

## La flore protégée sous l'œil du drone : objectifs, résultats et perspectives

Garcia Jérôme <sup>1</sup>, Hamdi Anouar <sup>2</sup> et Cambecèdes Jocelyne <sup>3</sup>

<sup>1</sup> CBNPMP, 24 - avenue du 8 mai 1945 - 82160 Caylus. Email : [jerome.garcia@cbnmpmp.fr](mailto:jerome.garcia@cbnmpmp.fr)

<sup>2</sup> CBNPMP, Vallon de Salut - BP 70315 - 65203 Bagnères-de-Bigorre Cedex. Email : [anouar.hamdi@cbnmpmp.fr](mailto:anouar.hamdi@cbnmpmp.fr)

<sup>3</sup> CBNPMP, Vallon de Salut - BP 70315 - 65203 Bagnères-de-Bigorre Cedex. Email : [jocelyne.cambecedes@cbnmpmp.fr](mailto:jocelyne.cambecedes@cbnmpmp.fr)

**Mots clés** : drone, survol, image, suivi, Jacinthe de Rome, télédétection, traitement, UrbaFlore

### Résumé :

Le suivi floristique améliore nos connaissances et notre compréhension de la biologie et de l'évolution des populations de plantes. Réalisé au moyen de transects ou de quadrats, il s'appuie sur des protocoles de comptage d'individus ou d'estimation de leur recouvrement. Les nouvelles technologies ouvrent la voie vers de nouvelles perspectives d'évaluation. Dès 2021, un axe du programme UrbaFlore a porté sur l'étude de populations de sept plantes protégées au moyen d'un drone. La capacité de cette technologie à détecter et à discriminer l'espèce cible dans son habitat, à cartographier sa répartition spatiale, à évaluer ses effectifs, à étudier sa dynamique d'occupation de l'espace et de densité ont été étudiées. Le drone est ainsi envisagé comme complément de la collecte d'informations. La démarche suivie est présentée, les objectifs et résultats obtenus sont discutés pour porter un regard critique sur les perspectives d'utilisation du drone dans le cadre de suivis de flore.

## 1. Contexte et objectifs

### 1.1. Présentation

Depuis 2015, le programme UrbaFlore cherche à mobiliser tous les publics et à renforcer les réseaux de bénévoles d'associations naturalistes qui assurent une veille sur la flore remarquable des grandes aires urbaines de la Région ex Midi-Pyrénées. Les objectifs de cette veille sont notamment de cartographier leurs aires de présence, d'estimer l'évolution de leurs effectifs et d'apporter des éléments de connaissance sur leur capacité de résilience dans des contextes de perturbation.

L'évaluation de la biodiversité et de son évolution dans le temps est une préoccupation récurrente dans les axes du programme, qu'elle soit envisagée à une échelle très locale (parcelle, station d'espèce) ou plus large, par exemple à l'échelle d'un site. La situation n'est cependant pas toujours propice à une évaluation précise sur le terrain, que ce soit en raison du contexte environnemental, de nécessités de circulation ou d'accès, ou de conditions liées aux populations d'espèces. Différents cas de figures peuvent ainsi limiter la qualité des données relevées et l'analyse qui en découle. Dans la recherche d'une solution pour améliorer et consolider les données récoltées sur

le terrain, les apports de la télédétection par drone pour du suivi d'espèces, en complément de relevés exhaustifs et d'échantillonnages par transects et quadrats, sont explorés depuis 2021.

### 1.2. Objectifs visés

Pour le programme UrbaFlore, les attentes vis-à-vis de la télédétection par drone portent sur la cartographie de la répartition spatiale des individus d'une espèce cible, l'estimation des effectifs et des densités et le suivi dans le temps d'une même population. Les expérimentations conduites doivent permettre de cerner les gains en termes de résultats techniques et de temps apportés par l'utilisation d'images prises par drone, mais également de préciser les limites de cette technologie dans le cas des problématiques abordées.

