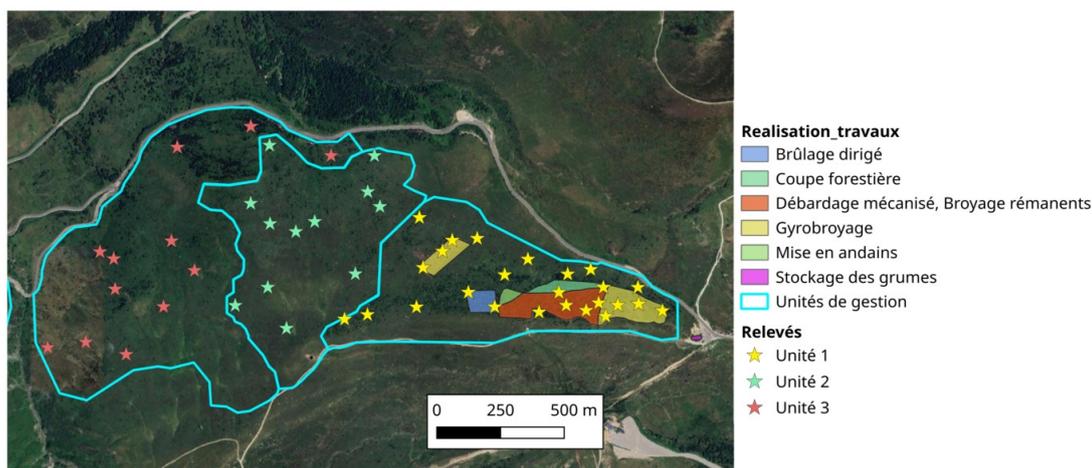


Figure 14 : Cartographie des suivis (étoiles) et des travaux effectués sur le site de cueillette de Porté-Puymorens. Seuls les suivis des unités 1 et 2 ont été maintenus dans le temps

MÉTHODES

Les suivis sont réalisés sur des placettes permanentes consistant en des cercles de 5 m de rayon, soit 79 m², permettant un suivi phytosociologique. Le suivi en placettes permanentes implique une méthode de repositionnement du centre des relevés, reposant sur un point GPS, un marquage à la peinture des repères alentour (pierres, arbres) ainsi qu'un dessin de la position du centre du relevé, et enfin l'installation d'une barre métallique plantée verticalement dans le sol au niveau du centre du relevé, qui peut être retrouvée à l'aide d'un détecteur de métaux si besoin.

Les relevés sont effectués avant et après la cueillette, et comprennent un comptage du nombre de hampes florales, une estimation du recouvrement de l'arnica et des différentes classes de végétation (arbres, plantes ligneuses basses, plantes herbacées). Un comptage du nombre de rosettes a été effectué la première année de relevés. Des relevés complémentaires ont été effectués en 2024 pour évaluer l'impact des travaux de réouverture du milieu sur la floraison de l'arnica, avec une trentaine de quadrats d'1 m² disposés dans les zones gyrobroyées et non gyrobroyées, dans lesquels les rosettes et les hampes d'arnica ont été comptées.

Les analyses sont effectuées en distinguant 4 unités de gestion correspondant à 4 niveaux d'intervention humaine :

- l'unité 1 est caractérisée par une forte densité d'arnica, une cueillette intense. C'est la zone où sont testés le plus de types de travaux de gestion : coupe forestière, gyrobroyage, brûlage dirigé en plein et en patch.
- l'unité 2 présente de l'arnica en concentration moins importante, avec un plus faible taux de floraison, même si une floraison importante a été observée quelques années après des travaux de gestion réalisés il y a une dizaine d'années. Des travaux de brûlage dirigé en patch sont en projet dans cette zone.
- les unités 3 et 4 comportent de l'arnica mais son accessibilité est faible, empêchant la cueillette. C'est une zone non pâturée et qui ne fait pas l'objet de travaux.

3.4. LES MONTS D'ARDÈCHE

CONTEXTE

Les Monts d'Ardèche sont un territoire de montagne dont le point culminant est le Mont Mézenc à 1 753 m. Dans sa partie ouest, où l'arnica est abondant, il est essentiellement formé de pâturages bovins, de landes et de forêts (Figure 15), dont une partie reste propice à l'arnica, bien que la tendance soit à l'intensification des pratiques agricoles, notamment avec le développement de la production dans le cadre de l'AOC Fin gras du Mézenc (viande bovine). Les cueillettes commerciales sont fréquentes sur ce secteur, avec deux coopératives localisées en Ardèche qui réunissent la production de plusieurs dizaines de cueilleurs. Des données de présence d'arnica existaient déjà dans les bases de données du Conservatoire botanique national du Massif central (CBNMC), mais sans réelles données d'abondance. Du fait que cette plante est cueillie, mais aussi qu'elle est relativement sensible aux changements de gestion, il était intéressant pour le CBNMC d'avoir une vision de l'état de conservation des populations d'arnica sur le territoire du Parc naturel régional des Monts d'Ardèche (PNRMA). Le CBNMC a donc mis en place un protocole de recensement et de suivi de la ressource en 2022-2023 avec l'objectif de le répéter à un intervalle de plusieurs années qui reste à définir.



Figure 15: Mosaïque de landes, prairies et ourlets caractéristique des Monts d'Ardèche, juin 2022. © A. Aird

MÉTHODES

Les suivis mis en place par le CBNMC sont un prolongement des « bilans stationnels » et des suivis de populations d'espèces rares ou menacées réalisés en routine par le conservatoire, adaptés pour obtenir une estimation de la taille des populations présentes sur le territoire du PNRMA. Les relevés consistent en une description du milieu et de ses menaces ou dégradations, des pratiques de gestion de cueillette constatées, une estimation de la surface de présence de l'espèce dans la zone de prospection et du nombre de « touffes » (c'est-à-dire d'individus apparents visuellement), une notation de l'avancement de la floraison, l'état sanitaire des fleurs (avec l'observation de la larve de *Tephritis arnicae* dans la fleur) et de la viabilité estimée des graines.

3.5. EN EUROPE : LES MONTS APUSENI EN ROUMANIE

CONTEXTE

Bien que ce document se concentre sur les suivis réalisés en France, il nous a paru utile d'intégrer une description des suivis réalisés par l'Université de Freiburg (Allemagne) en Roumanie, dans les Monts Apuseni (Carpates roumaines). Suite à l'impulsion de l'entreprise Weleda, la cueillette de capitules d'arnica s'est en effet beaucoup développée dans cette région, rémunérant plus de 500 personnes lors de la cueillette, pour une production annuelle allant jusqu'à 33 t de capitule frais, sur une région couvrant 4 000 à 5 000 ha, ce qui en fait la plus importante région exportatrice de capitules d'arnica. L'abondance de l'arnica dans cette région s'explique notamment par le fait que les pratiques agricoles favorables à l'arnica ont été maintenues, et que la région n'a pas subi une intensification des pratiques ni une déprise agricole. La gestion des prairies se fait essentiellement par la fauche avec un pâturage automnal éventuel.



Figure 16 : Paysage culturel traditionnel des monts Apuseni, avec ses prairies oligotrophes, sur le plateau d'Ocoale. Photo © Arnica System, repris de Păcurar et al. (2023)

MÉTHODES

L'université de Freiburg a initié depuis 2000 un suivi scientifique de l'arnica et de sa cueillette sur une zone de 550 ha de prairies, sur la commune de Gârda de Sus, dont une partie est suivie par drone annuellement depuis 2021, sur une surface de 183 ha. L'objectif du protocole manuel est d'estimer la ressource potentielle, la pression de cueillette et de détecter des changements du milieu dus à la gestion, avec une méthodologie développée par Michler (2007). Les relevés drone servent à faciliter l'estimation de la ressource sur de grandes surfaces. Le détail des techniques d'acquisition et d'analyse des images drone est présenté par Sângeorzan et al. (2024). Ces techniques sont globalement similaires à celles du CBNPMP et ne seront donc pas détaillées ici.

4. LES SUIVIS ET LES QUESTIONS SCIENTIFIQUES ASSOCIÉES

4.1. RÉSUMÉ DES VARIABLES MESURÉES ET DES QUESTIONS TRAITÉES

Nous avons répertorié cinq grandes questions posées par les différents protocoles : (1) Combien d'arnica y a-t-il sur un site ? (2) Combien d'arnica est cueilli sur un site ? (3) Quel est l'effet de la cueillette sur la population d'arnica ? (4) Quel est l'effet de mesures de gestion du milieu sur l'arnica, et (5) sur les autres espèces ?

La première question (« Combien y a-t-il d'arnica sur un site ? ») pourrait en réalité être subdivisée en de multiples questions. En effet il n'existe pas une unique variable cible pour le comptage, et le choix des variables mesurées dépend des objectifs poursuivis. Nous avons cependant choisi de réunir ces variables sous la même question générale.

Le tableau 1 synthétise les **questions** posées par les différents protocoles, le tableau 2 fait la synthèse des **variables** mesurées dans les différents protocoles, et le tableau 3 résume le **temps nécessaire** aux différentes mesures. Puisqu'un protocole de comptage manuel comporte toujours un temps d'installation des placettes et de déplacement quelles que soient les variables mesurées, nous donnons ici séparément une estimation du temps d'installation et du temps de mesure proprement dit.

Tableau 1 : Tableau synthétique des questions auxquels les différents protocoles recensés cherchent à répondre.

	Estimation de la densité de l'arnica	Estimation de la pression de cueillette	Estimation de l'impact de la cueillette	Estimation de l'impact des pratiques de gestion du milieu	Estimation de l'effet des pratiques de gestion sur l'habitat
CBN PMP	X	X	X		
PNR BV	X		X	X	X
PNR PC	X	X		X	X
CBN MC	X				
Université de Freiburg	X	X		X	

Tableau 2 : Tableau synthétique des variables mesurées dans les différents protocoles

	Densité touffes (pseudo-individus)	Densité hampes florales	Densité capitules	Densité rosettes	Taux de floraison	% Recouvrement arnica	Traits morphologiques	% des hampes prélevées	% des capitules prélevés
CBNPMP			X	(X) ⁴				(X)	X
PNR BV					X		X		
PNR PC		X		(X) abandon	(X) abandon	X			X
CBNMC	X								
Université de Freiburg			X	X	X				

⁴ La densité des rosettes est mesurée par le CBNPMP dans les quadrats et les transects utilisés pour le calibrage du drone, mais la disposition de ceux-ci n'est pas aléatoire, ce qui conduit à des estimations qui ne sont pas représentatives du site.

Tableau 3 : Temps à prévoir pour l'installation des suivis (en bleu) et la mesure des différentes variables (en orange).

Variable	Technique	Coût
Repérage et mise en place des placettes permanentes + déplacement entre placettes	Manuel	10 à 20 minutes par placette selon l'espacement des placettes et la difficulté de repérage
Mise en place de placettes temporaires + déplacement entre placettes	Manuel	2 à 5 minutes par placette
Logistique de mise en place du drone et attente des conditions météorologiques favorables	Drone	1 h – plusieurs jours
Densité des capitules	Comptage drone	Vol de drone : 5 min / ha Analyse : environ 7 jours pour l'ensemble d'un site (photogrammétrie : 0,5 - 1 jour ; télédétection : 2 - 3 jours ; validation avec données au sol : 1 jour).
Densité des capitules ou hampes	Comptage manuel	5 - 30 sec par m ² selon densité
Densité des rosettes	Comptage manuel	2-4 min par m ² selon densité
Mesure de traits fonctionnels foliaires	Prélèvement de feuilles + pesées, scan et analyse d'image	1 min sur place + 10 min en laboratoire par échantillon
Protocole de simulation de cueillette à différentes intensités	Cueillette manuelle	10-15 min par m ²
Description de la communauté végétale	Relevé phytosociologique	15-30 min
Description des strates de végétation	Relevé des classes de végétation	1 min par relevé

4.2. ÉVALUATION DE LA DENSITÉ, DE L'ÉTENDUE DES POPULATIONS D'ARNICA, DU TAUX DE FLORAISON ET DE LA RESSOURCE CUEILLABLE

VARIABLES MESURÉES

La gestion d'une ressource naturelle suppose un suivi de l'état et de la dynamique de celle-ci afin de pouvoir prendre des mesures adaptées. Il existe cependant plusieurs manières d'estimer la ressource ou la population, avec diverses variables à mesurer en fonction de l'objectif poursuivi.

