



RAPPORT D'ETUDE 2022-2024



**CONSERVATOIRE
BOTANIQUE NATIONAL
PYRÉNÉES
ET MIDI-PYRÉNÉES**

**APPORT DU DRONE DANS LES TRAVAUX
D'EXPERIMENTATION SUR LES CUEILLETES -
ARNICA MONTANA**

Anouar HAMDJ



Table des matières

I Introduction et contexte	8
II Sites d'études	8
III Matériel et méthode	9
III-1 Drone	9
III- 2 Capteurs :	10
III-3 Planification des vols	10
III-4 Analyse des images	11
III-4-1 Photogrammétrie.....	11
III-4-2 Télédétection	11
III-4-2-1 Sélection des données d'apprentissage	12
III-4-2-2 Calcul des variables.....	12
III-4-2-3 Classification d'une image et évaluation des résultats.....	12
III-4-2-4 Délimitation et nettoyage des contours des espèces et des unités de végétations classées.....	13
III-4-3 Indicateurs	13
III-5 Relevés terrain	13
IV Résultats et discussion	15
IV-1 Déroulement du vol drone	15
IV-2 Photogrammétrie	16
IV-3 Télédétection	17
Les capitules identifiés grâce à la technique de télédétection permettront de générer des indicateurs détaillés dans la partie suivante.....	19
IV-4 Indicateurs	19
V Conclusion	21

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Information sur les vols effectués sur le site de « Merial » en 2022 et 2023	16
Tableau 2 : Tableau d'évaluation du résultat de télédétection sur le site de « Merial »	18
Tableau 3 : Evolution de nombre capitule par m ² sur les sites de « Merial » et « Merial témoin » auc ourant des années 2021, 2022 et 2023.....	20

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation des sites d'études sur les communes de Merial et Niort-de-Sault.....	9
Figure 2 : drone à rotors de type DJI M210 RTK v2	10
Figure 3 : 1 transect et 3 quadrats mis en place le jour du vol de drone à « Merial témoin » le 28/06/2023	14
Figure 4 : Schématisation des capitules d'Arnica dans un relevé	15
Figure 5 : Secteur de vol avant et après cueillette sur le site de « Merial »	16
Figure 6 : Extrait de deux orthophotos prises à des moments distincts ; avant la cueillette photo à gauche et après cueillette photo de droite	17
Figure 7 : Zone de traitement par télédétection sur « Merial »	18
Figure 8 : discrimination des capitules d'arnica sur trois années distinctes : de gauche vers la droite 2021, 2022 et 2023 sur « Merial »	19
Figure 9 : Evolution de la répartition des mailles par classe de capitule au cours de trois années sur le site de « Merial témoin »	19
Figure 10 : Evolution de la répartition des mailles par classe de capitule au cours de trois années sur le site de « Merial ».....	20
Figure 11 : Evolution de la répartition des mailles par classe de capitule avant (juin 2023) et après la cueillette (juillet 2023) sur le site de « Merial ».....	21

I INTRODUCTION ET CONTEXTE

Le programme PyCup a donné l'occasion d'utiliser à titre expérimental une nouvelle technologie d'acquisition de données grâce à un drone sur certains secteurs subissant une pression de cueillette sur *Arnica montana*. Nous avons eu l'opportunité de continuer ces travaux dans le programme PyCup+ en ayant les mêmes objectifs :

- amélioration de la connaissance des populations ;
- évaluation de la ressource et son suivi avant et après la récolte ;
- évaluation de l'impact sur les populations suivant les modalités de gestion.

Ce rapport ne décrit pas de façon exhaustive le détail de la suite de cette expérimentation, mais une synthèse des résultats les plus explicites permettant de répondre à ces objectifs d'une façon satisfaisante.

II SITES D'ETUDES

Trois secteurs ont été sélectionnés dont les deux premiers ont été déjà survolé dans PyCup :

- le premier est localisé sur la commune de Porté-Puymorens (Pyrénées-Orientales). Il se trouve à une altitude comprise entre 1800 et 2000 m, avec un dénivelé positif de 200 m, exposé nord, sur une superficie plus de 130 ha. L'*Arnica montana* se développe dans un environnement composé de trois strates : arborée (pins), arbustive (landes à callunes, myrtilles, rhododendrons...) et herbacée (pelouses). L'*Arnica* ne recouvre pas la zone d'une façon homogène. Sa présence est dispersée sur tout le secteur avec une densité variable. Dans ce secteur un site ouvert à la cueillette, qui sera appelé « Puymorens », a été choisi pour faire l'expérimentation drone.
- le deuxième (cf. figure 1) est localisé entre les communes de Mérial et Niort-de-Sault (Aude). Ce secteur se situe dans le bassin versant du ruisseau de « Paillères ». Il se trouve à une altitude comprise entre 1700 et 1960 m avec une superficie de plus de 190 ha. La densité de l'*Arnica montana* n'est pas homogène sur toute la zone. Dans ce secteur trois sites ont été sélectionnés :
 - o un site témoin où les cueilleurs n'interviennent pas et qui sera nommé « Mérial témoin ».
 - o un premier site avec une activité de cueillette qui sera appelé « Mérial »
 - o un deuxième site avec une activité de cueillette qui sera appelé « Niort »

Dans ces trois sites l'*Arnica montana* se développe dans un environnement avec trois strates : arborée (présence de pin), arbustive (landes à callunes, myrtilles, rhododendrons...) et herbacée (espèce cible de pâturage). On peut noter la présence d'espèce telles que *Gentiana lutea*, *Gentiana burseri* et *Veratrum album*.