L'évaluation des apports du drone s'est fondée sur les objectifs suivants :

1. Détecter l'espèce cible dans son habitat ;
2. Discriminer cette espèce des autres et de celles morphologiquement proches ;
3. Distinguer chaque élément fleuri de l'espèce cible ;
4. Evaluer les effectifs et/ou la surface occupée par l'espèce cible ;
5. Cartographier précisément sa répartition ;
6. Etudier sa dynamique d'occupation dans l'espace et le temps ;

7. Améliorer des protocoles d'échantillonnage.

Atteindre ces objectifs nécessite de pouvoir bien identifier les espèces cibles d'où la réalisation de survols au moment de l'optimum de floraison.

Il va de soi que si l'objectif 1 (puis 2, puis 3) n'est pas atteint, les objectifs suivants ne peuvent l'être. Il faut alors identifier les causes d'un premier échec et formuler des pistes d'amélioration pour aller plus loin.

## 2. Matériel et méthode

### 2.1. Choix des taxons et des sites d'étude

Avec 161 taxons et plus de 3900 populations à surveiller dans UrbaFlore, une sélection est nécessaire. Elle est établie selon les critères suivants pour les taxons : milieux ouverts, individus bien visibles (taille, couleur), en effectif important sur la station et ayant un caractère emblématique local ; pour les sites, il s'agira de retenir ceux qui présentent une facilité d'accès et de prise de contact avec les propriétaires et une problématique particulière de suivi (ex : étude de la capacité de résilience après dégradation, adaptation d'une population à un changement de gestion de l'habitat).

### 2.2. Présentation et utilisation du dispositif drone

Le drone utilisé est à rotors de type DJI M210 RTK v2 avec quatre hélices (Photo A). Il décolle et atterrit à la verticale. Pour acquérir les images, il est piloté par

l'intermédiaire d'un planificateur de vol. L'autonomie de vol est de 25 min en moyenne, en l'absence de brouillard, de précipitation et avec un vent à moins de 35 km/h. Une nacelle permet d'y accrocher un capteur d'acquisition d'images « RVB » (rouge, vert, 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 de 20 m au-dessus du sol. Le délai de capture entre deux images est de 2 secondes.



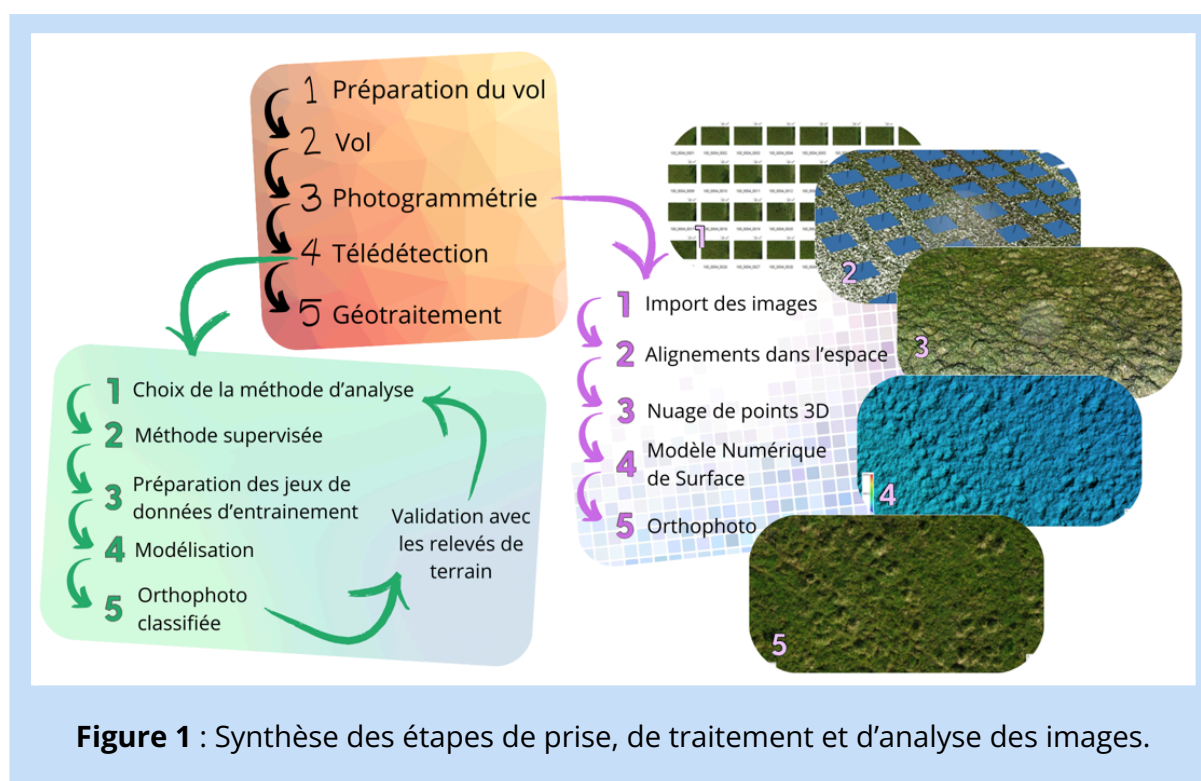
**Photo A :** Télépilote, console de vol et drone sur le terrain.