Les quatre principales variables mesurables sont le nombre d'individus (« touffes »), le nombre de rosettes fleuries, le nombre de hampes florales et le nombre de capitules par unité de surface. Ces quatre variables ne sont pas toujours bien corrélées entre elles. En effet une population peut avoir beaucoup de rosettes mais un taux de floraison (= pourcentage de rosettes fleuries) très faible, ou inversement peu de rosettes mais dont une large proportion est fleurie. La densité des hampes florales et la densité des capitules ne sont pas toujours bien corrélées, mais la corrélation reste correcte et l'on peut éventuellement se contenter d'évaluer l'une de ces deux variables si l'on souhaite une estimation grossière.

La **densité des touffes** ou pseudo-individus est relativement rapide à estimer, mais le problème est que l'estimation dépend fortement de l'observateur. En effet les touffes sont parfois bien délimitées, formant un disque dense, mais parfois les rosettes sont distribuées de manière presque continue dans l'espace rendant l'interprétation des contours des individus hasardeuse. Ces touffes sont souvent formées de plusieurs individus entremêlés, ou d'un même individu génétique scindé en plusieurs fragments au cours de sa vie. Cet estimateur peut être utile pour détecter des changements drastiques dans une population d'arnica, suite à des pratiques agricoles néfastes, mais n'est pas assez fiable pour détecter des changements graduels.

La **densité des hampes florales et des capitules**, relativement rapide à estimer, est évaluée annuellement dans différents protocoles, car elle permet d'estimer la ressource cueillable chaque année. L'une des difficultés rencontrées est l'influence de la date d'échantillonnage sur l'estimation. En effet, le développement des hampes est très rapide et celui des capitules l'est encore davantage. Des comptages réalisés à quelques jours d'intervalles peuvent donc donner des estimations très différentes. L'idéal est de se placer à l'optimum de floraison en s'appuyant sur l'expertise des cueilleurs, mais la coordination avec eux ne le permet pas toujours. De plus, la détection du moment de l'optimum n'est pas toujours évidente. Par exemple, en 2022, la floraison s'est déroulé rapidement, avec un pic de floraison très circonscrit dans le temps ; en revanche, en 2023 la floraison a été très "étalée", du fait de conditions météorologiques froides et humides, avec des fleurs qui fanaient tandis que d'autres s'ouvraient au fur et à mesure. La comparaison de la ressource en arnica entre ces deux années n'est donc pas facile, car on ne mesure qu'un seul instantané.

Si le comptage des organes floraux est utile pour le suivi de la ressource, la **densité des rosettes** est quant à elle une variable essentielle au suivi de la *population* d'arnica, car elle est indépendante des fluctuations interannuelles de la floraison. Mais sa mesure est chronophage, d'autant plus dans des placettes de grande surface, c'est pourquoi à Porté-Puymorens elle n'a été mesurée que la première année des suivis. De plus, elle ne peut pas être estimée par drone, car les rosettes sont souvent trop mêlées à la végétation pour être classifiées correctement.

Le comptage simultané des rosettes et des hampes florales permet l'estimation du **taux de floraison**, ou pourcentage de rosettes fleuries. C'est une variable importante pour comprendre la réaction de l'arnica aux changements du milieu et dans l'interaction avec les cueilleurs (voir section 3.4).

Une approximation de l'abondance de l'arnica peut également être obtenue via une estimation du **recouvrement en arnica**, c'est-à-dire de la proportion de la surface (sous forme de pourcentage ou de classe de pourcentage comme préconisé dans la méthode phytosociologique) qui est occupé par les feuilles de cette espèce.

TECHNIQUES UTILISÉES

Cette section présente les techniques de relevés utilisables (placettes permanentes ou temporaires et drone) ainsi que leurs avantages et inconvénients respectifs pour la mesure des différentes variables. Les mêmes techniques seront utilisées pour l'évaluation de la pression de cueillette (section 3.3) mais elles sont rassemblées ici pour des raisons de simplicité.

RELEVÉS MANUELS EN PLACETTES TEMPORAIRES OU PERMANENTES

Pour une estimation rapide de la **ressource en hampes florales** ou en **capitules**, l'utilisation de **placettes temporaires** est possible et peu coûteux en temps (voir section Erreur : source de la référence non trouvée). La difficulté réside essentiellement dans le positionnement des placettes (le plus souvent des quadrats, voir Figure 12) qui doit être le plus indépendant possible de la présence et de l'abondance de l'arnica pour ne pas sous-estimer ou surestimer la ressource présente sur le site. Dans le protocole du CBNPMP, des comptages sont effectués dans des quadrats disposés de manière non aléatoire, pour calibrer les images drone (les quadrats sont positionnés sur des zones à haute, moyenne et faible densité de hampes d'arnica), ainsi que dans des transects disposés de manière aléatoire. On constate en effet que non seulement la densité des hampes, mais aussi le taux de floraison se révèlent tous deux plus élevés dans les quadrats positionnés de manière non aléatoire que dans le transect (Figure 17).

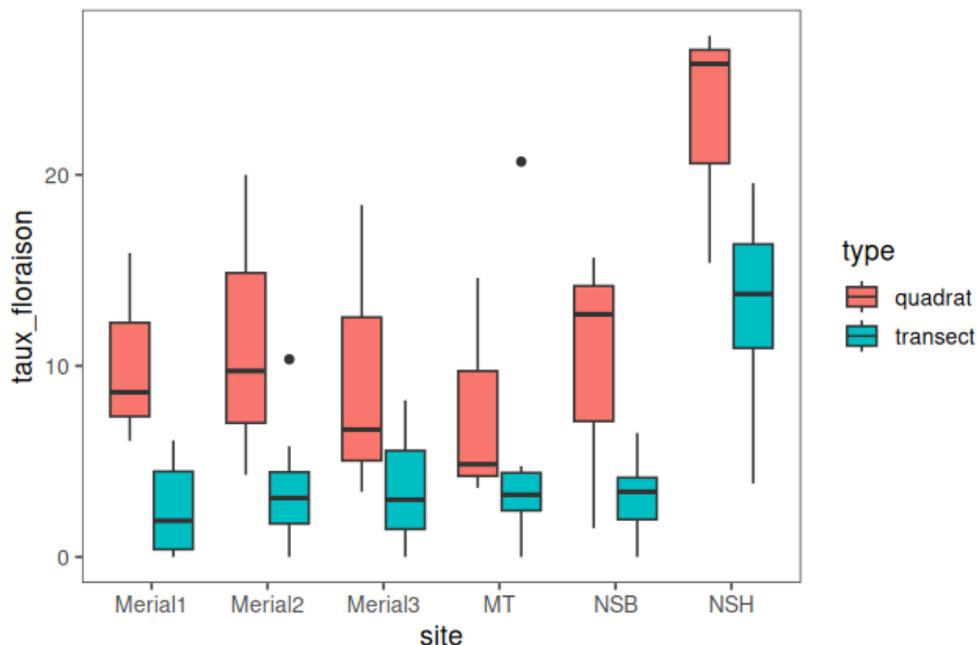


Figure 17 : Boîte à moustache du taux de floraison issus des relevés manuels du CBNPMP sur les différentes parties du site du col de Pailhères. On constate que le taux de floraison est plus élevé dans les quadrats sélectionnés que dans le transect

Afin de positionner aléatoirement les relevés, plusieurs options sont possibles :

- Générer des points GPS de manière aléatoire à l'aide d'un SIG puis positionner les placettes à ces coordonnées. Ce système est relativement chronophage et ne garantit pas un positionnement parfaitement aléatoire, sauf en utilisant un GPS centimétrique, qui est un outil coûteux.
- Lancer un quadrat dans une direction aléatoire, à une distance aléatoire en restant dans les limites de la zone à évaluer. Cela fonctionne si l'étendue de la zone n'est pas trop grande.
- Définir un nombre arbitraire de pas (par exemple 40 pas) et positionner le quadrat à ce nombre de pas dans une direction aléatoire. Un échantillonnage systématique avec un espacement constant est également possible. Ces deux variantes permettent de couvrir de plus grandes surfaces.

Un inconvénient de la méthode ci-dessus est que la comparaison entre années ne peut se faire que sur les moyennes obtenues (sur l'ensemble du site ou par zone d'isodensité). Pour évaluer plus finement la dynamique de la population d'arnica au cours du temps, l'utilisation de **placettes permanentes** (dont le positionnement reste le même d'année en année) est à privilégier. Cela permet de visualiser l'évolution de chaque placette, et donc de détecter la réaction de l'arnica à différentes trajectoires écologiques du milieu. C'est la méthode qui a été choisie par Ésope sur le Markstein et par le PNRPC sur le col de Porté-Puymorens.

La taille de la placette dépend des informations que l'on cherche à obtenir. Si l'objectif est simplement d'estimer la ressource en arnica, de petites placettes de 1 m x 1 m sont suffisantes. Si l'objectif est également de documenter l'évolution du milieu, la taille doit être supérieure (voir partie 3.5). Différentes surfaces de relevés peuvent être utilisées sur un même site. L'université de Freiburg a par exemple choisi d'effectuer les comptages dans des transects de 30 m x 2 m (soit 60 m²) pour l'évaluation de la ressource, mais dans des quadrats de 1 m² seulement pour le comptage des rosettes et l'évaluation du taux de floraison (plus chronophages).

Un autre aspect à prendre en compte est la variation spatiale de la densité de l'arnica. Dans quelle zone doivent être effectués les relevés : la zone cueillie, ou bien la zone la plus dense, ou encore tout le site en incluant les zones à très faible densité ? Ces différents choix de délimitation influenceront très certainement sur l'estimation qui sera faite. Cette problématique est illustrée dans la Figure 18. Choisir de disposer des quadrats uniquement dans la zone cueillie amènera à

estimer une plus forte pression de cueillette que si des quadrats sont positionnés également dans la zone non cueillie. Une réflexion sur la spatialisation des suivis est d'autant plus importante que les cueilleurs favorisent souvent une cueillette sur les zones les plus denses des sites de cueillette.

Une solution est d'effectuer un échantillonnage stratifié, en délimitant approximativement des zones d'isodensité (en capitules ou en rosettes, selon le relevé effectué), et d'effectuer des relevés séparément dans les différentes zones, par exemple avec 20 placettes dans la zone de densité maximale, 20 placettes dans la zone de densité de moyenne, et 20 placettes dans la zone de faible densité. En cartographiant grossièrement la surface occupée par ces différentes zones, on peut espérer produire une estimation de la ressource globale du site qui soit assez proche de la réalité. Cette méthode était celle qui avait été choisie par le CBNPMP sur le site de Pailhères avant qu'un suivi par drone soit mis en place. C'est également cette méthode qui avait été utilisée sur le site du Markstein par Jager (2016) et avait permis de produire des cartes de densité de floraison.