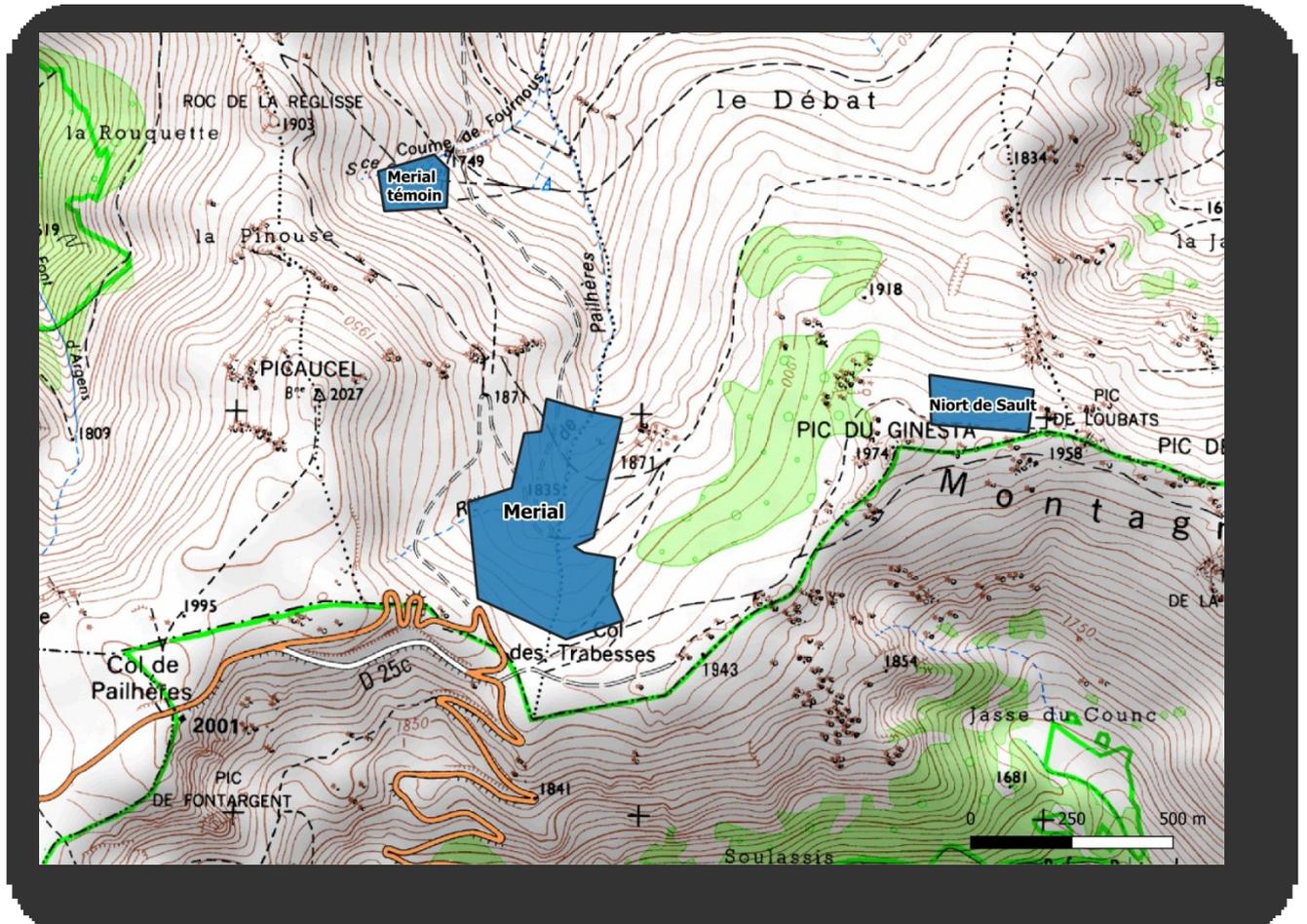


Figure 1 : Localisation des sites d'études sur les communes de Merial et Niort-de-Sault

- le troisième est localisé sur la commune de Montailou (Ariège), qui sera appelé « Montailou ». Il se trouve à une altitude comprise entre 1600 et 1800 m, avec un dénivelé positif de 200 m, exposé au nord avec une superficie plus de 40 ha. *L'Arnica montana* se développe dans un environnement composé de deux strates : arbustive (landes à callunes, myrtilles, rhododendrons...) et herbacée (pelouses).

III MATERIEL ET METHODE

Après avoir présenté les sites d'études, cette partie va détailler le matériel utilisé pour acquérir les orthophotos ainsi que les méthodes employées pour les analyser.

III-1 Drone

Le drone utilisé est de type à rotors (cf. figure 2) avec quatre hélices. Il décolle et atterrit à la verticale. Il est adapté à la géomorphologie du terrain décrite dans la partie II. Il est piloté automatiquement par l'intermédiaire d'un planificateur de vol, indispensable pour acquérir des images destinées à produire des orthophotos. Son autonomie de vol est de 25 min en moyenne lorsque les conditions météorologiques sont bonnes (absence de brouillard et de précipitation, vitesse du vent inférieure à 35 Km/h).

Le drone est équipé d'une nacelle à laquelle peuvent être accrochés successivement des capteurs, décrits dans la partie qui suit, et qui ont pour rôle l'acquisition des images.



Figure 2 : drone à rotors de type DJI M210 RTK v2

III- 2 Capteurs :

Il existe deux capteurs disponibles pour effectuer le vol :

- Capteur « RVB » dans le visible (rouge, vert et bleu) de type Zenmuse x7 de résolution 24 millions de pixels, permettant d'obtenir une orthophoto de 2,2 mm de résolution à une hauteur de vol à 20 m du sol. Le délai de capture entre deux images est de 2 secondes.
- Capteur « multispectral » de type Sentera AGX710 (3 bandes dans le visible et 2 bandes dans l'invisible red-edge et proche infrarouge) de résolution 12 millions de pixels permettant d'obtenir une orthophoto de 5,4 mm de résolution à une hauteur de vol à 20 m du sol. Le délai de capture entre deux images est de 0,5 seconde. La résolution spectrale de ce capteur permet de calculer des indices radiométriques ciblés pour le suivi des végétations tel que le NDVI.