### 2.3. Organisation du vol

La réalisation d'un vol nécessite de vérifier auparavant si le secteur de vol se trouve dans une zone de restriction : zones urbaines, aérodomes, secteurs

d'entraînement militaire... Comme pour UrbaFlore la majorité des sites se trouvent dans ce type de zone, des autorisations administratives sont nécessaires. Elles ont été obtenues en amont du vol auprès de la préfecture, des propriétaires des parcelles et des gestionnaires des espaces aériens. Ces démarches sont chronophages et, dans certains cas, des contraintes sont imposées par les gestionnaires des espaces aériens. En l'air, le drone ne doit ni survoler des personnes, ni enregistrer des données personnelles. Pour identifier les limites physiques du vol (bâtiments, pylônes, voies rapides...), une étude des cartes topographiques de l'IGN est utile.

Plusieurs étapes se succèdent de la préparation du vol au géotraitement des images (Figure 1). Des tests sur le terrain permettent d'obtenir les paramètres de planification du vol, en particulier la hauteur de vol. La superficie de la zone à survoler peut être réajustée. Dès lors, le planificateur donne une estimation de la durée du vol et donc du nombre de batteries nécessaires. Selon l'autonomie, la superficie de la zone à survoler peut être réajustée.



**Figure 1** : Synthèse des étapes de prise, de traitement et d'analyse des images.

## 2.4. Traitement des images

Les images acquises au cours du vol sont traitées par **photogrammétrie**, pour obtenir une orthophoto. L'utilisation d'un logiciel dédié se fait alors par étapes : alignement des photos, création des nuages de points denses, création du maillage et de la texture, création d'un modèle numérique de surface et création d'une orthophoto qui peut être analysée par télédétection pour repérer les espèces cibles. L'analyse par **télédétection** s'appuie sur une méthode de classification supervisée et orientée « pixel » qui se déroule en deux temps : apprentissage et classification.

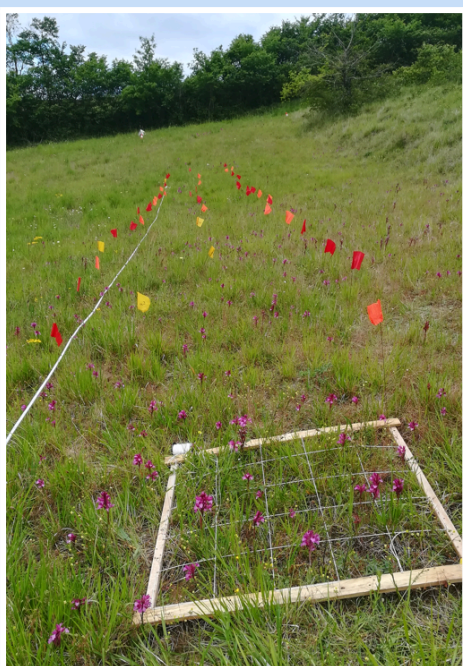
Les données d'apprentissage nécessaires pour les analyses par télédétection représentent des unités de végétations et/ou des espèces observées sur une orthophoto. Elles