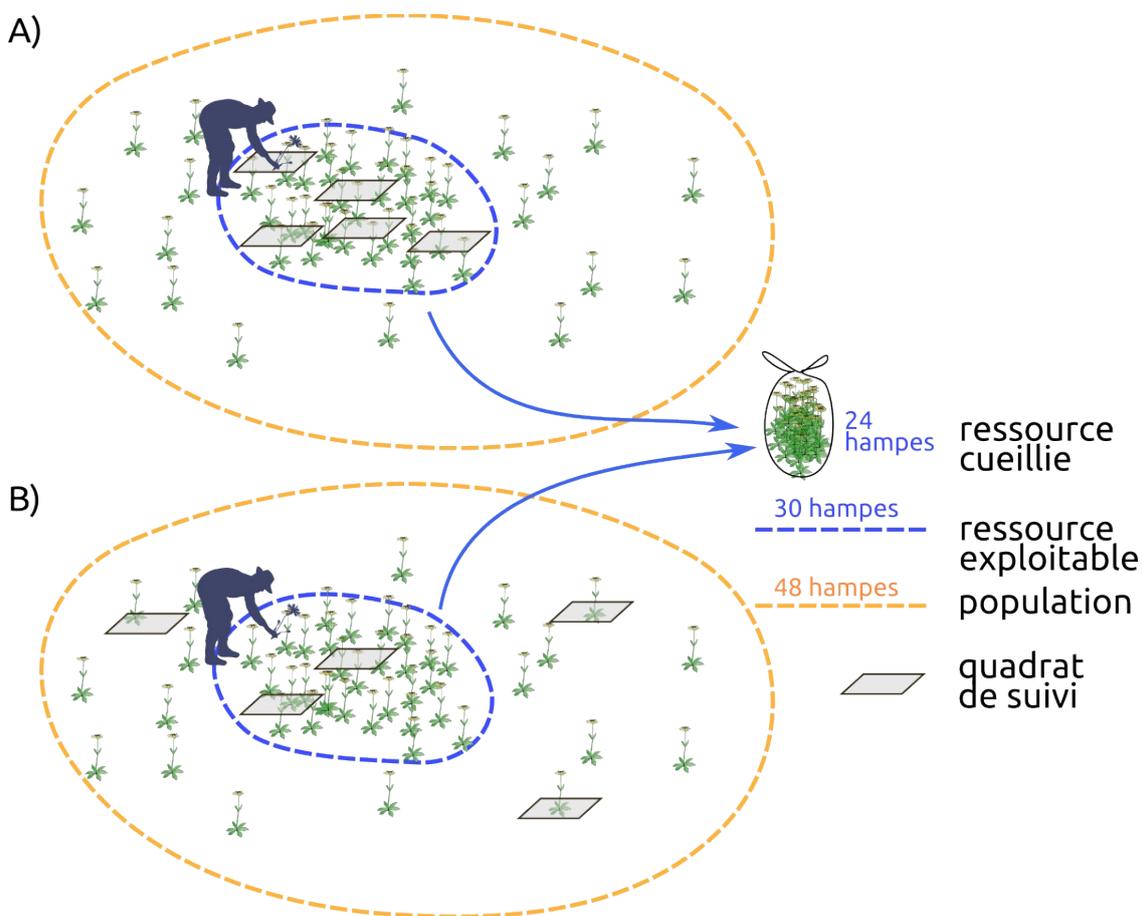


Figure 18 : Schéma de la différence entre ressource exploitable (en bleu) et population (en orange) permettant de visualiser l'effet de la spatialisation des suivis. Dans le scénario A, les suivis sont positionnés uniquement dans la zone cueillable, et conduisent à détecter une pression de cueillette de 80% (24 hampes sur 30). Dans le scénario B, les suivis sont positionnés dans l'ensemble de la population du site, conduisant à détecter une pression de cueillette de 50% (24 hampes sur 48).

DRONE

L'utilisation du **drone** pour l'évaluation de la population d'arnica a quant à elle de nombreux atouts. Le drone utilisé par le CBNPMP est un drone à rotors de type DJI M210 RTK v2, équipé également d'un capteur RVB. Celui utilisé par l'Université de Freiburg est un DJI Matrice 300, équipé d'un capteur RVB. Le drone est relié à un planificateur de vol géré sur ordinateur et sur lequel sont définis les paramètres du vol : surface, hauteur de vol, temps de prise entre deux photos par exemple. Le planificateur de vol inclut un modèle numérique de terrain à résolution fine pour prendre en compte les micro-reliefs et éviter les accidents. Les images collectées sont ensuite assemblées, classifiées afin de détecter les capitules, et des indicateurs de densité sont ensuite produits.

L'avantage du drone par rapport aux comptages en quadrats réside surtout dans la meilleure prise en compte de l'hétérogénéité spatiale de la ressource (voir Figure 19). Le caractère exhaustif des images drones vis-à-vis de la ressource considérée permet de mieux définir les zones comportant différentes densités et donc potentiellement de proposer des mesures de gestion différentes selon les zones. La comparaison des images d'année en année permet aussi de visualiser des secteurs dont l'évolution est distincte (par exemple, des zones où l'arnica régresse et d'autres où elle progresse).

L'un des enjeux principaux dans l'utilisation du drone est de bien choisir la hauteur de vol, dont dépend directement la résolution au sol de l'image produite. En effet il existe un compromis à trouver entre la résolution de l'image (et donc la segmentation et l'efficacité de la détection des capitules d'arnica) et la surface au sol couverte par un vol de drone (donc les coûts matériels et humains associés). La résolution au sol (distance entre les centres de pixels adjacents) choisie par le CBNPMP et l'Université de Freiburg pour une classification correcte est comprise entre 4 et 7 mm, ce qui permet généralement de couvrir entre 12 et 15 hectares par heure de vol.

Ce compromis peut être à ajuster en fonction des espèces présentes sur le site. En effet si d'autres Astéracées à capitules jaunes, telles que *Senecio doronicum*, sont présentes, il sera préférable de diminuer la hauteur de vol afin d'opérer une meilleure discrimination entre les deux espèces.

Il est aussi à noter que les conditions météorologiques du site (par exemple dans des vallées sujettes à de fréquents brouillards estivaux) peuvent aussi rendre l'usage du drone inapproprié. Ainsi au col de Pailhères, en 2023 cela, la présence de brouillard n'a permis le vol que 40 % du temps de présence sur le site.



Figure 19 : Cartographie de la répartition de l'arnica en 2022 sur une partie du site de cueillette de Pailhères, à partir de l'imagerie drone. L'hétérogénéité spatiale de la ressource est clairement visible. Tiré de Hamdi (2022)

Un autre inconvénient du drone est qu'il ne permet de compter que les capitules. Le comptage des rosettes et des hampes n'est pour le moment possible qu'au sol. En effet les feuilles sont souvent cachées dans la végétation, et les hampes orientées trop verticalement pour le drone. De plus les feuilles d'arnica peuvent avoir des profils morphologiques très variables en fonction de la végétation, rendant difficile la discrimination automatique.

Une autre difficulté liée au drone est que les conditions de luminosité (angle du soleil, nuages..) influent fortement sur l'analyse ultérieure, ce qui fait qu'on ne peut pas utiliser les mêmes paramètres d'analyse d'image quels que soient l'heure et le lieu. Pour chaque vol, il est donc nécessaire de positionner au sol des quadrats et/ou un transect faisant l'objet d'un relevé manuel, afin de calibrer le modèle d'analyse de l'image prise par le drone.

Enfin, le drone est un outil coûteux en matériel et en temps de travail. En effet, au-delà du temps de vol, son utilisation nécessite une logistique importante et plusieurs jours de géotraitement ultérieur pour obtenir des données exploitables.

SYNTHÈSE

Le suivi de la ressource ou de la population d'arnica est confronté à l'hétérogénéité spatiale et temporelle de cette plante. Le drone présente de nombreux atouts pour pallier ce problème, mais son utilisation est coûteuse en temps de travail et ne permet pas d'accéder à toutes les variables d'intérêt pour le suivi de la population et de la floraison. Lorsque l'on souhaite simplement une estimation de la *ressource*, l'utilisation de quadrats lancés aléatoirement peut être une bonne alternative au drone, étant relativement efficace, moins coûteuse en temps, et plus flexible par rapport aux aléas (conditions météorologiques, cueilleurs, etc.). Il est cependant nécessaire de bien penser la répartition des relevés (relevés stratifiés dans des zones de même densité de l'arnica, ou échantillonnage systématique). Lorsque l'on souhaite faire un suivi de la *population*, il est difficile de faire l'économie du comptage des rosettes, que l'on ne peut effectuer seulement par des relevés manuels.

4.3. ÉVALUATION DE LA PRESSION DE CUEILLETTE

Dans l'optique de la gestion des cueillettes d'arnica, il est d'abord nécessaire d'avoir une estimation fiable de la proportion de la ressource qui est prélevée chaque année sur un site. L'une des difficultés principales est la coordination avec les cueilleurs, quelle que soit la méthode (relevé manuel ou au drone). En effet les cueilleurs doivent adapter leur cueillette à de multiples paramètres : abondance, phénologie (ex. stade d'ouverture des capitules), accès au site, météo, passage des troupeaux, etc. Ils sont donc fréquemment amenés à modifier leur programme, ce qui peut compliquer la tâche pour les suivis car ceux-ci doivent se faire au plus proche de la date de cueillette.

La pression de cueillette est fréquemment exprimée en "pourcentage de prélèvement". Cela permet notamment de comparer entre différents sites et de donner des recommandations applicables quel que soit le contexte. L'AFC et le CBNPMP préconisent ainsi tous deux une cueillette d'au maximum 50 % de la ressource en arnica exploitable à un instant donné (AFC, 2022).

Une des difficultés rencontrées dans l'estimation de la pression de cueillette est la délimitation de la ressource, et la distinction entre la ressource et la population. Cette problématique est celle décrite au-dessus à la figure 18. Par exemple, le CBNPMP et l'AFC recommandent tous deux de ne pas cueillir plus de 50 % de la ressource exploitable. Mais que recouvre la ressource exploitable, et comment est-elle délimitée spatialement et temporellement ? La ressource exploitable est définie comme la *ressource cueillable au moment où la cueillette est réalisée*. Les individus qui atteindront la maturité à un autre moment font partie de la ressource potentielle, et les individus qui ne sont jamais cueillables (pour des raisons d'accessibilité par exemple) ne font pas partie de la ressource, bien qu'ils fassent partie de la population. Il découle de cela que la délimitation des individus cueillables dépend du cueilleur lui-même. Par exemple un cueilleur donné peut décider de ne jamais cueillir des pieds d'arnica trop dispersés (qui ne constitueront donc pas de la ressource à proprement parler pour ce cueilleur), mais un autre cueilleur pourra les considérer comme cueillables.

Des cueilleurs considèrent plus adapté un prélèvement de 50 % maximum de la *ressource totale* de la saison sur le site (ils se basent donc sur la *ressource potentielle*), ce qui autorise à récolter plus de 50 % de l'arnica mature à un instant donné, notamment en début de saison en misant sur le développement ultérieur de hampes encore immatures.

Ces deux problèmes de la délimitation temporelle et spatiale de la ressource cueillable entraînent des difficultés à réguler les cueillettes sur la seule base du pourcentage de prélèvement. En effet, il est toujours possible de contester la délimitation choisie, par exemple en se basant sur une définition élargie du site de cueillette. Si la ressource est bien estimée en amont de la cueillette, il est également possible de fixer des quantités maximales (en masse) à ne pas dépasser sur le site. C'est la solution qui avait été mise en place sur le Markstein, en fixant un maximum de 11 t de plante entière fraîche et 1 t de capitules cueillables par an. Cette limite n'était cependant pas redéfinie chaque année en fonction de la ressource estimée, mais définie pour plusieurs années dans la convention pluriannuelle.

Concernant les aspects méthodologiques, il est d'abord possible d'estimer la pression de cueillette en effectuant une **pesée de la récolte** des cueilleurs, puis en ramenant celle-ci à un nombre de hampes ou de capitules à comparer avec l'estimation de la ressource sur le site effectuée avant la cueillette (voir point 4.1). Cela implique d'effectuer une pesée de la récolte, ainsi qu'une pesée d'un échantillon des capitules ou des plantes cueillies, pour estimer le poids moyen d'un individu. Sur le site de Pailhères, la masse moyenne par plante entière était de 13,23 g en 2019 et la masse moyenne d'un capitule de 1,54 g en 2020 (Garreta et al., 2022). Ainsi, si par exemple la ressource en capitules était estimée à 130 000 capitules, soit environ 200 kg, une pression de cueillette de 50 % correspondrait à 100 kg.

La pesée de la masse d'arnica récoltée a été faite régulièrement sur le site de Pailhères par le cueilleur principal et le CBNPMP et est synthétisée dans la Figure 20.