Le capteur retenu est de type Sentera AGX710, choisi en raison de son délai de capture relativement rapide par rapport au capteur « RVB ». Ce délai lui confère la capacité de se déplacer rapidement, permettant de couvrir de grandes étendues. Le capteur « RVB » n'est utilisé que si le capteur principal rencontre des problèmes.

L'enclenchement du capteur pour prendre des photos se fait automatiquement en paramétrant les planificateurs de vols décrits dans la partie suivante.

III-3 Planification des vols

Un planificateur de vol a été utilisé, UGCS planificateur universel qui est adapté aux sites choisis. Il permet au drone de suivre le profil du relief (grâce à un modèle numérique de terrain présent dans le planificateur, BD-Alti de l'IGN à 5 m de résolution) afin de garder la même hauteur de vol et ainsi la même résolution pour les images acquises.

Pour fonctionner correctement, UGCS doit être configuré avec ces données. Ces paramètres résultent des essais réalisés dans PyCup :

- résolution de l'image ; ne doit pas dépasser 7 mm

- recouvrement latéral et frontal entre les images ; 60%
- limites de la zone à survoler ;
- orientation du capteur, qui est en général perpendiculaire au sol ;
- temps de prise entre deux photos ; régler sur automatique

A partir de ces paramètres, le planificateur donne une estimation de la durée du vol. Lorsque celle-ci ne peut être couverte par le nombre des batteries disponibles sur le terrain, il suffit de réadapter un de ces paramètres, listés ci-dessus, pour essayer de diminuer le temps de vol. Il arrive parfois, à cause du nombre limité de batteries disponibles (12 batteries qui permettent de faire 2 heures de vol), de faire le choix de diminuer la superficie de la zone à surveiller afin d'effectuer le vol.

III-4 Analyse des images

Les images produites vont tout d'abord être traitées par la technique de la photogrammétrie pour produire une orthophoto. Cette orthophoto va par la suite être classifiée par télédétection pour repérer les espèces cibles. Et enfin des indicateurs seront produits grâce aux outils de géotraitement (via des logiciels de SIG)

Cette partie va décrire ces trois étapes d'analyse successives.

III-4-1 Photogrammétrie

Les images acquises sont traitées, pour obtenir une orthophoto, en utilisant un logiciel de photogrammétrie dédié aux drones et en exécutant ces étapes successivement :

- alignement des photos
- création des nuages de points denses
- création du maillage et de la texture
- création d'un modèle numérique de surface
- création d'une orthophoto

Une fois l'orthophoto créée, elle va être traitée par télédétection.

III-4-2 Télédétection

L'analyse par télédétection de l'orthophoto va suivre la méthode de classification supervisée orientée objet, qui se déroule en trois étapes :

- Segmentation de l'image en objets en utilisant un algorithme de segmentation qui se base sur le regroupement des pixels en région lorsqu'ils sont composés d'une texture, forme et valeur similaire.
- Apprentissage : un algorithme de classification construit un modèle en apprenant à partir d'un ensemble de données d'apprentissage étiquetées avec les classes des espèces observées sur l'orthophoto (cf. partie III-4-2-1). Chacune de ces classes doit être associée à des attributs tels que les valeurs numériques des bandes spectrales composant l'image et d'autres variables (cf. partie III-4-2-3).
- Classification : après validation de la partie apprentissage, en exécutant différents tests, le modèle est utilisé pour la prédiction.

III-4-2-1 Sélection des données d'apprentissage

Les données d'apprentissage nécessaires pour les analyses par télédétection représentent des unités de végétations et/ou espèces observées sur une orthophoto. Elles doivent être exhaustives et bien réparties sur l'image.

Pour constituer les données d'apprentissage, différentes sources d'informations sont utilisées :

- Interprétation à l'œil nu de l'orthophoto produite pendant la phase de photogrammétrie
- Observations faites sur le terrain le jour du vol qui peuvent avoir un apport important si l'interprétation à l'œil nu de l'orthophoto ne permet pas de reconnaître les espèces et les unités de végétations (à cause de sa résolution insuffisante).

A titre d'exemple sur le site appelé « Merial témoin » les données d'apprentissage sont constituées de ces catégories identifiées sur l'orthophoto :

- Capitule d'*Arnica montana*
- Gentiane ou Vêrâtre blanc
- Substrat rocheux
- Sol nu
- Végétation dense
- Végétation moins dense

III-4-2-2 Calcul des variables

Pour produire un modèle prédictif de classification, les algorithmes ont besoin de variables telles que :

- Les bandes spectrales qui constituent l'orthophoto ; pour le cas de *l'arnica montana* seules les spectres dans le visible vont être utilisés ; À la suite des tests effectués avec PyCup, il a été constaté que le capteur ne permet pas d'exploiter le spectre de l'invisible en raison d'un décalage spatial entre les images capturées dans le spectre visible et celles dans l'invisible. Par conséquent, le choix a été fait d'utiliser uniquement le spectre visible.
- Les indices de couleurs calculés à partir des spectres dans le visible

III-4-2-3 Classification d'une image et évaluation des résultats

L'évaluation de la qualité de l'apprentissage et de la classification se fait à l'aide d'une matrice de confusion. Elle est constituée d'un croisement entre les classes réelles (références) et estimées (prédictions). Les chiffres qui composent la matrice de confusion correspondent :

- Vrais positifs (TP) : le nombre de la classe modélisée correspond au nombre de la classe observée sur le terrain
- Vrais négatifs (TN) : le nombre de la classe non modélisée correspond au nombre de la classe non observée sur le terrain
- Faux positifs (FP) : le nombre de la classe modélisée ne correspond pas au nombre de la classe observée sur le terrain
- Faux négatifs (FN) : le nombre de la classe observée sur le terrain ne correspond pas au nombre de la classe modélisée

D'autres indicateurs apportent des éléments sur la qualité de la classification tels que :

- Precision of class : la précision quantifie le nombre de prédictions de classe positive qui appartiennent réellement à la classe positive ; plus la valeur de la précision est proche de 0 plus il y a de faux positifs FP ; $\text{Precision} = \text{TP} / (\text{TP} + \text{FP})$
- Recall of class : le rappel ou retour quantifie le nombre de prédictions de classe positive faites parmi tous les exemples positifs de l'ensemble de données ; plus la valeur du retour est proche de 0 plus il y a de faux négatifs FN ; $\text{Recall} = \text{TP} / (\text{TP} + \text{FN})$
- F-score of class : la F-Measure fournit un score unique qui équilibre les deux préoccupations de précision et de rappel en un seul chiffre.