doivent être exhaustives et bien réparties sur l'image. Pour constituer les données d'apprentissage, différentes sources d'information sont utilisées telles que l'interprétation à l'œil nu de l'orthophoto produite pendant la phase de photogrammétrie et les observations faites sur le terrain le jour du vol pouvant 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). Elles permettent de créer et de valider l'algorithme de classification et de valider le résultat de la classification avec une matrice de confusion. Les images classées présentent de nombreuses zones éparpillées et de petite taille. Ces zones sont constituées de pixels incorrectement classés. Pour remédier à ce problème, deux outils de



généralisation de raster sont utilisés pour lisser les bords des zones d'un raster. Une fois le nettoyage jugé satisfaisant, la phase de production d'indicateurs peut commencer.

Des **relevés de terrain** effectués le jour du vol permettent de valider les indicateurs résultant des géotraitements et de juger ainsi de la robustesse de la classification de l'image. Les protocoles de relevé terrain ont notamment consisté à poser 3 quadrats de 1x1m, divisés en mailles de 10x10cm, et une bande de 20x2 m (Photo B). Les éléments fleuris sont repérés, comptés et leur état phénologique, précisé. La zone survolée inclut ces dispositifs.



**Photo B :** Quadrat d'1 m<sup>2</sup> et bande de relevé installé sur un site à Orchis papillon.

### 3. Résultats

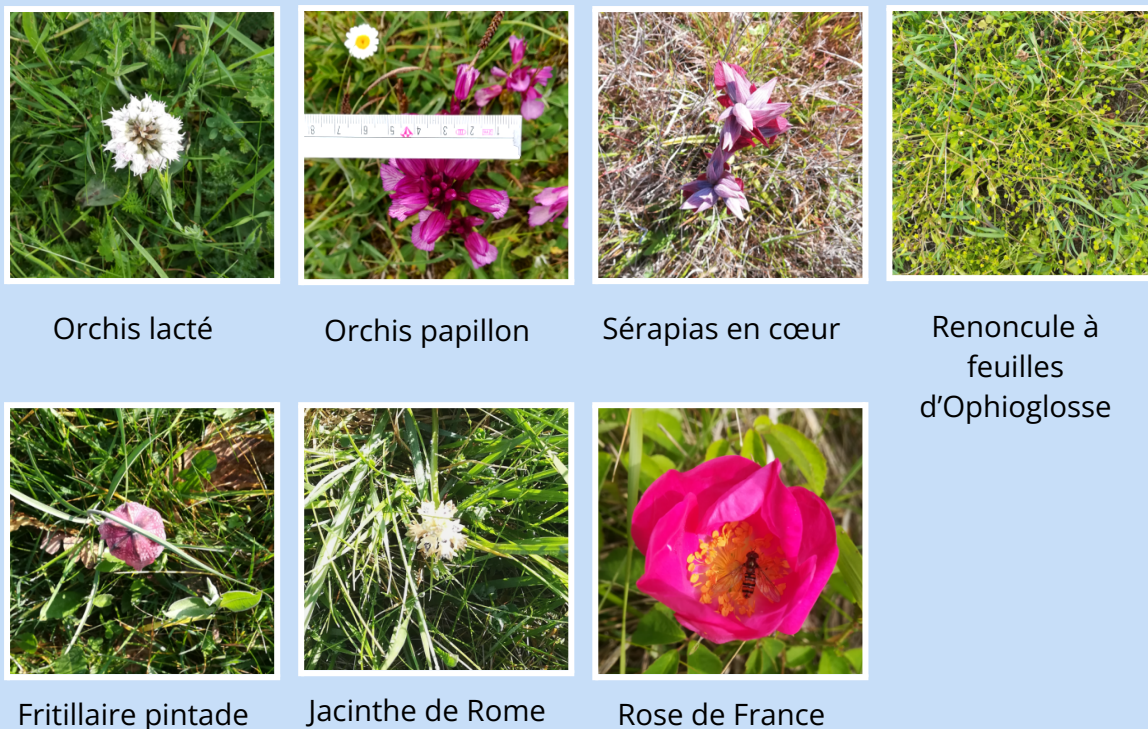
#### 3.1. Taxons et sites à survoler sélectionnés