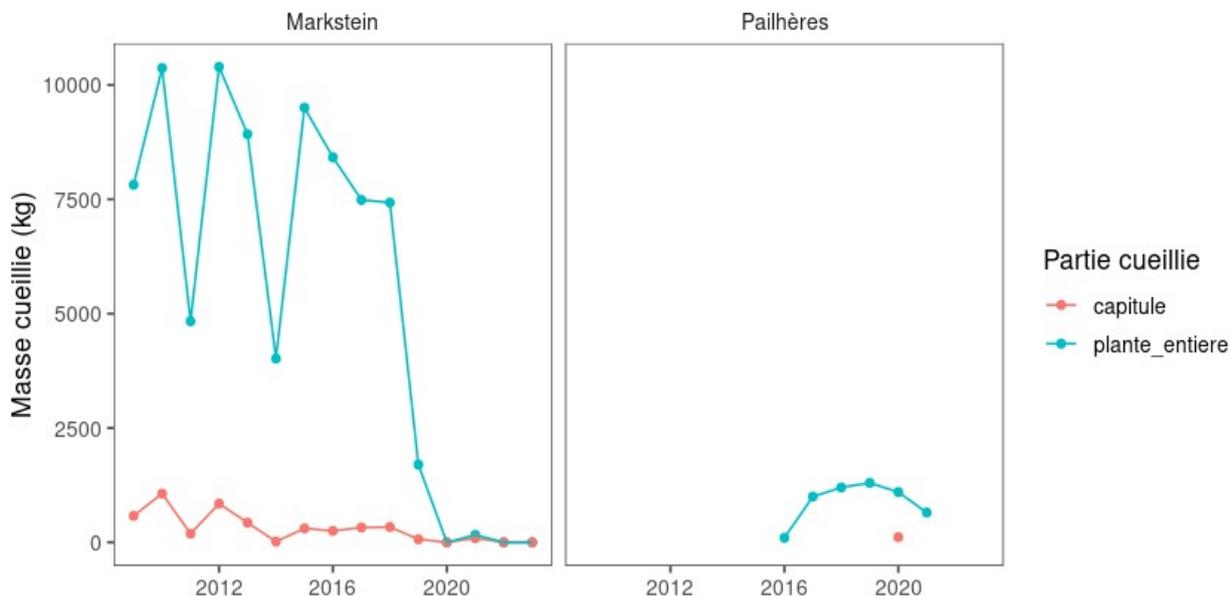


Figure 20 : Suivi de la masse d'arnica frais cueilli (capitule et plante entière). À gauche sur le site du Markstein depuis 2009. À droite, sur le site de Pailhères entre 2016 (année de test) et 2021. Des cueillettes non autorisées par d'autres équipes de cueilleurs ont cependant eu lieu et ne sont pas présentées ici. D'après des données de Garreta et al. (2022).

Pour s'affranchir des pesées, la méthode la plus largement utilisée est d'effectuer une estimation de la population **avant et après la cueillette**, selon les mêmes méthodes que décrites à la section 4.1, avec des relevés manuels ou par drone. La pression de cueillette (en pourcentage) est alors définie comme :

$$\text{pressiondecueillette} = \frac{\text{ressource}_{(\text{avantcueillette})} - \text{ressource}_{(\text{aprèscueillette})}}{\text{ressource}_{(\text{avantcueillette})}} * 100$$

Une complication associée à cette méthode est le fait que la pression de cueillette n'est pas estimée à partir d'un instantané de la ressource, mais par deux instantanés entre lesquels il s'écoule une certaine durée (souvent deux à trois jours), pendant laquelle la ressource peut continuer à croître, du fait de la dynamique de maturation des hampes et des capitules d'arnica. En effet une hampe florale peut apparaître et ses capitules éclore en moins d'une semaine si le temps est clément, et un capitule en bouton peut s'épanouir en un à deux jours. Ainsi lorsque les relevés avant et après cueillette s'effectuent à quelques jours d'intervalle, la durée est suffisante pour que de nombreux nouveaux capitules soient détectés, et cela est d'autant plus vrai en utilisant le drone, qui ne détecte pas les boutons floraux.

Ce phénomène entraîne ainsi d'importantes marges d'erreur dans l'estimation du pourcentage de hampes florales cueillies. Cela va même dans certains cas jusqu'à détecter davantage de capitules après cueillette qu'avant (si les cueilleurs viennent récolter avant le pic de floraison - voir Figure 21). La solution est donc de rapprocher au maximum les deux relevés (deux jours consécutifs par exemple), mais cela n'est souvent pas simple du fait de la coordination nécessaire avec les cueilleurs, qui peuvent cueillir plusieurs jours d'affilée sur différents secteurs du même site. Il faut cependant noter que la marge d'erreur ne fonctionne souvent que dans un seul sens. En début de saison (avant le pic de floraison), le relevé après cueillette détecte de nouveaux capitules et aura donc tendance à sous-estimer la pression de cueillette. En revanche, en fin de saison, certains capitules ont fané entre les deux relevés. On aura donc tendance à surestimer la pression de cueillette si l'on utilise une détection par drone. Les suivis manuels n'ont pas cet inconvénient, car ils permettent de comptabiliser les capitules fanés. Parmi les suivis de cueillette effectués jusqu'ici, la situation la plus fréquente est que les cueillettes s'effectuent au moment du pic ou avant. La compétition entre cueilleurs a en effet tendance à encourager les cueillettes précoces.

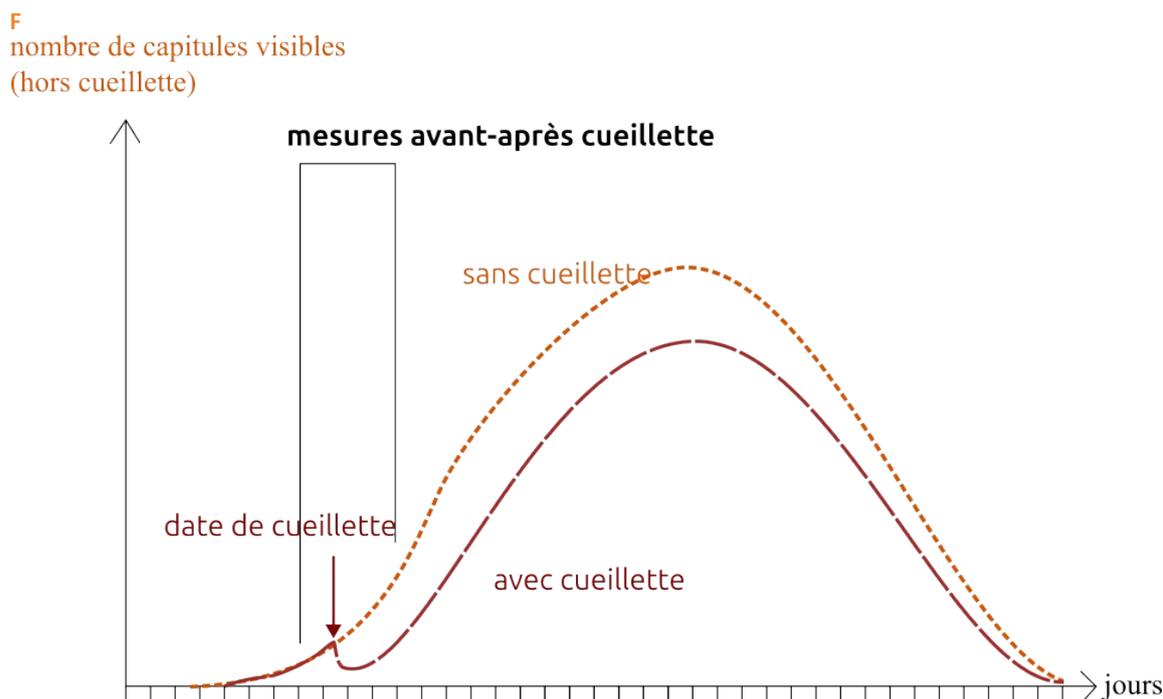


figure 21: Graphique montrant l'influence de la date de comptage sur l'estimation de la pression de cueillette. Dans cette configuration où la cueillette a lieu bien avant l'optimum de floraison, le comptage après cueillette donne

Parmi les résultats obtenus durant les suivis passés, une estimation de la pression de cueillette réalisée par le CBNPMP en 2020 à Ascou et au col de Porté-Puymorens, par la méthode du double relevé, détecte une cueillette de 67 % de la ressource en capitules et 60 % de la ressource en plantes entières, alors que les cueilleurs disent ne vouloir cueillir que 50 % de la ressource (Garreta et al., 2022). Ces valeurs sont à prendre avec des précautions, du fait de la difficulté à choisir la délimitation du site. Malgré ce biais, on constate que la cueillette peut être d'une intensité non négligeable, du moins à un instant donné et sur les zones de plus forte densité.

Des relevés effectués par le PNRPC indiquent que la limite des 50 % était respectée à Porté-Puymorens en 2020 et 2021 avec un pourcentage moyen de prélèvement de moins de 10 %. En 2022, parmi les placettes cueillies, la pression de cueillette était en moyenne de 28 %, mais sur l'ensemble des placettes contenant de l'arnica (cueillies ou non) la pression de cueillette moyenne était de 7 %. Cela illustre bien que le zonage du "site" importe, car la cueillette s'applique avec une intensité différente selon les secteurs. En effet 22 placettes sur 30 contenant de l'arnica n'ont pas été cueillies en 2022, mais sont pourtant incluses dans le zonage du site de cueillette, qui fait environ 200 ha.

4.4. ÉVALUATION DE L'IMPACT DE LA CUEILLETTE SUR L'ARNICA

Quantifier l'impact de la pression de cueillette sur les populations d'arnica est essentiel pour entreprendre une gestion durable de l'arnica. Cependant à ce jour peu d'études permettant cette quantification ont été menées. Cela provient d'abord de la difficulté à différencier l'effet de la cueillette de celui des autres facteurs environnementaux. En effet, la floraison de l'arnica est fluctuante selon les années et est influencée par de multiples facteurs comme l'évolution de la végétation, le climat ou les pratiques pastorales. Il est donc nécessaire d'avoir un dispositif expérimental comportant des parcelles témoin non cueillies pour pouvoir discriminer les différents effets.

L'autre difficulté majeure est d'empêcher la cueillette sur les parcelles témoin, et en général toute cueillette non mesurée, qui fausserait les résultats. Une première étude sur le Markstein a dû faire face à ce problème, car le panneau explicatif de l'expérimentation avait été arraché et des cueillettes avaient eu lieu sur le dispositif expérimental, ce qui a obligé à recommencer l'étude sur une zone moins fréquentée. Ce type de suivi nécessite plusieurs années, ce qui le rend particulièrement vulnérable à ce type d'aléas.

Sur le site de Pailhères, une zone témoin d'environ 6 000 m² a été délimitée en concertation entre le CBNPMP et le cueilleur référent du site, et n'a jamais été cueillie depuis le début des suivis. La comparaison entre la dynamique de la population de l'arnica sur cette zone et les zones cueillies du site ne montre pas de différences notables, ce qui semble

indiquer un faible effet de la cueillette actuellement effectuée (qui reste globalement en dessous des 50 % de la ressource). Il s'agit cependant d'un témoin sans répétition, les conditions environnementales pouvant être différentes entre la zone témoin et le reste du site.

Les suivis des placettes permanentes du PNRPC pourraient théoriquement permettre de corréliser la pression de cueillette mesurée chaque année sur chaque quadrat à la dynamique de la population d'arnica observable sur ce même quadrat. Dans les faits, les difficultés de coordination avec les cueilleurs et donc l'absence de données certaines années rendent cette analyse impossible. De plus, de nombreux autres facteurs viennent jouer sur la dynamique de la floraison sur chaque quadrat, comme l'ombrage, la compétition interspécifique, et depuis 2023 la gestion du milieu, ce qui rend l'effet de la cueillette à moyen terme d'autant plus difficile à discriminer.

Une **approche expérimentale** avec répétitions et différentes pressions de cueillette est donc la plus à même de permettre une quantification de l'effet de la cueillette. C'est ce qui a été mis en place entre 2011 et 2015 sur le Markstein par le bureau d'étude Ésope. L'expérimentation a consisté en 30 carrés permanents de 2 m x 1 m, dans lesquels étaient appliquées cinq pressions de cueillette distinctes de plante entière fleurie, chaque modalité étant répétée 6 fois. Les modalités de cueillette étaient : (1) pas de cueillette, (2) cueillette de 25 % de rosettes fleuries, (3) cueillette de 50 % des rosettes fleuries, (4) cueillette de 75 % des rosettes fleuries, et (5) cueillette de 100 % des rosettes fleuries. Ces différents niveaux de cueillette étaient répétés pendant trois ans.

Les résultats de cette étude suggèrent qu'une cueillette de plante entière supérieure à 50 % des rosettes fleuries menait en 4 ans à un déclin important du nombre de rosettes fleuries, et plus précisément du taux de floraison (pourcentage de rosettes fleuries). En effet le nombre de rosettes n'est pas affecté par la cueillette, mais le nombre de hampes fleuries décroît fortement suite à une cueillette de 75 ou 100 % pendant trois ans (Jager, 2016). Cela semble donc conforter la préconisation de cueillir au maximum 50 % de la ressource exploitable.