III-4-2-4 Délimitation et nettoyage des contours des espèces et des unités de végétations classées

Les images classées présentent de nombreuses zones éparpillées et de petites tailles. Ces zones sont constituées de pixels incorrectement classés, ce qui est appelé effet poivre et sel.

Pour remédier à ce problème, deux outils de généralisation de raster, « Nettoyage de limites » et « Filtre majoritaire », sont utilisés pour lisser les bords des zones d'un raster :

- Filtre majoritaire : « *L'outil Filtre majoritaire remplace les cellules en fonction de la valeur majoritaire présente dans leurs voisinages contigus.* »
- Nettoyage des limites : « *L'outil Nettoyage de limites généralise ou simplifie les rasters en lissant les limites entre les zones. Il applique une méthode d'expansion et de contraction pour évaluer chaque cellule sur la base de ses voisins immédiats.* »

Cette partie est indispensable pour avoir un raster propre qui va être converti au format vecteur afin d'extraire les indicateurs.

III-4-3 Indicateurs

A partir du résultat de la classification les objectifs des géotraitements sont les suivants :

- ❖ Délimiter l'aire de présence de *Arnica montana* sur le site
- ❖ Cartographier la répartition spatiale des individus
- ❖ Définir les recouvrements et densités de populations

III-5 Relevés terrain

Des relevés de terrain (cf. figure 3) vont être effectués le même jour que le vol de drone. Ces relevés auront leur importance pour valider les indicateurs résultats des géotraitements et juger ainsi de la robustesse de la classification de l'image.

Les relevés terrain sont composés de :

- **1 transect** d'1 m de largeur sur 10 m de longueur. Il est placé à un endroit avec des densités de présence variable de l'espèce (faible, moyen et dense). L'évaluation de la densité est estimée à l'œil nu sur le terrain.

- **quadrats d'1 m de côté.** Chaque quadrat a été placé dans des zones de densité variable de l'espèce.



Figure 3 : 1 transect et 3 quadrats mis en place le jour du vol de drone à « Merial témoin » le 28/06/2023

Pour chaque relevé il sera noté ces informations :

- Nombre de capitules **cueillables**
 - boutons ouverts
 - capitules ouverts
- Nombre de capitules **non cueillables**
 - boutons fermés
 - capitules fanés
- Nombre d'individus **végétatifs**

Un schéma (cf. figure 4) représentant la localisation des capitules ainsi que leur stade phénologique sera élaboré dans le relevé. Ce schéma facilitera la validation des résultats par télédétection et permettra d'identifier le type de capitule détecté.

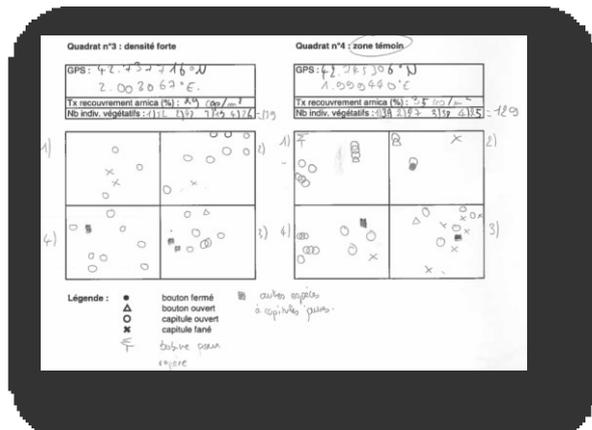


Figure 4 : Schématisation des capitules d'Arnica dans un relevé

IV RESULTATS ET DISCUSSION

Dans cette partie tous les résultats ne vont pas être exposés mais seulement quelques exemples parmi les plus significatifs. Ces résultats, présentés dans les parties suivante, vont suivre cette enchaînement :

- 1) Déroulement du vol par drone
- 2) Photogrammétrie
- 3) Télédétection
- 4) Calculs d'indicateurs

IV-1 Déroulement du vol drone

Comme pour PyCup, les vols ont été tributaires de ces facteurs:

- les conditions météorologiques

Les sites de « Mérial », « Niort » et « Mérial témoin » sont connus pour avoir un microclimat assez capricieux avec la présence d'un brouillard qui peut apparaître spontanément et rester localisé sur le site pendant plusieurs heures. Par exemple, selon le tableau ci-dessous (cf. tableau 1) concernant le site « Mérial », en 2022, il n'a été possible de réaliser que deux jours de vol durant la saison de cueillette, et le vol post-cueillette n'a pu être effectué qu'après trois jours d'intervention des cueilleurs. Cela est dû à de mauvaises conditions météorologiques.

- la floraison.

Le vol de drone doit correspondre au niveau optimum de la floraison sur tout le site. En 2022, la période optimale de floraison n'a duré qu'environ dix jours, tandis qu'en 2023, elle s'est étendue sur plusieurs semaines.

- les cueilleurs.