Sept espèces protégées (Figure 2) et 14 sites ont permis de répondre aux critères établis :

- *Anacamptis papilionacea* – Orchis papillon : 1 site
- *Bellevalia romana* – Jacinthe de Rome : 3 sites
- *Fritillaria meleagris* – Fritillaire pintade : 2 sites
- *Neotinea lactea* – Orchis lacté : 2 sites
- *Ranunculus ophioglossifolius* – Renoncule à feuilles d'Ophioglosse : 2 sites
- *Rosa gallica* – Rose de France : 2 sites
- *Serapias cordigera* – Sérapias en cœur : 2 sites

Ces taxons font partie des 12 les plus représentés en nombre de stations à surveiller. Ils sont également les plus concernés par des impacts liés à un changement d'usage des sols (embroussaillage, mise en culture, travaux de bord de voirie, urbanisation, etc.).

Si l'ensemble des sites a fait l'objet d'un survol et d'une analyse, le cas de la Jacinthe de Rome a permis non seulement d'identifier l'espèce et de distinguer ses éléments fleuris, mais aussi de poursuivre les analyses pour disposer de données sur les effectifs et la répartition de l'espèce. Ce taxon est ainsi le fil conducteur de l'étude présentée.



**Figure 2 :** Vue de dessus des taxons sélectionnés pour une étude avec le drone.

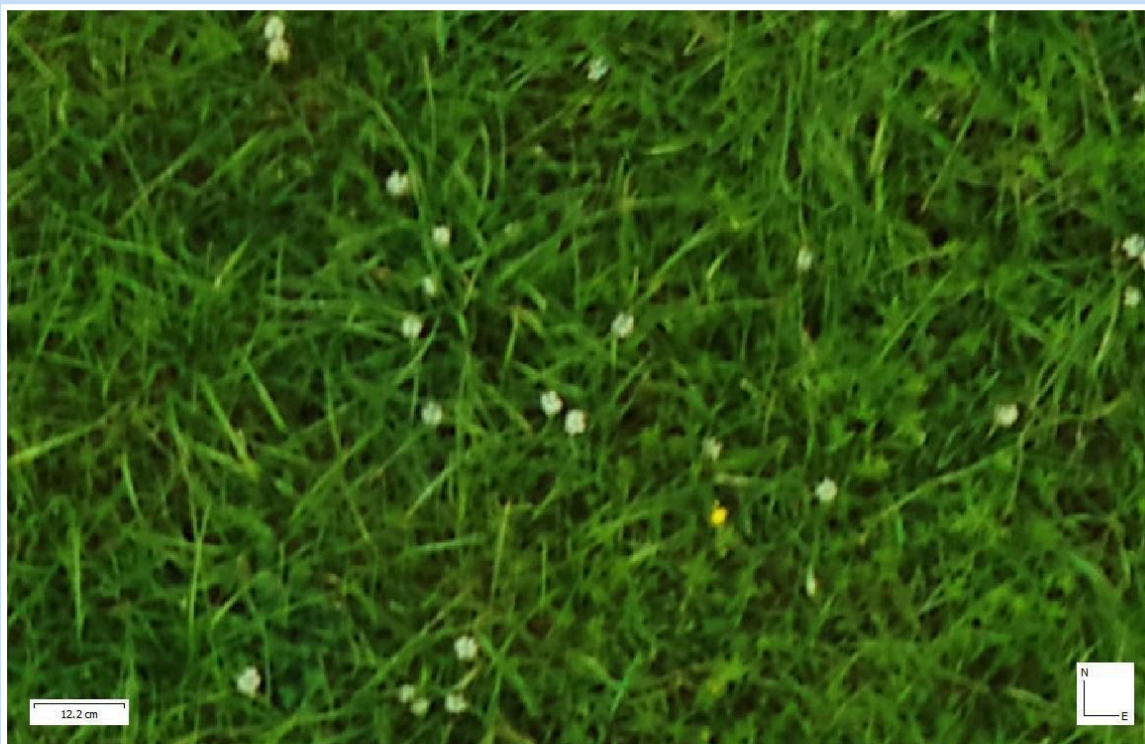
### 3.2. Résultats du vol et du traitement des images