L'effet de la cueillette interagit probablement avec de nombreux autres facteurs, et cette expérimentation gagnerait donc à être reproduite dans d'autres contextes pour mieux quantifier cet impact dans différents contextes.

Il est également judicieux de distinguer la cueillette du capitule de celle de la plante entière ou de la partie aérienne. On s'attend en effet à ce que la cueillette du capitule soit moins impactante énergétiquement pour l'individu que la cueillette de la plante entière fleurie. La cueillette de la partie aérienne, en ne supprimant pas les rosettes basales ni le rhizome (qui est un organe de réserve), est très probablement moins impactante que la cueillette de la plante entière.

La structure de l'arnica, avec des rosettes fleuries et non fleuries, a plusieurs conséquences pour l'étude de l'impact de la cueillette. Tout d'abord, le fait que cette plante comporte pratiquement toujours des rosettes non fleuries implique que la cueillette de plante entière fleurie est rarement létale pour un individu d'arnica, car il s'agit d'une cueillette de parties (*ramets*) de la plante. Cela peut néanmoins arriver si les individus sont jeunes (moins de deux ans par exemple), car leur rhizome est encore peu développé.

Une autre conséquence de cette structure multi-rosettes est qu'une même pression de cueillette appliquée à des populations ayant des taux de floraison distincts peut entraîner un impact très différent sur la plante (Figure 22). En effet, en se basant sur une cueillette de 50 % des rosettes fleuries, si le taux de floraison (pourcentage de rosettes fleuries) est de 10 %, la cueillette n'impacte que 5 % des *ramets*, en revanche si le taux de floraison est de 60 %, la cueillette impactera 30 % des *ramets*, ce qui correspond probablement à un impact beaucoup plus élevé sur la population. Cela est important, car on verra que les mesures de gestion du milieu comme le gyrobroyage pouvaient entraîner une augmentation transitoire assez forte du taux de floraison (voir Figure 23), ce qui pourrait conduire à une cueillette plus impactante les années suivant la gestion ; une réflexion pourrait être menée sur une éventuelle adaptation des recommandations de cueillette en fonction du taux de floraison.

L'effet de la cueillette sur l'individu d'arnica et son bilan énergétique est encore loin d'être clair à l'heure actuelle. Une assertion attribuée à Ellenberger (1998) – et fréquemment reprise par les acteurs de la cueillette – formule que la cueillette de plante entière fleurie "stimulerait les bourgeons dormants" du rhizome et ne serait donc pas néfaste à la plante. Tout comme couper une branche d'arbre entraîne une désinhibition des bourgeons situés sous la coupe et donc la formation d'une nouvelle branche, l'arrachage d'une rosette d'arnica avec un morceau de rhizome entraînera en effet la sortie d'une nouvelle pousse à partir d'un bourgeon situé plus loin sur le rhizome. Mais cela ne donne aucune indication sur l'impact énergétique de ce prélèvement pour la plante. Le rhizome est un organe de réserve dont la contribution énergétique au développement de la plante est majeure, et la rosette foliaire est capable d'assimiler des photosynthétats jusqu'à l'automne en l'absence de cueillette. Le prélèvement de la plante entière fleurie n'a donc certainement pas un

effet positif sur le bilan énergétique et le développement de l'individu et de la population. Pour quantifier cet effet, une étude méthodologiquement similaire à celle de Ghimire et al. (2008)⁵ pourrait par contre être réalisée.

Enfin, une cueillette importante et répétée sur de nombreuses années, en diminuant la production de graines, pourrait théoriquement mener à un déficit de jeunes pieds et à un vieillissement de la population. L'effet de l'âge sur la floraison et la santé de l'arnica est encore mal connu, mais Nagy (2014) suggère qu'il existe une phase de diminution de la croissance et de sénescence après une dizaine d'années. Les préconisations de cueillette intègrent déjà cette idée en exigeant de laisser un certain pourcentage de capitules fleuris pour la reproduction.



Figure 22 : Deux situations différentes où la ressource cueillable est la même (4 capitules ou rosettes fleuries) mais l'impact attendu sur la plante est distinct, puisque le nombre total de rosettes diffère. Cela illustre l'importance des suivis intégrant la densité de rosettes non fleuris.

4.5. ÉVALUATION DES EFFETS ENVIRONNEMENTAUX ET DE LA GESTION SUR L'ARNICA

Nous avons vu à la section 2.1 que de multiples facteurs écologiques avaient un effet sur les populations d'arnica. Dans l'objectif de comprendre comment faire perdurer la ressource en arnica, une grande diversité de protocoles peuvent être mis en place pour mieux comprendre comment l'arnica réagit à différentes pratiques de gestion du milieu.

Une méthode simple est d'abord d'effectuer les suivis sur des placettes permanentes, dans lesquelles des variables du milieu sont mesurées, et éventuellement différentes gestions mises en place sur un même site.

Un protocole de suivi du milieu de ce type a été mis en place dès 2009 sur le Markstein, avec 40 relevés phytosociologiques permanents positionnés dans différents milieux comportant ou non de l'arnica, afin de voir l'impact des différentes pratiques agricoles préalables à la convention de gestion en faveur de l'arnica (fertilisation ou non, chaulage, fauche, pâturage) et postérieures à celle-ci (fauche, pâturage ou usage mixte de la parcelle, les pratiques de fertilisation et de chaulage étant exclues). Les résultats de ce suivi montrent une globale stabilité du recouvrement en arnica dans les différents milieux, avec un seul relevé qui montre une régression forte de l'arnica.

C'est également ce type de protocole qu'a mis en place le PNRPC à Porté-Puymorens depuis 2022, en couplant le suivi de la densité d'arnica à un suivi phytosociologique incluant le recouvrement des arbres, des ligneuses basses et des herbacées. Dans les milieux concernés, incluant des prébois et des landes plus ou moins arborées, il est nécessaire de mettre en place des placettes suffisamment larges (79 m² pour les relevés du PNRPC). Cette méthode permet déjà en

⁵ Dans cette étude, différents pourcentages de récolte ont été appliqués à *Nardostachys grandiflora* (cueillette de 0 (témoin), 10, 25, 50 et 75% des rhizomes), chacun d'entre eux étant répété 5 fois dans trois blocs distincts. Les individus de *N. grandiflora* ont été marqués au début de l'étude, puis leur devenir a été enregistré sur quatre ans (non seulement la survie mais aussi la taille et le nombre d'inflorescences) ainsi que le nombre de juvéniles. Cette étude permet d'estimer un "temps de récupération" de la population après la cueillette selon l'intensité de prélèvement.

routine de détecter si la population et le taux de floraison de l'arnica évoluent différemment selon les milieux. De plus, le PNRPC a mis en place en hiver 2022-2023 des actions de gestion (gyrobroyage, coupe de pins) qui chevauchent en partie les placettes permanentes, ce qui permet de détecter un effet de ces mesures sur la dynamique de la population d'arnica à court, moyen et long terme.

Malheureusement la coordination avec les cueilleurs reste difficile et les mesures dans les placettes permanentes n'ont pas pu être effectuées avant cueillette en 2024. Mais un protocole "express" a été mis en place avant cueillette pour détecter l'effet du gyrobroyage sur l'abondance de l'arnica et sa floraison. Une trentaine de quadrats de 1 m x 1 m ont été lancés aléatoirement dans des zones gyrobroyées et non gyrobroyées, et le nombre de rosettes et de hampes florales a été estimé.

Les résultats de ces relevés montrent que les travaux d'ouverture du milieu ont un effet important sur le taux de floraison (Figure 23). En l'absence de gyrobroyage, seuls 7 % des rosettes fleurissent en moyenne (ce qui est proche du taux de floraison moyen des années précédentes), tandis que dans les zones gyrobroyées en moyenne 30 % des rosettes fleurissent. Ces résultats confirment les observations des cueilleurs, qui constatent que des sites de cueillette denses en hampes florales d'arnica apparaissent sur des zones gyrobroyées.

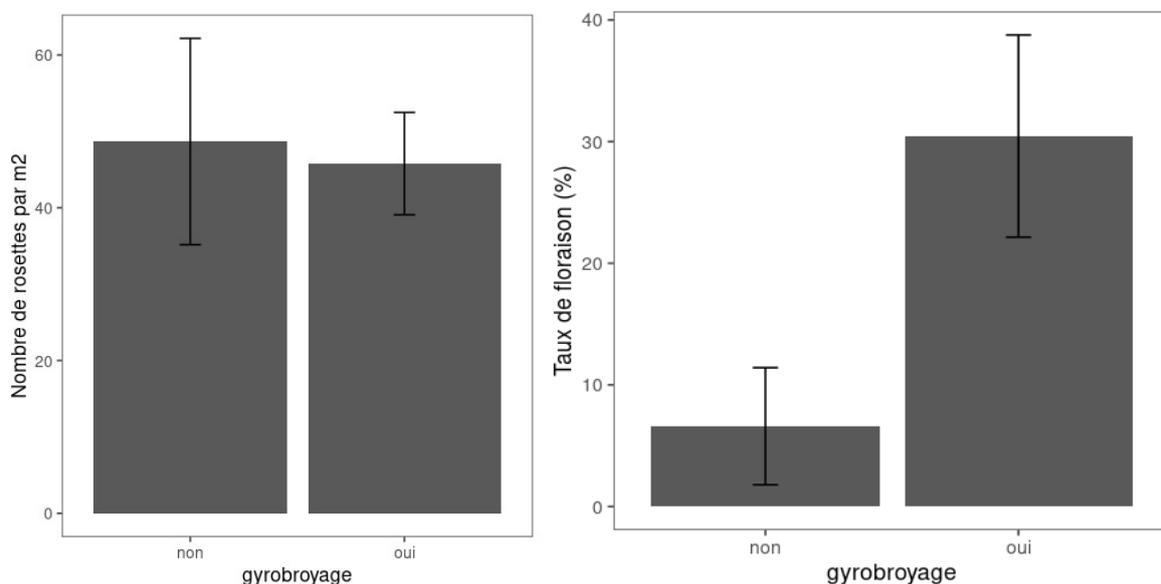


Figure 23 : Effet du gyrobroyage sur le taux de floraison (pourcentage de rosettes fleuries) de l'arnica suite aux travaux de réouverture sur le site de Porté-Puymorens. Les barres d'erreur sont des intervalles de confiance à 95%.

4.6. ÉVALUATION DES EFFETS DE LA GESTION SUR D'AUTRES ESPÈCES ET SUR LE MILIEU

Les choix de gestion des milieux sont toujours une manière de favoriser une trajectoire écologique au détriment des autres trajectoires possibles. Les mesures de gestion en faveur de l'arnica favorisent ainsi certains types de milieu, et n'ont donc pas un impact positif sur toutes les espèces du milieu. Il est donc important de s'intéresser à la manière dont les mesures de gestion affectent les autres espèces végétales que l'arnica, mais aussi les espèces animales ou fongiques par exemple.

Sur le Markstein, les suivis phytosociologiques ont permis de suivre finement l'évolution de la fréquence des différentes espèces végétales. Ces suivis montrent que la gestion favorable à l'arnica est aussi favorable à de multiples espèces sensibles, adaptées aux sols pauvres en éléments nutritifs. La fermeture des pelouses d'altitude est quant à elle défavorable à la fois à l'arnica et aux autres espèces de milieux ouverts. La richesse spécifique tend à diminuer lors de cette fermeture, ce qui encourage à maintenir les pratiques favorables à l'arnica. L'arnica peut ainsi être décrite comme une espèce « parapluie », selon la définition de Roberge & Angelstam (2004), car la conservation de cette plante peut contribuer à la conservation de l'ensemble de l'habitat.

À Porté-Puymorens, l'analyse de l'effet des travaux de réouverture du milieu pour l'arnica a été étendue à l'effet sur la diversité des Orthoptères (criquets, sauterelles), dont la présence est connue pour être largement influencée par le degré

d'ouverture du milieu. Le suivi a démarré en 2021 (Arguel et al., 2021) et s'est poursuivi en 2022 et 2023. Les données sont actuellement en cours d'analyse.

Il est évident que la diversité spécifique ne sera pas affectée de la même manière selon le groupe taxonomique étudié. Il serait par exemple particulièrement intéressant de mieux connaître l'effet de la gestion en faveur de l'arnica sur d'autres groupes d'arthropodes ou sur la fonge.