Les cueilleurs sont présents sur le terrain pendant l'optimum de la floraison et une coordination avec eux est indispensable pour organiser les vols. En effet le but est de survoler les secteurs avant et après leurs passages afin d'estimer la ressource disponible et cueillie. Au cours de l'année 2022, la coopération avec les cueilleurs a été exclusivement menée sur le terrain, perturbée par la floraison précoce de l'arnica. Une négociation a permis de dégager une zone où un vol de drone a pu s'effectuer avant qu'ils n'interviennent. Néanmoins, le vol après la cueillette n'a pas pu s'étendre sur

la même surface à cause de la continuité de leurs activités dans cette zone, comme le démontre la figure suivante (cf. figure 5).

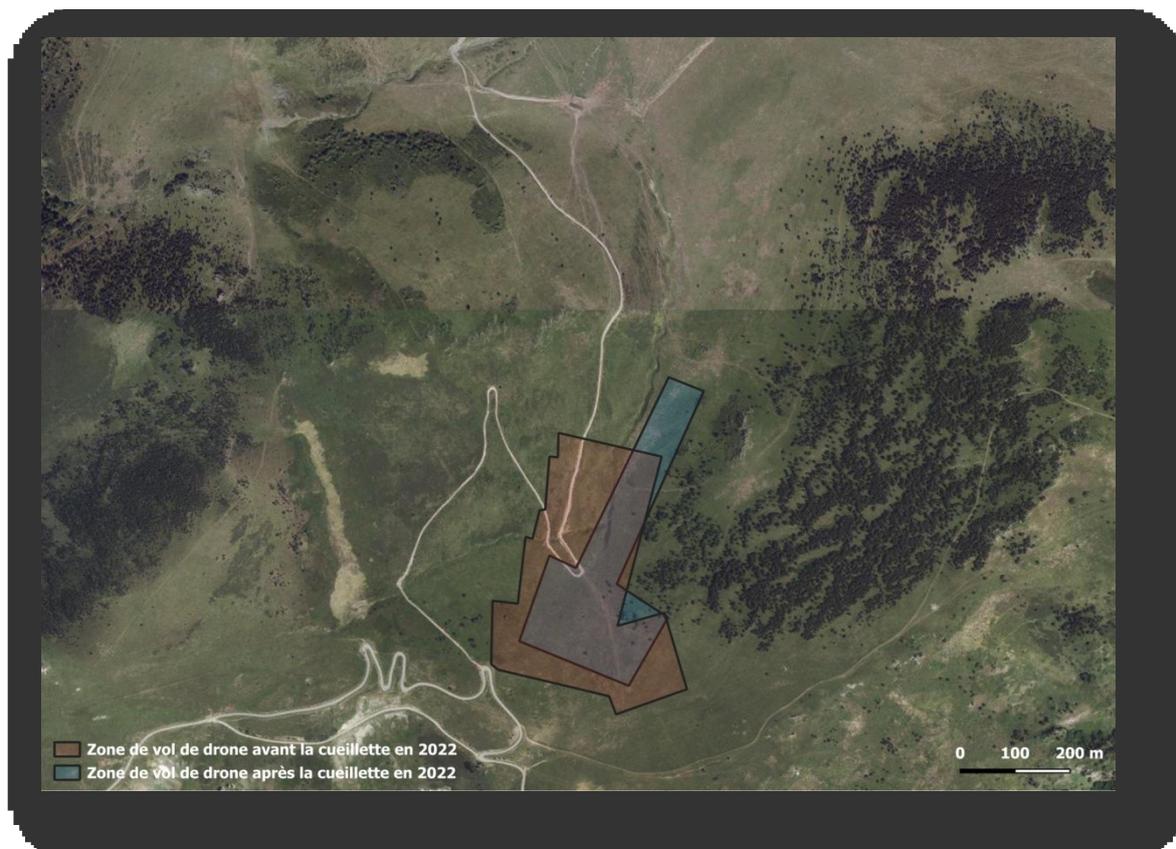


Figure 5 : Secteur de vol avant et après cueillette sur le site de « Merial »

En dépit de la prise en considération des trois facteurs mentionnés précédemment et des conclusions du programme PyCup, l'expérience accumulée dans PyCup+ sur une durée de deux ans (2022 et 2023) a mis en évidence que la période de floraison de l'arnica, qui change chaque année, reste un paramètre délicat à contrôler. Ce facteur constitue un frein à la planification des vols, des relevés de terrain et à la planification de cueillette. Comme l'a illustré l'évaluation des indicateurs (cf. partie IV-4), en 2023, il y a eu une confusion concernant la période de cueillette, qui n'a pas coïncidé avec le moment optimal de floraison. Malgré la difficulté de maîtriser ce facteur, le programme PyCup + a permis en 2023 de réaliser un survol de près de 30 hectares, tant avant qu'après la cueillette, sur le site « Merial ». Ce chiffre est en hausse depuis 2021, où seulement une dizaine d'hectares avaient été concernés.

Tableau 1 : Information sur les vols effectués sur le site de « Merial » en 2022 et 2023

Zone de vol	Année de vol	Superficie de la zone survolée (m ²) avant cueillette	Date du vol avant cueillette	Superficie de la zone survolée (m ²) après cueillette	Date du vol après cueillette	Résolution des images (cm)
Merial	2022	147082,8375	25/06/2022	88972,76515	28/06/2022	0,4
	2023	371886,1967	26/06/2023 27/06/2023 28/06/2023	325454,0073	04/07/2023 06/07/2023 07/07/2023	0,4

IV-2 Photogrammétrie

La hauteur de vol n'a pas dépassé 19 m et a permis d'avoir des orthophotos avec des résolutions d'environ 4 mm sur lesquelles le capitule de l'*Arnica montana* est détectable facilement à l'œil nu. La production des données d'apprentissage a été faite sans difficulté pour le capitule de l'*Arnica montana* malgré la présence d'autres espèces avec des inflorescences de même couleur. La distinction se fait grâce à sa forme en étoile avec plusieurs branches, ainsi que sa largeur qui dépasse les 5 cm en moyenne sur l'orthophoto.