Les tests effectués sur le terrain ont permis de fixer le vol à 20 m de hauteur pour les capteurs. Elle correspond au meilleur compromis entre la surface couverte et la résolution des photos pour identifier les taxons sur les prises de vue et les orthophotos. La résolution est ainsi de 2,2 mm pour le capteur « RVB ».

Le traitement par **photogrammétrie** a permis d'obtenir des orthophotos de qualités variables d'un site à l'autre et d'un vol à un autre qui s'expliquent par des conditions climatiques,

phénologiques et techniques diverses. Pour la Jacinthe de Rome, la photogrammétrie a permis d'atteindre l'objectif de détection du taxon dans son habitat (Figure 3).

Les analyses par **télédétection**, étape chronophage, ont été satisfaisantes uniquement sur les sites à Jacinthe de Rome et Orchis papillon pour lesquels les orthophotos ont été jugées de bonne qualité. Les images de télédétection (Figure 4a) permettent de répondre aux objectifs de cartographie de la répartition spatiale et de l'évaluation des effectifs et/ou de la surface occupée par le taxon ciblé.



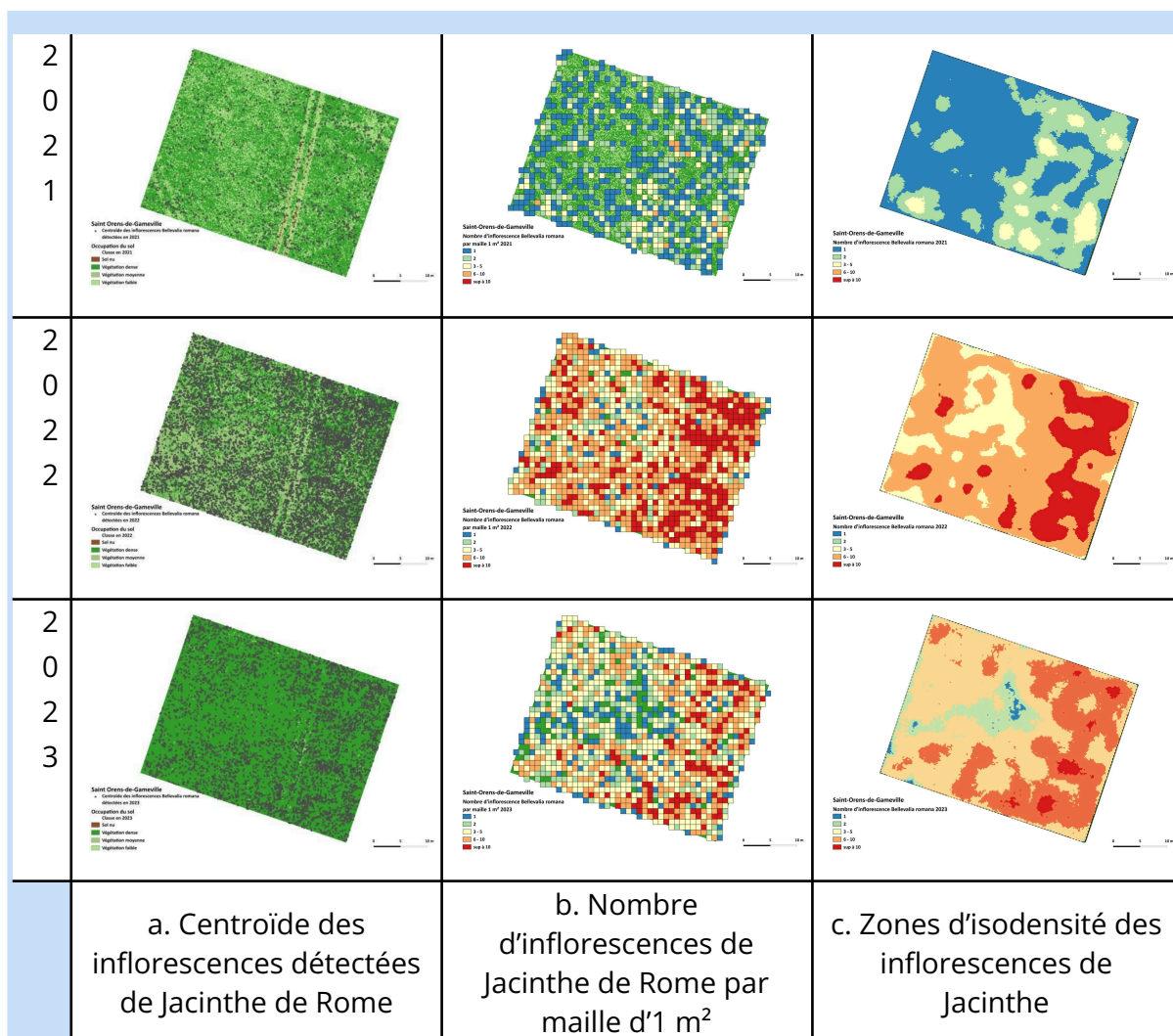
**Figure 3 :** Image de résolution 2,2 mm, obtenue par photogrammétrie permettant de détecter les inflorescences (masses de couleur crème) de Jacinthe de Rome.