4.7. QUELQUES PISTES DE RECHERCHE COMPLÉMENTAIRES

Nous proposons ici quelques pistes de recherche complémentaire sur certains aspects encore peu connus des milieux à arnica. Tout d'abord, il serait profitable d'étudier plus finement les effets de certaines pratiques de gestion comme le gyrobroyage et le brûlis sur l'arnica. Tout d'abord, nous avons vu que **le gyrobroyage et le brûlis** (avec un manque de données sur ce dernier) avaient un effet positif sur le taux de floraison de l'arnica, mais les mécanismes écologiques impliqués sont encore mal connus. La floraison est-elle favorisée par un stress environnemental, par une stratégie de colonisation davantage basée sur les graines, par la diminution soudaine de la compétition, ou encore par un pic de nutriments issus de la décomposition du broyat végétal ? Mieux comprendre cela pourrait aider à prendre de bonnes décisions de gestion, par exemple sur un temps éventuel à respecter entre deux opérations de gyrobroyage ou de brûlis, ou sur la pression de cueillette maximale à appliquer l'année qui précède ou qui suit une telle action de gestion, si l'on se place dans l'optique d'un renouvellement des individus d'arnica par les semences. En effet les quelques années qui suivent la réouverture du milieu présentent le recouvrement en sol nu le plus important, donc sont potentiellement le moment le plus favorable pour la germination des graines. Un protocole qui permettrait de répondre à ces questions inclurait par exemple des analyses de sol avec sa concentration en nutriments, un comptage annuel du nombre de rosettes et un comptage des plantes d'arnica juvéniles.

L'effet de l'**intensité du pâturage** bovin et équin est lui à préciser. En effet le pâturage permet le maintien du milieu ouvert sur le moyen terme, et contribue donc au maintien de l'arnica. Mais à court terme il n'est pas exempt d'effets négatifs sur l'arnica, notamment du fait du piétinement. Le chargement à l'hectare et la durée de pâturage pourraient donc faire l'objet d'une étude plus approfondie. La période de l'année où le pâturage est mis en place a également son importance. En effet un pâturage tardif, après la floraison de l'arnica, n'a probablement pas les mêmes effets délétères sur cette espèce. L'arrivée des gelées rend aussi la callune plus appétente pour le bétail, un pâturage tardif pourrait donc permettre d'impacter davantage cette espèce ligneuse en impactant moins l'arnica. Des recherches plus fines sont donc possibles sur les multiples possibilités de conduite pastorale et leur compatibilité avec le maintien des populations d'arnica.

Une autre zone d'ombre dans la connaissance de la gestion de l'arnica est sa **démographie**. Avoir une estimation de la distribution des classes d'âge des individus dans la population d'arnica serait une bonne manière d'estimer l'état de santé de celle-ci. La démographie est aussi un élément-clé pour évaluer l'impact de la cueillette ou de pratiques agricoles comme la fauche (la fauche précoce à l'époque de la floraison de l'arnica en particulier) sur les populations d'arnica. En effet l'étude de la démographie permettrait de tester si la fauche ou une pression de cueillette importante, en diminuant la production de graines, pourrait limiter la capacité de l'arnica à se ressemer et donc conduire à des populations vieillissantes. La distribution des classes d'âge de l'arnica est cependant difficile à mesurer, du fait que seul l'appareil souterrain est vivace.

Vantuykh (2015) et Nagy (2014) ont utilisé une classification du stade de développement des individus afin d'analyser la démographie des populations (Figure 24). Si cette méthode comporte un certain nombre de biais et de difficultés, elle pourrait servir de base à des études de démographie. La détection des semis et des individus juvéniles et immatures n'est pas facile sur le terrain mais pourrait au moins permettre de comparer les populations sur leur taux de renouvellement. Distinguer les individus végétatifs des individus séniles ou subséniles est probablement plus sujet à controverse, car la distinction proposée par Vantuykh (2015) utilise la taille des feuilles comme critère de discrimination ; or on sait que la taille des feuilles dépend surtout de la compétition et de l'environnement végétal immédiat (Locqueville et al., 2023). Il est en réalité possible que les individus d'arnica puissent se reproduire végétativement pendant plusieurs décennies, voire n'avoir aucune limite d'âge théorique.

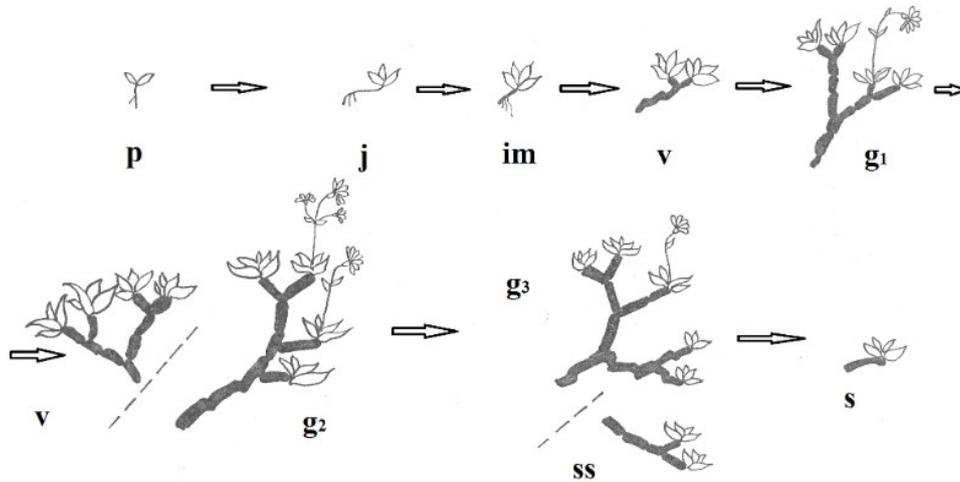


Figure 24 : Répartition en classes d'âge proposée par Nagy (2014). p : semis ; j : juvénile ; im : immature ; v : végétative ; g : génératif ; ss : subsénile ; s : sénile. Tiré de Nagy (2014).

Pour avoir une meilleure compréhension de ces aspects de la biologie de l'arnica, il serait possible d'utiliser une méthode telle que celle de Luijten et al. (1996), qui avait cartographié les rosettes d'arnica sur un carré de 10 m x 10 m, en identifiant génétiquement les rosettes. Cette cartographie permettrait de détecter la taille de chaque individu, en identifiant spatialement toutes ses rosettes, ce qui permet de mesurer le "diamètre" maximum de l'individu et pourrait potentiellement servir à estimer l'âge des individus⁶. Une telle méthodologie ne serait pas répliquable dans tous les protocoles, mais pourrait être utilisée ponctuellement pour mieux comprendre la démographie et la distribution spatiale des individus sur un site.

Les traits fonctionnels foliaires de l'arnica, par exemple la surface foliaire, la surface spécifique foliaire (c'est-à-dire le ratio surface / masse de la feuille) ou le taux de matière sèche des feuilles sont des variables qui présentent une forte variabilité chez l'arnica (Locqueville et al., 2023), comme la Figure 2 (p. 6) le suggère. Ces traits sont sensibles à l'environnement et à des modifications par la gestion (Figure 25) et peuvent donner de bonnes informations sur la situation écologique d'une population, par exemple si elle est en situation de compétition faible, modérée ou intense, ou si elle est en situation de stress hydrique ou de stress dû à l'ombrage (du fait d'un couvert arboré trop important). En effet la plante est capable d'adapter la forme, l'épaisseur et la structure cellulaire de ses feuilles pour répondre à l'environnement, jusqu'à un certain point. Bien que cela soit relativement chronophage, mesurer ces traits foliaires pourrait permettre de détecter si l'arnica est dans une situation plus ou moins optimale. De nombreuses recherches sont néanmoins nécessaires pour parvenir à un usage opérationnel des traits foliaires pour la gestion du milieu.

⁶ Certaines complications méthodologiques pourraient néanmoins apparaître du fait de la présence possible de reproduction par apomixie chez l'arnica (Yankova-Tsvetkova et al., 2016), qui entraîne une capacité à se reproduire à l'identique par les graines.

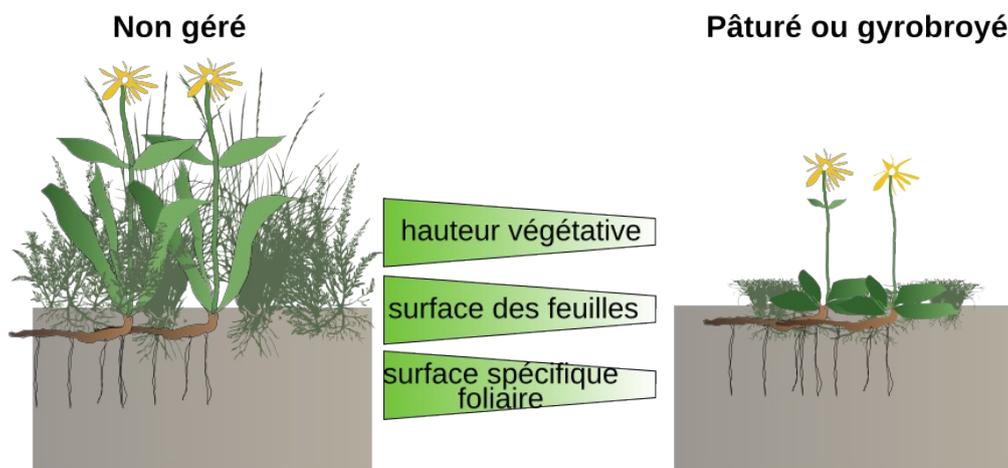


Figure 25 : Schéma de la variation des traits foliaires de l'arnica en fonction de la gestion, à partir de données collectées dans les Monts d'Ardèche. Modifié de Locqueville (2023).

5. IMPORTANCE DE LA CONCERTATION ET ASPECTS ORGANISATIONNELS

Dans la section précédente nous avons synthétisé les aspects techniques et scientifiques des suivis de l'arnica. Mais la mise en place des protocoles est aussi très dépendante des aspects sociaux et organisationnels, et notamment d'une bonne concertation entre acteurs. Premièrement, les suivis relatifs à la cueillette dépendent d'une **collaboration étroite entre les opérateurs des suivis et les cueilleurs**, car les relevés doivent être effectués peu de temps avant et après la cueillette. Il faut donc que les opérateurs des suivis aient un emploi du temps relativement flexible autour des dates de floraison de l'arnica, car les dates de début de cueillette sont souvent décidées au dernier moment en fonction de la floraison. De plus, les cueillettes se font souvent en équipes, avec plusieurs cueilleurs qui prélèvent simultanément dans différentes zones du site, de manière plus ou moins planifiée. Il faut donc qu'il y ait une bonne communication entre les cueilleurs et les opérateurs des suivis, pour pouvoir adapter les zones et les dates des suivis à la cueillette. Sur plusieurs plantes et notamment sur l'arnica (Jager, 2016), des expérimentations ont été détruites par des cueilleurs qui n'ont pas respecté l'interdiction de cueillette sur la zone expérimentale. Un travail d'information et d'instauration de la confiance est donc fondamental pour que l'intérêt pour ces suivis soit partagé par tous.

La concertation avec les **propriétaires** des sites est aussi une des clés pour que les suivis de long terme puissent se dérouler sans encombre (Figure 26). A Pailhères, les suivis du CBNPMP étaient réalisés depuis plusieurs années en partenariat avec un cueilleur qui avait demandé l'exclusivité de cueillette sur le site. Mais l'une des deux communes propriétaire du site avait en fait aussi délivré des autorisations⁷ à des cueilleurs qui n'avaient pas la volonté de travailler avec le CBNPMP, et le conflit a amené la mairie à geler la cueillette jusqu'à la fin des autorisations actuelles, soit pour une durée de trois ans, mettant aussi à mal les suivis de cueillette réalisés par le CBNPMP. Une clarification de ces aspects avec les propriétaires au début des suivis est donc de première importance.

Pour les protocoles orientés sur la gestion, la réussite des suivis et des expérimentations dépend directement de l'implication des différentes parties prenantes. Des exemples de mise en place d'une gestion concertée des milieux à arnica existent déjà, notamment sur le massif du Markstein dans les Vosges et à Porté-Puymorens dans les Pyrénées, et fournissent déjà quelques leçons sur ce point. L'implication des autres usagers a permis dans les deux cas de trouver des **mesures de gestion qui conviennent à la fois aux cueilleurs, aux gestionnaires d'espaces naturels et aux éleveurs**. Les opérations de gyrobroyage dans l'estive de Porté-Puymorens sont par exemple à la fois favorables à l'arnica et aux plantes herbacées consommées par les bovins, et profitent donc à la fois aux cueilleurs et aux éleveurs, sans altérer la biodiversité du site, ce qui permet l'implication conjointe de tous les acteurs.