Les vols ont eu lieu à des dates variées, et la technique de photogrammétrie a permis d'aligner les orthophotos prises à ces moments différents, dans le but d'étudier l'évolution des capitules d'arnica. La figure ci-après (cf. figure 6) illustre un extrait de deux orthophotos prises à des moments distincts dans le même endroit, où l'on observe la diminution des capitules après le passage des cueilleurs.

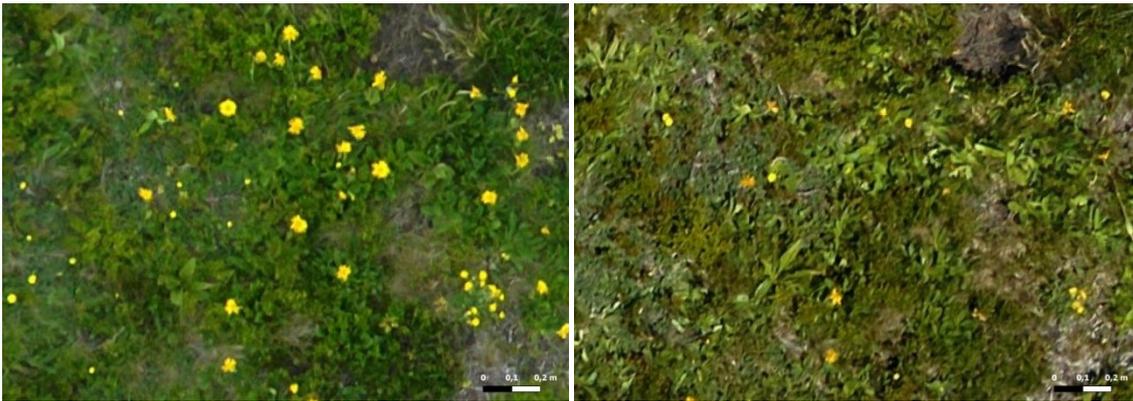


Figure 6 : Extrait de deux orthophotos prises à des moments distincts ; avant la cueillette photo à gauche et après cueillette photo de droite

Le seul souci noté sur les orthophotos concerne la présence de secteurs présentant une luminosité non-homogène, causée par les conditions climatiques au moment du vol, engendrant des alternances entre lumière et ombre. Ce problème pourrait compliquer le traitement par télédétection.

IV-3 Télédétection

La méthode de classification par segmentation a permis d'identifier les capitules d'*Arnica montana* en tant qu'entités distinctes, après plusieurs ajustements de paramètres. Cependant, cette approche nécessite des ressources informatiques considérables et demande beaucoup de temps. Pour réduire le temps de traitement, il a été décidé de se concentrer sur deux sites : « Merial » et « Merial témoin ». L'analyse se focalisera sur les zones couvertes par les vols réalisés en 2021, 2022 et 2023, produisant ainsi le secteur illustré dans la figure ci-dessous (cf. figure 7) sur le site de « Merial ».



Figure 7 : Zone de traitement par télédétection sur « Merial »

Tableau 2 : Tableau d'évaluation du résultat de télédétection sur le site de « Merial »

Relevés terrain					Estimation par télédétection			Evaluation		
Identifiant du relevé	Type de relevé	Année	Lieu	Nbr capitules cueillables	Nbr de vrai positif	Nbr de faux positif	Nbr de faux négatif	Precision	Recall	F-score ou F-Measure
T2	Transect	2022	Merial	57	45	7	9	0,8653846	0,83333333	0,8490566
Q2	Quadrat	2022	Merial	25	21	0	4	1	0,84	0,91304348
Q3	Quadrat	2023	Merial	4	3	0	1	1	0,75	0,85714286

Le tableau 2, qui présente un comparatif entre les relevés terrain et l'estimation par télédétection des capitules cueillables, montre que sur les 86 capitules observés sur le terrain, 69 ont été télédétections ce qui donne un pourcentage de réussite de presque 90 %. Ceci montre que la télédétection a permis de s'approcher de la réalité terrain pour estimer la densité.

Le calcul du nombre de centroïdes des capitules permet d'estimer le nombre de pieds d'*Arnica montana*. Néanmoins la segmentation peut produire des erreurs lorsque les capitules sont proches les uns des autres. La segmentation va alors considérer qu'il s'agit d'un seul capitule et par conséquent d'un seul pied alors qu'il peut s'agir de 3. Malgré ces erreurs le géotraitement a permis de cartographier la répartition spatiale de l'arnica sur une parcelle et d'avoir une tendance sur le nombre de pieds. L'illustration ci-dessous présente un exemple de résultat de télédétection, mettant en évidence la discrimination des centroïdes de capitules d'arnica sur trois années distinctes : 2021, 2022 et 2023. La figure ci-dessous (cf. figure 8) représente l'évolution de la répartition spatiale des

centroïdes des capitules sur le site de « Merial » sur trois ans. On constate que la figure de centre (2022) présente une densité plus importante que celle à gauche (2021) et à droite (2023). Cette différence de densité ne peut pas être expliquée pour le moment. Ce type de carte a l'avantage de voir la répartition spatiale de l'espèce de façon complètement différente de l'impression qu'il peut y avoir sur le terrain.



Figure 8 : discrimination des capitules d'arnica sur trois années distinctes : de gauche vers la droite 2021, 2022 et 2023 sur « Merial »

Les capitules identifiés grâce à la technique de télédétection permettront de générer des indicateurs détaillés dans la partie suivante.

IV-4 Indicateurs

La densité de la population est déterminée à partir du nombre de capitule télédétekté par maille de 1 m². Ce calcul est d'une importance capitale, car, en fonction des modalités de gestion d'un site, la récolte ne doit être effectuée que lorsque la densité des capitules exploitables atteint ou dépasse 5 capitule/m². Sur les sites « Merial » et « Merial témoin », cette évaluation, réalisée sur une période de trois ans de suivi, révèle qu'il n'existe que peu de mailles dépassant le seuil de 5 pieds, avec seulement 4 % en 2022 sur le site « Merial » (cf. figure 10). De même, sur le site « Merial témoin » (cf. figure 9), sans activité de récolte, seules 4 % des mailles affichent une densité supérieure à 5 capitules/m² en 2022. Les données des années 2021 et 2023 indiquent que la densité des capitules d'arnica présente une évolution en dents de scie sur les deux sites étudiés.