Les images obtenues par **géotraitement** permettent de répondre aux objectifs d'étude de la dynamique d'occupation spatio-temporelle du taxon et d'amélioration des protocoles d'échantillonnage. En effet, à partir des résultats du géotraitement (Figure 4b & 4c), des protocoles d'échantillonnage aléatoire simple ou régulier, faisant varier le nombre de quadrats de suivi d'1 m<sup>2</sup> et le nombre de répétitions, ont été testés. Sur le site ciblé, le choix d'un échantillonnage efficace (nombre de quadrats minimum et marge d'erreur

faible) a permis d'identifier que 9 quadrats d'1 m<sup>2</sup> espacés de 12 m les uns des autres étaient suffisants. Des productions spécifiques ultérieures viendront compléter ce point. Ces premiers résultats encourageants ouvrent des pistes d'analyse équivalente pour l'Orchis papillon.

L'analyse des images prises par drone a été réalisée pour l'ensemble des taxons ciblés. La synthèse des résultats, en l'état d'avancement de nos études, est indiquée Figure 5.





**Figure 4** : Images obtenues par photogrammétrie (a) et géotraitement (b et c) ciblant les inflorescences de Jacinthe de Rome en 2021, 2022 et 2023.

#### 4. Discussion et perspectives

Le drone est expérimenté dans la perspective de compléter, vérifier ou remplacer la perception visuelle d'un observateur qui doit parcourir une surface donnée et de retranscrire une réalité de terrain (état du milieu, du cortège d'espèces ou d'individus). Cet outil permet l'exhaustivité, la fiabilité, la reproductibilité et l'exploitabilité des données acquises efficacement dans l'espace (occupation) et le temps (dynamique).

Si les résultats restent encore mitigés pour certains taxons ou nécessitent un approfondissement des études, ces premières années d'expérimentation ouvrent des perspectives intéressantes d'exploitation des images prises par le drone.

Sont d'ores et déjà identifiées certaines pistes d'amélioration (Figure 6) qui ne cessent de perfectionner la méthode et l'expérience de l'utilisation de l'outil drone et du traitement d'images qui en découle.