⁷ Plus précisément, les deux autorisations de cueillette étaient délivrées pour des secteurs apparemment distincts mais géographiquement mal définis, tel que « col de Pailhères ». D'où l'importance que les autorisations de cueillette comportent le maximum de détails sur les zones, mais aussi les quantités, les dates ou les techniques autorisées.

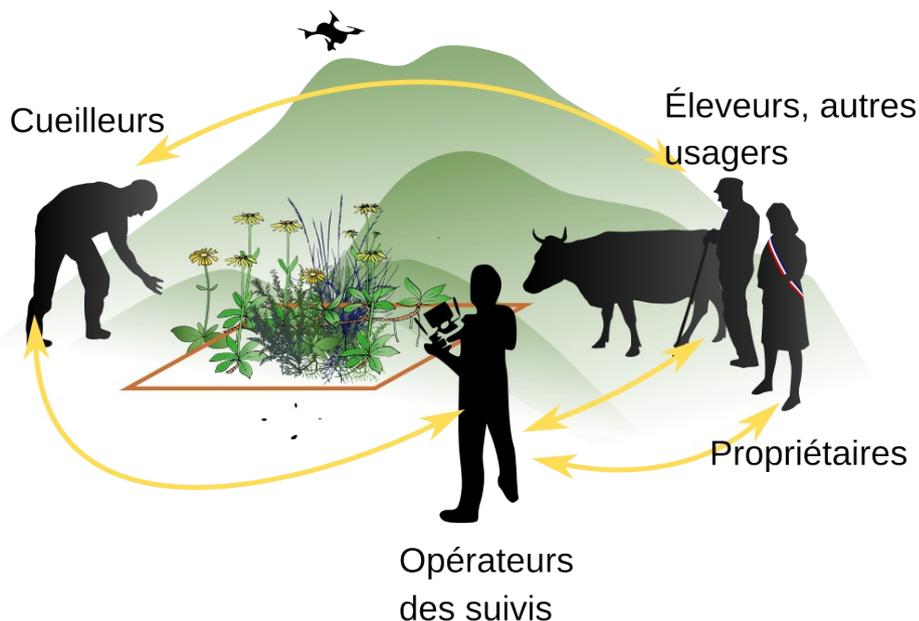


Figure 26 : Importance de la collaboration entre acteurs pour la mise en place de suivis et d'expérimentations

6. PRÉCONISATIONS

Les différents protocoles présentés à la section 3 visent à connaître l'état de la ressource sur un site, l'intensité de la cueillette, et discriminer l'effet de la cueillette de celui d'autres facteurs environnementaux.

Nous avons évoqué diverses difficultés qui freinent l'obtention de données comparables entre les différents massifs et sites de cueillette :

- Des variables différentes mesurées dans les différents protocoles (cf Tableau 2)
- Des différences dans les techniques mobilisées (notamment le drone et les comptages manuels, qui peuvent donner des estimations distinctes). Par exemple, les comptages manuels réalisés en complément au drone (par le CBNPMP notamment) ne sont pas réalisés avec un échantillonnage aléatoire puisque l'objectif est de calibrer les images drones et non de produire une estimation de la population.
- Une part d'arbitraire dans la délimitation de la zone de suivi, qui influe fortement sur les estimations de la pression de cueillette (Figure 18, p. 27).
- Des difficultés organisationnelles et sociales, et notamment la nécessité d'une collaboration étroite avec les cueilleurs, qui peut être difficile à mettre en place sur certains massifs.

Afin de discuter de la possibilité d'établir un protocole de suivi commun aux différents massifs, quelques préconisations générales sont données ci-dessous.

6.1. RENDRE LES SUIVIS COMPARABLES ENTRE EUX

Une problématique qui est apparue est que les différentes questions posées nécessitent d'estimer différentes variables (densité des capitules, des hampes, des rosettes notamment). Or pour pouvoir comparer les données des protocoles entre eux il serait préférable que **certaines variables soient mesurées partout**. Si l'homogénéisation des méthodes de suivi n'est pas particulièrement souhaitable, car la diversité des protocoles actuels permet aussi une diversité d'approches, avoir certaines variables en commun permettrait d'analyser plus aisément les différences entre sites.

Puisque la densité des hampes et capitules sert davantage à l'estimation de la ressource et la densité des rosettes à celle de la population, il serait bénéfique que dans tous les protocoles une estimation, même rapide, des relations de proportionnalité entre ces variables soit effectuée.

Par exemple, sur un protocole où seule la densité des hampes est estimée, car la mesure des autres variables serait trop chronophage sur des placettes de grande taille, une estimation des trois variables (rosettes, hampes et capitules) sur un sous-échantillon de 50 cm x 50 cm ou moins dans chaque placette pourrait être effectuée pour un faible coût en temps (environ 2 minutes). De cette façon, tous les protocoles pourraient être comparés, même si les estimations produites de cette manière comportent une marge d'erreur plus importante.

En particulier, puisque l'usage du drone ne permet de produire qu'une estimation de la densité en capitule, il serait bon que tous les protocoles drone incluent aussi une estimation rapide du nombre de capitules par hampe florale, et du taux de floraison.

6.2. INTÉGRER LES DONNÉES NON PROTOCOLÉES

Au rang des préconisations, il faut aussi mentionner l'intérêt de collecter le maximum de données non protocolées sur le fonctionnement des écosystèmes à arnica. Ces données peuvent provenir de tous les acteurs institutionnels ou non impliqués dans la gestion de ces milieux. Les cueilleurs, en particulier, disposent d'un grand nombre d'observations écologiques, parfois de notes consignées dans les carnets de cueillette, et d'une expérience du même site sur plusieurs années. Ces connaissances et observations concernent à la fois les cueillettes (pression de cueillette estimée, cueillettes légales ou illégales observées), les densités d'arnica dans différents secteurs, et les réactions de la plante à la gestion et aux différents paramètres écologiques.

Cette expérience a donc tout intérêt à être mobilisée dans le cadre d'un plan de gestion, en complément des suivis réalisés. C'est une des raisons pour lesquelles un travail sur l'arnica est envisagé dès 2025 dans le cadre du projet « Cueilleurs Sentinelles » développé par l'Association française des professionnels de la cueillette de plantes sauvages (AFC). Ce projet, en lien avec l'Observatoire des cueillettes, permettra la collecte d'alertes sur des menaces pesant sur la ressource, et visera à cartographier les zones de forte tension sur cette ressource à l'échelle nationale, grâce à la collecte de témoignages des cueilleurs⁸.

7. AIDE-MÉMOIRE POUR LA MISE EN PLACE D'UN PROTOCOLE DE SUIVI

Plutôt qu'un protocole unique applicable partout, nous proposons ici une liste des points de réflexion et d'éléments à considérer pour mettre en place un protocole autour d'une volonté partagée par les différents acteurs de conserver les populations d'arnica et de sécuriser la ressource cueillable, dans ce contexte donné.

- Établir une relation de confiance avec les cueilleurs et les autres gestionnaires en lien avec le milieu à arnica. Cela est primordial à la fois pour bien comprendre le système écologique et pour mettre en place les suivis.
- Mener l'enquête pour connaître les conditions écologiques et les pratiques influant sur le milieu, dans la zone à arnica. Il s'agit d'enquêter à la fois auprès des cueilleurs et des autres usagers de l'espace (gestionnaires, éleveurs, chasseurs...) pour comprendre l'historique des pratiques influençant la dynamique de la végétation. Collecter le maximum d'observations écologiques sur la dynamique de la végétation et de la ressource en arnica.
- À partir de ces informations, formuler des hypothèses sur le fonctionnement écologique du milieu à arnica (importance locale du pâturage, du brûlis, etc., dans la pérennisation de la population)
- Sécuriser rapidement une gestion du milieu favorable à l'arnica, par exemple en évitant autant que possible le pâturage ovin ou la fertilisation azotée. Rechercher éventuellement des fonds pour la gestion du milieu en faveur de l'arnica
- Estimer le temps pouvant être consacré annuellement pour les suivis autour de l'arnica, et le nombre d'années consécutives pendant lesquels un suivi sera possible
- Selon le temps mobilisable, définir un protocole ponctuel ou de moyen à long-terme permettant de répondre à l'une des questions répertoriées en section 3 ou de mener une recherche sur une autre question écologique concernant l'arnica.
- Pour un suivi de population ou une analyse de la pression de cueillette, estimer si le drone est un outil viable et efficace (en fonction de la question posée, des conditions météorologiques, du temps allouable et de la proximité géographique au site de cueillette). Envisager alternativement un protocole par quadrats aléatoires et/ou d'estimation via les volumes cueillis.

⁸ Des informations sur ce projet sont consultables sur le [site de l'AFC](#).

- Vérifier la possibilité d'harmoniser les résultats avec les autres études en cours, et envisager les évolutions ultérieures du protocole, afin de mieux comparer les situations écologiques dans les différents massifs.

Un résumé des variables à mesurer en priorité selon la question posée est donné dans le tableau 4.

Tableau 4 : Synthèse des variables et des types de comptage (drone ou manuel) à utiliser selon la question posée

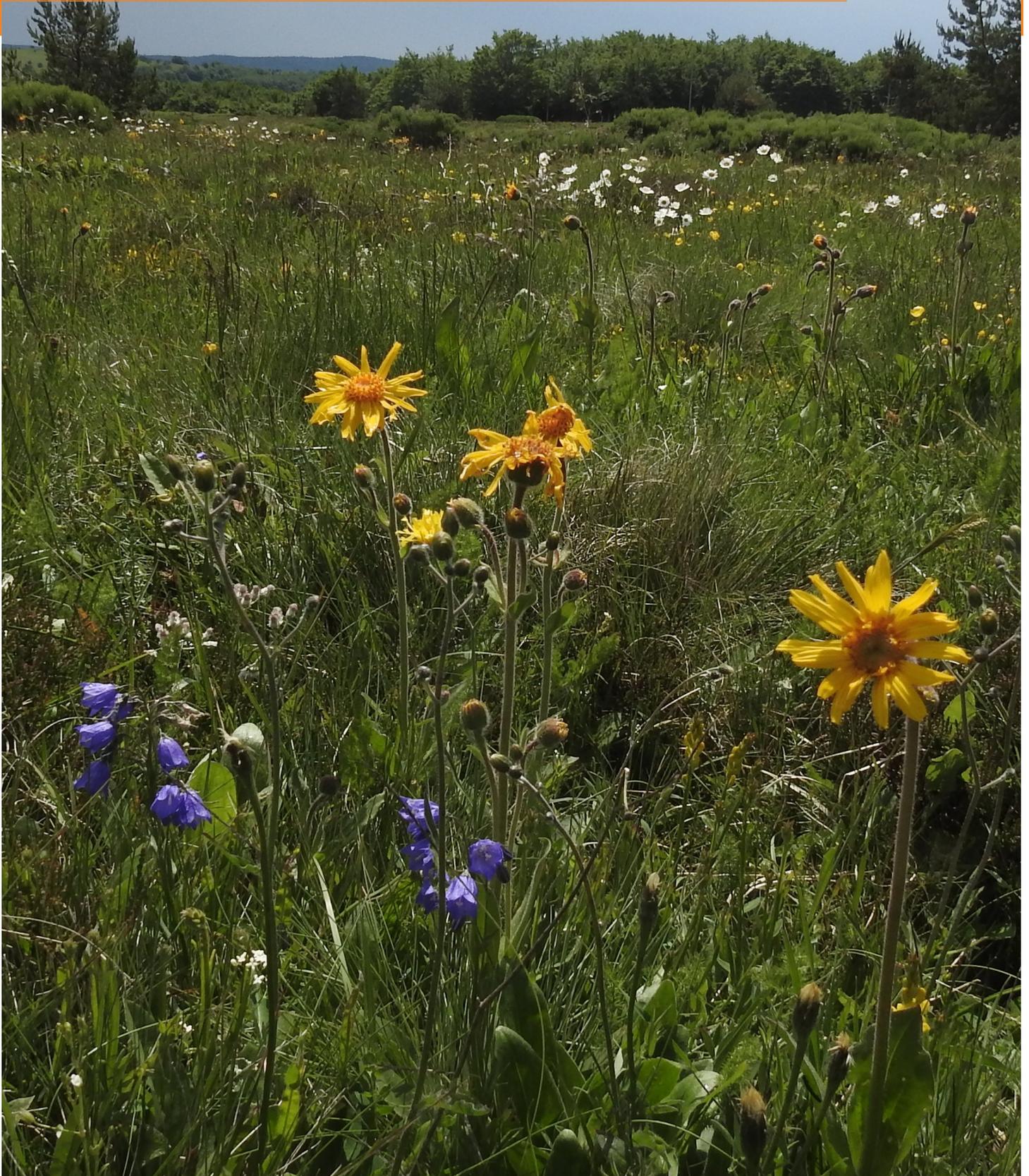
Estimation ...	Variables	Techniques à utiliser
... de la population	Densité des rosettes → population + taux de floraison	Comptage manuel en placettes aléatoires ou systématiques. Placettes permanentes plus chronophages mais données de dynamique par placette.
... de la ressource en plante entière fleurie	Densité des hampes florales	Comptage manuel
... du taux de floraison	Densité des rosettes + densité des hampes	Comptage manuel
... de la ressource en capitules	Densité des capitules	Comptage par drone ou manuel Estimation du nombre de capitules par hampe possible si l'on veut estimer la ressource en plantes entières
... de la pression de cueillette	Masse cueillie + densité des capitules ou des hampes (selon la partie de plante cueillie) ou Densité des capitules ou des hampes, avant et après cueillette	Comptage par drone (pour la cueillette de capitules) ou manuel (pour la cueillette de plante entière fleurie)
... de l'impact de la cueillette sur l'arnica	Densité des rosettes + Densité des hampes	Comptage manuel
... de l'effet de la gestion du milieu sur l'arnica	Densité des rosettes + Densité des hampes	Comptage manuel
... de l'effet de la gestion sur les autres espèces	Présence / absence ou abondance de différents taxons	Relevés naturalistes