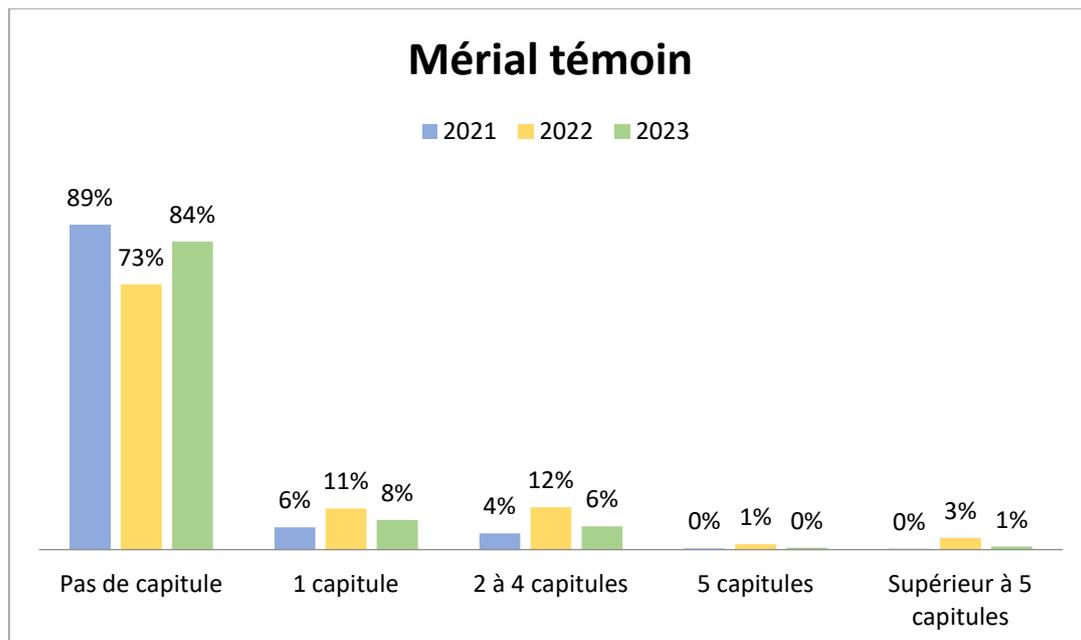


Figure 9 : Evolution de la répartition des mailles par classe de capitule au cours de trois années sur le site de « Merial témoin »

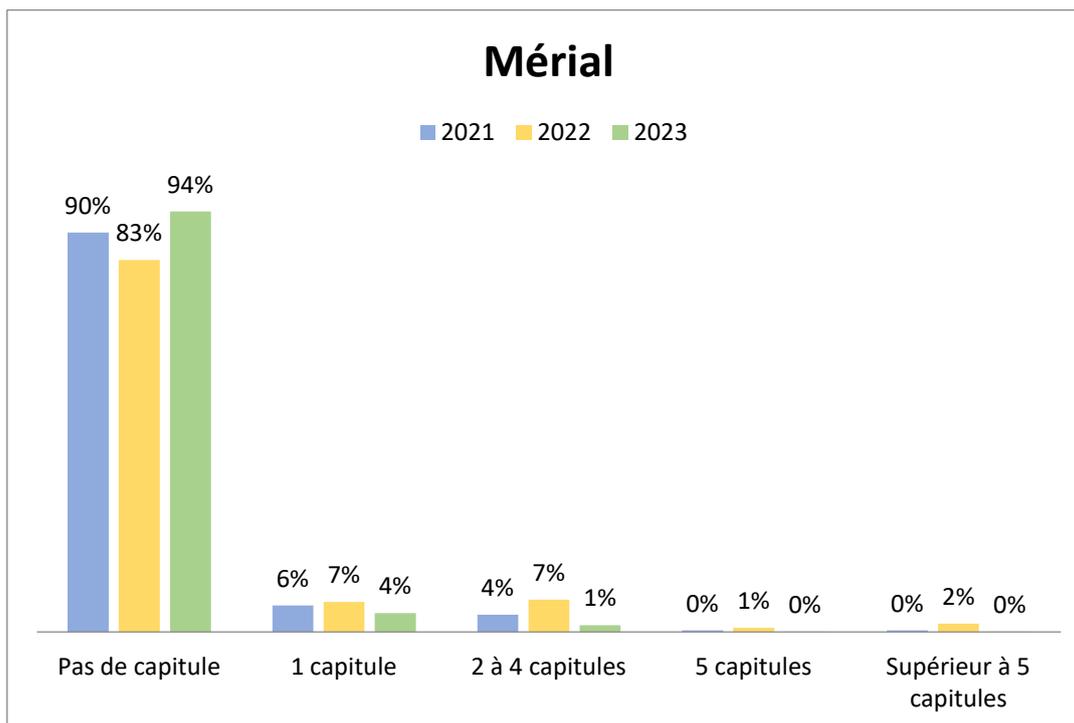


Figure 10 : Evolution de la répartition des mailles par classe de capitule au cours de trois années sur le site de « Mérial »

Le tableau ci-dessous (cf. tableau 3) illustre la variation en dents de scie constatée, en montrant l'évolution du nombre de capitules détectés ainsi que les moyennes correspondantes par m². Il est également à noter que la moyenne de la répartition des capitules est restée en dessous de 1 par m² au cours des trois dernières années de suivi.