Taxon ciblé	Objectifs			Suggestions d'amélioration
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Détecter le taxon dans son habitat</li> <li>Distinguer chaque élément fleuri</li> <li>Cartographier la répartition spatiale du taxon</li> <li>Evaluer l'effectif et/ou la surface occupée par le taxon</li> <li>Cartographier précisément la répartition du taxon</li> </ul>	Discriminer le taxon des autres et de ceux morphologiquement proches	Etudier la dynamique d'occupation du taxon dans l'espace et le temps	
<i>Anacamptis papilionacea</i>	Résultats concluants	Sans objet	Sans objet	
<i>Bellevalia romana</i>	Résultats concluants	Sans objet	Résultats concluants	Plusieurs survols à prévoir en période de floraison
<i>Fritillaria meleagris</i>	Résultats moyens	Sans objet	Sans objet	Vol à renouveler à l'optimum de floraison
<i>Neotinea lactea</i>	Résultats non concluants, taxon peu dense et peu identifiable dans la végétation haute	Sans objet	Résultats non concluants	Vol à renouveler à l'optimum de floraison et avec un effectif plus important
<i>Ranunculus ophioglossifolius</i>	Résultats moyens		Sans objet	Complément d'étude terrain nécessaire
<i>Rosa gallica</i>	Résultats moyens : non concluants pour identifier le feuillage mais concluants pour les fleurs		Sans objet	Plusieurs survols à prévoir selon l'état phénologique (jeunes feuilles, floraison, feuillage automnal)
<i>Serapias cordigera</i>	Souci de réglage du triangle d'exposition du capteur RVB pour capter la couleur de l'inflorescence par rapport à son environnement		Sans objet	Analyses par télédétection non abouties car intensité lumineuse trop importante sur l'orthophoto

**Figure 5 :** Synthèse des résultats de télédétection pour les taxons étudiés.

Paramètres	Facteurs à considérer pour la photogrammétrie
<b>Météo</b>	<p>Voler avec une luminosité stable pour limiter des variations de couleurs qui complexifient la phase de télédétection. Avec le vent, les végétaux bougent produisant des images floues et des artefacts diminuant la qualité de l'orthophoto et de la télédétection.</p> <p>Réaliser des tests de paramétrage du triangle d'exposition du capteur RVB permet de mieux prendre en compte les conditions climatiques (vent, humidité) et luminosité, la couleur des fleurs du taxon cible (surtout si elle est blanche) et son environnement</p>
<b>Horaire</b>	Un vol entre 10h et 15h évite les ombres portées et les vents thermiques associés à la taille de l'espèce cible et à la végétation proche. Cet horaire varie cependant selon les saisons et l'habitat.
<b>Environnement</b>	Les lignes électriques, les arbres ou les routes peuvent limiter la surface couverte de vol et/ou la résolution souhaitée. L'incursion de randonneurs ou d'aéronefs à proximité de la zone de vol peut contraindre le vol.
<b>Réglementation espace aérien</b>	La proximité d'aérodromes ou d'aéroports, les espaces urbanisés et le dépassement de plafond aérien nécessitent respectivement l'autorisation du gestionnaire, une déclaration préalable et une autorisation à la préfecture du département.
<b>Type de capteur</b>	Le type de capteur choisi, qui peut jouer un rôle clé dans la réussite du vol, notamment en fonction de sa résolution spatiale et spectrale, ainsi que le temps de prise d'image qui permet de couvrir de grande surface. Le type de drone utilisé et son autonomie ont également leur importance.
<b>Données de terrain</b>	L'acquisition de données de terrain est indispensable pour disposer de données d'apprentissage et de validation de qualité pour les étapes de télédétection. Elle peut s'appuyer sur des dispositifs de suivi installés <i>in situ</i> et visibles sur les images, et sur lesquels sera notamment notée la position des pieds de l'espèce cible.
<b>Biologie et habitat</b>	<p>Plus l'espèce cible est de couleur ou d'aspect distinct de son environnement, plus il sera facile de l'observer. Une floraison optimale et des inflorescences denses permettent de mieux observer l'espèce. Sa phénologie est à prendre en compte selon la saison.</p> <p>L'espèce cible dépassant rarement 5 à 15 cm de haut, une résolution très fine (1 pixel = 0,22 cm à 0,6 cm) est nécessaire à une hauteur de vol de 20 à 30 m avec les capteurs actuels.</p> <p>Une végétation qui dépasse la hauteur de l'espèce cible et la présence de fleurs aux couleurs proches de cette espèce peuvent rendre difficile sa détection.</p>

**Figure 6** : Bilan des résultats des expérimentations réalisées avec le drone.