8. BIBLIOGRAPHIE

- AFC (2021). L'arnica : Livret technique de cueillette. Association française des professionnels de la cueillette de plantes sauvages, 44 p.
- ARGUEL, L., DÉCHOZ, C. et LESAULE, C. (2021). Réalisation d'un état initial des communautés d'Orthoptères en vue d'un suivi sur des parcelles destinées à des travaux de réouverture en faveur de l'arnica. 10 p.
- BAIN, E. (2019). Imbroglia sur le Markstein : Une histoire d'arnica dans les Vosges. *Nunatak*, 5, 44-55.
- BRUELHEIDE, H. ET SCHEIDEL, U. (1999). Slug herbivory as a limiting factor for the geographical range of *Arnica montana*. *Journal of Ecology*, 87(5), 839-848. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.1999.00403.x>
- Collectif (2016). Convention "Arnica Hautes Vosges" du 22 juin 2016, Massif du Markstein.
- DUCERF, G. (2021). *L'encyclopédie des plantes bio-indicatrices alimentaires et médicinales: guide de diagnostic des sols*. Promonature.
- DUMEZ, R. (2010). Le feu, savoirs et pratiques en Cévennes. *Quae*, 254 p.
- ELLENBERGER, A. (1998). Assuming responsibility for a protected plant : Weleda's endeavour to secure the firm's supply of *Arnica montana*. Dans "First International symposium on the conservation of medicinal plants in trade in Europe". TRAFFIC Europe, Kew, UK. 127-130.
- GARRETA, R., RUMEAU, M., MORISSON, B., CAMBECÈDES, J., HAMDI, A., BOURGNE, L. et DOUETTE, M. (2022). Rapport de synthèse du programme PyCuP. En Pyrénées, des pratiques responsables pour les Cueillettes Professionnelles. Vers un approvisionnement durable et responsable de la filière PAM (2019-2022). Conservatoire botanique national des Pyrénées et de Midi-Pyrénées (CBNPMP), 60 p.
- GHIMIRE, S. K., GIMENEZ, O., PRADEL, R., MCKEY, D. et AUMEERUDDY-THOMAS, Y. (2008). Demographic variation and population viability in a threatened Himalayan medicinal and aromatic herb *Nardostachys grandiflora*: matrix modelling of harvesting effects in two contrasting habitats. *Journal of Applied Ecology*, 45(1), 41-51. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01375.x>
- GREINWALD, A., HARTMANN, M., HEILMANN, J., HEINRICH, M., LUICK, R. et REIF, A. (2022). Soil and vegetation drive sesquiterpene lactone content and profile in *Arnica montana* L. flower heads from Apuseni-mountains, Romania. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.813939>
- HAMDI, A. (2022). Apport du drone dans les travaux d'expérimentation sur les cueillettes. Rapport d'étude 2021-2022. *Conservatoire botanique national Pyrénées et Midi-Pyrénées*
- HOLLMANN, V., DONATH, T. W., GRAMMEL, F., HIMMIGHOFEN, T., ZERAHN, U. et LEYER, I. (2020). From nutrients to competition processes : Habitat specific threats to *Arnica montana* L. populations in Hesse, Germany. *PloS one*, 15(5), e0233709. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233709>
- JAGER, C. (2016). Suivi pluri-annuel (2009–2015) de l'Arnica et de l'état de conservation des hautes chaumes sur la zone conventionnée du Markstein : Évaluation de l'impact de la cueillette et des pratiques agricoles. *ESOPE, Rapport final*, 130.
- KAHMEN, S. et POSCHLOD, P. (2000). Population size, plant performance, and genetic variation in the rare plant *Arnica montana* L. in the Rhön, Germany. *Basic and Applied Ecology*, 1(1), 43-51. <https://doi.org/10.1078/1439-1791-00007>
- KATHE, W. (2006). Conservation of Eastern-European medicinal plants: *Arnica montana* in Romania. *Frontis*, 203-211.
- LOCQUEVILLE, J., VIOLLE, C., MCKEY, D., CAILLON, S. et COQ, S. (2023). A feedback loop between management, intraspecific trait variation and harvesting practices. *AoB Plants*, 15(6), plad077. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plad077>
- LUIJTEN, S. H., KÉRY, M., OOSTERMEIJER, J. G. B. et NIJS, H. (J) C. D. (2002). Demographic consequences of inbreeding and outbreeding in *Arnica montana*: a field experiment. *Journal of Ecology*, (90), 593-603. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.2002.00703.x>
- MICHLER, B. (2007). Management plan for Project Conservation of Eastern-European medicinal plants: *Arnica montana* in Romania. Case Study Gârda de Sus. 83 p.

- NAGY, B. B. [Надь, Б. Б.] (2014). Bioecological and biotechnological foundations of *Arnica montana* L. gene pool conservation in Transcarpathia [Біоекологічні та біотехнологічні основи збереження генофонду *Arnica montana* L. в Закарпатті]. Timpani, Uzhhorod.
- PĂCURAR, F., REIF, A. et RUSDEA, E. (2023). Conservation of oligotrophic grassland of high nature value (HNV) through sustainable use of *Arnica montana* in the Apuseni Mountains, Romania. Dans *Medicinal Agroecology: Reviews, Case Studies and Research Methodologies* (p. 177-201). CRC Press.
- PEGTEL, D. M. (1994). Habitat characteristics and the effect of various nutrient solutions on growth and mineral nutrition of *Arnica montana* L. grown on natural soil. *Vegetatio*, 114, 109-121. <https://doi.org/10.1007/BF00048391>
- ROBERGE, J.-M. et ANGELSTAM, P. E. R. (2004). Usefulness of the umbrella species concept as a conservation tool. *Conservation biology*, 18(1), 76-85. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2004.00450.x>
- ROMERO, R., REAL, C., RODRÍGUEZ-GUITIÁN, M. A., BARROS, M. R., RIGUEIRO, A. et GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, M. P. (2011). Estudio de la variabilidad biométrica de *Arnica montana* L. (Asteraceae) en el extremo occidental cantábrico (NW Ibérico). *Actas del IX Coloquio Internacional de Botánica Pirenaico-Cantabrica*.
- SÂNGEORZAN, D. D., PĂCURAR, F., REIF, A., WEINACKER, H., RUȘDEA, E., VAIDA, I. et ROTAR, I. (2024). Detection and quantification of *Arnica montana* L. inflorescences in grassland ecosystems using convolutional neural networks and drone-based remote sensing. *Remote Sensing*, 16(11), 2012. <https://doi.org/10.3390/rs16112012>
- SCHMIDT, U., RÖHL, S. et BRUELHEIDE, H. (2003). Altitudinal gradients of generalist and specialist herbivory on three montane Asteraceae. *Acta Oecologica*, 24(5), 275-283. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2003.09.004>
- SCHMIDT, T. J. (2023). *Arnica montana* L.: Doesn't Origin Matter? *Plants*, 12(20), 3532. <https://doi.org/10.3390/plants12203532>
- SMALLFIELD, B. M. et DOUGLAS, M. H. (2008). *Arnica montana* : a grower's guide for commercial production in New Zealand. Christchurch: New Zealand Institute for Crop and Food Research Limited.
- STANIK, N., LAMPEI, C. et ROSENTHAL, G. (2020). Summer aridity rather than management shapes fitness-related functional traits of the threatened mountain plant *Arnica montana*. *Ecology and evolution*, 10(11), 5069-5078. <https://doi.org/10.1002/ece3.6259>
- STANIK, N., LAMPEI, C. et ROSENTHAL, G. (2021). Drought stress triggers differential survival and functional trait responses in the establishment of *Arnica montana* seedlings. *Plant Biology*, 23(6), 1086-1096. <https://doi.org/10.1111/plb.13306>
- STRYKSTRA, R. J., PEGTEL, D. M. et BERGSMAN, A. (1998). Dispersal distance and achene quality of the rare anemochorous species *Arnica montana* L.: implications for conservation. *Acta Botanica Neerlandica*, 47(1), 45-56.
- TENZ, R., ELMER, R., HUGUENIN-ELIE, O. et LÜSCHER, A. (2010). Effets de la fumure sur une pelouse à nard raide. *Recherche agronomique suisse*, 1(5), 176-183.
- VAN DER BERG, L. J. L., VERGEER, P. et ROELOFS, J. G. M. (2003). Heathland restoration in the Netherlands: Effects of turf cutting depth on germination of *Arnica montana*. *Applied Vegetation Science*, 6(2), 117-124. <https://doi.org/10.1111/j.1654-109X.2003.tb00571.x>
- VAN ROSSUM, F. et RASPÉ, O. (2018). Contribution of genetics for implementing population translocation of the threatened *Arnica montana*. *Conservation Genetics*, 19(5), 1185-1198. <https://doi.org/10.1007/s10592-018-1087-2>
- VERA, M., ROMERO, R., RODRÍGUEZ-GUITIÁN, M. A., BARROS, R. M., REAL, C. et BOUZA, C. (2014). Phylogeography and genetic variability of the *Arnica montana* chemotypes in NW Iberian Peninsula. *Silvae Genetica*, 63(1-6), 293-300. <https://doi.org/10.1515/sg-2014-0037>
- VIKANE, J. H., RYDGREN, K., JONGEJANS, E. et VANDVIK, V. (2019). Rainfall and temperature change drive *Arnica montana* population dynamics at the Northern distribution edge. *Oecologia*, 191(3), 565-578. <https://doi.org/10.1007/s00442-019-04519-5>
- YANKOVA-TSVETKOVA, E. P., YURUKOVA-GRANCHAROVA, P., BALDIJEV, G. et VITKOVA, A. (2016). Embryological features, pollen and seed viability of *Arnica montana* (Asteraceae) – a threatened endemic species in Europe. *Acta Botanica Croatica*, 75(1). Retrieved from <https://www.abc.botanic.hr/index.php/abc/article/view/1469>

Prairie à *Arnica montana* sur le massif du Mézenc, Monts d'Ardèche © Sylvain Coq



SIEGE & CORRESPONDANCE :

Vallon de Salut • BP 70315 • 65203 Bagnères-de-Bigorre Cedex
Tél : 05 62 95 85 30 • Mél : contact@cbnmpm.fr

www.cbnmpm.fr

cbn
CONSERVATOIRE
BOTANIQUE NATIONAL
PYRÉNÉES
ET MIDI-PYRÉNÉES