Tableau 3 : Evolution de nombre capitule par m² sur les sites de « Mérial » et « Mérial témoin » au cours des années 2021, 2022 et 2023

Site	Année	Superficie analysée par la télédétection (en m ²)	Nb de capitules	Nb de capitules/m ² (sur la superficie analysée par télédétection)
Mérial témoin	2021	27528,77855	2597	0,09433764
Mérial témoin	2022	27528,77855	9447	0,34316815
Mérial témoin	2023	27528,77855	4134	0,150170121
Mérial	2021	35213,65398	11876	0,337255543
Mérial	2022	35213,65398	27282	0,774756292
Mérial	juin-23	35213,65398	4841	0,137475083
Mérial	juil-23	35213,65398	11669	0,331377142

Le tableau 3 indique également qu'en 2023, sur le site « Mérial », un vol a eu lieu avant la cueillette en juin et après en juillet. Malgré l'intervention des cueilleurs, le nombre de capitules a augmenté, entraînant une élévation de la moyenne de capitules par m². Cela est corroboré par la figure ci-dessous (cf. figure 11), qui illustre l'évolution des capitules selon les classes de maille.

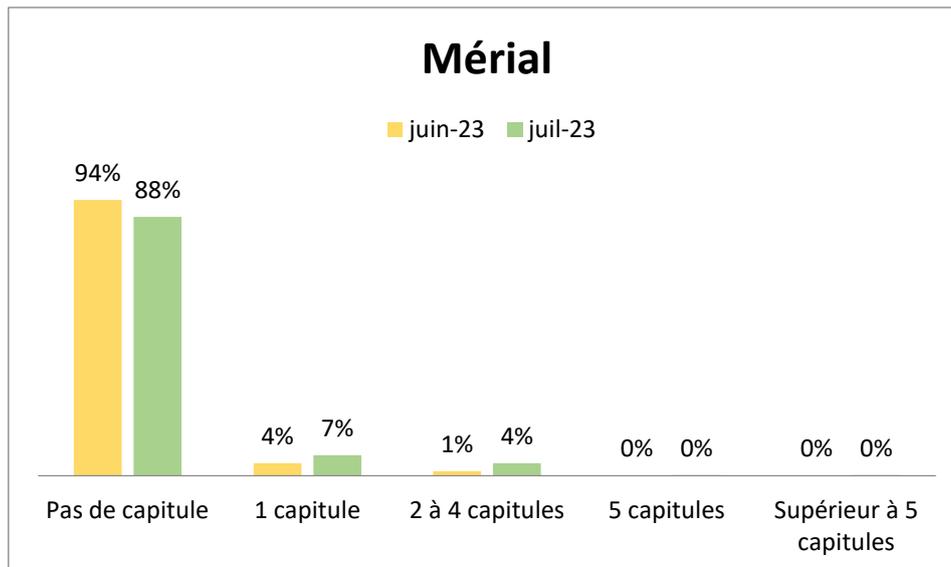


Figure 11 : Evolution de la répartition des mailles par classe de capitule avant (juin 2023) et après la cueillette (juillet 2023) sur le site de « Mérial »

Cela indique que, en 2023, les cueilleurs ont effectué leurs récoltes prématurément par rapport au moment idéal pour la cueillette.

En résumé, les indicateurs ont permis de tirer les constats suivants :

- La densité des capitules varie d'une année à l'autre.
- La date optimale de floraison diffère au fil des trois années observées.
- Les cueilleurs peuvent parfois commettre l'erreur de récolter avant d'atteindre le stade optimal de floraison.
- Une méconnaissance peut exister quant à la durée de la période optimale de floraison.

V CONCLUSION

Le programme PyCup+ a permis une collecte d'informations au cours de ces deux années d'études. Des vols ont été effectués avant et après les cueillettes, accompagnés de relevés de terrain. Cependant, le traitement des données exige des ressources informatiques considérables et du temps, ce qui a fait défaut dans ce projet. Néanmoins, certaines observations ont été réalisées concernant les analyses effectuées. Tout d'abord, la discrimination des capitules d'Arnica a montré de bons résultats en relation avec les relevés de terrain. Ces résultats encourageants peuvent renforcer les indicateurs tels que le nombre de capitules d'Arnica, leur moyenne par mètre carré, ainsi que leur répartition par maille. Les vols réalisés durant PyCup+, en incluant ceux de PyCup, ont mis en évidence des zones d'incertitude concernant l'étude des périodes de floraison de l'Arnica. Il reste à éclaircir le moment et la durée de cette floraison.

La hauteur de vol choisie n'a pas permis de couvrir l'intégralité de la zone d'étude dans le temps imparti, et malheureusement, il n'a pas été possible d'expérimenter une altitude de vol plus élevée qui aurait permis une couverture plus étendue pour évaluer si cela donne des résultats similaires en termes de précision.

Les méthodes de télédétection utilisées n'ont pas connu d'évolution significative depuis 2022 suite à PyCup. Il serait pertinent, dans les futurs programmes, de consacrer du temps à l'exploration d'autres méthodes de traitement afin d'identifier celles qui sont à la fois les plus précises et les plus efficaces. De plus, il est essentiel d'inclure d'autres techniques de traitement dans les prochaines initiatives, notamment celles concernant les produits en 3D issus de la photogrammétrie.

Les relevés de terrain, bien qu'adaptés pour déterminer le type de capitules détectés, ont révélé que leur efficacité dépendait largement de la personne réalisant la schématisation, ainsi que de la date de vol, qui correspond à un stade phénologique précis de l'arnica.

Il reste encore des travaux d'amélioration et des études approfondies à réaliser afin d'obtenir une analyse complète permettant de vérifier si le drone fournit des informations pertinentes pour l'étude de l'arnica, son évolution et l'impact de la cueillette, ce qui soutiendra le programme "Geste".

SIEGE & CORRESPONDANCE :

Vallon de Salut · BP 70315 · 65203 Bagnères-de-Bigorre Cedex

Tél : 05 62 95 85 30 • Mél : contact@cbnmp.fr

www.cbnmp.fr

