

## 6.4 Azuré des mouillères (*Phengaris alcon*)

**Auteur : Sandy Bulté, Contributeurs : Fanny Mallard, Pierre-Yves Gourvil,  
David Soulet**

*Phengaris alcon* écotype « alcon » possède un cycle de vie complexe qui dépend à la fois de la présence d'une plante-hôte, *Gentiana pneumonanthe*, et de fourmis-hôtes, *Myrmica scabrinodis*, *M. ruginodis* ou *M. rubra*, qui sont nécessaire au développement de la chenille. La survie de *P. alcon* va donc dépendre d'un fragile équilibre entre l'évolution de la végétation et de la présence de ses deux hôtes. Face au réchauffement climatique, ce fragile équilibre pourrait être impacté. En effet, une désynchronisation entre la période de vol des imagos et la période de floraison de *G. pneumonanthe* pourrait entraîner des effets négatifs sur les populations de *P. alcon* (MALLARD, 2016a).

L'hypothèse est que, face à un réchauffement climatique (températures plus élevées au printemps, sécheresses précoces), la floraison de *G. pneumonanthe* pourrait être décalée. Ce décalage serait variable selon la zone géographique et le contexte (montagne/plaine) et entraînerait ainsi des impacts qualitatifs (date de ponte, positionnement des œufs sur la plante hôte) et quantitatifs (nombre d'œufs pondus) sur les populations de *Phengaris alcon*.

L'objectif global de l'étude est, à terme, de déterminer les impacts potentiels du changement climatique sur la phénologie de *G. pneumonanthe* et d'en évaluer les conséquences sur les populations de *P. alcon*. En 2018, les objectifs étaient de mettre en place les premiers suivis sur l'ensemble des sites selon la méthode de suivi choisie en 2017 et d'en analyser les premiers résultats afin notamment de mettre en évidence les paramètres à prendre en compte pour étudier les effets du changement climatique sur ces deux modèles biologiques.

### 6.4.1 Complément au matériel et méthodes

#### • Sélection des sites

Les sites ont été sélectionnés en fonction de la répartition de *Phengaris alcon* en Nouvelle-Aquitaine, selon la présence de populations importantes sur des habitats à forte densité de *G. pneumonanthe* et d'une répartition spatialement équilibrée en Nouvelle-Aquitaine. La maîtrise foncière est également un élément fondamental à prendre en compte afin d'assurer la pérennité des suivis dans le temps.

En 2017, certains sites étaient en cours de validation pour diverses raisons :

- « Lande de Pouchau » : en raison d'une animation foncière infructueuse en 2017, une nouvelle animation a été réalisée en 2018 et a permis de valider ce site.
- « Camp de Captieux » : en raison des difficultés d'accès à la suite d'un incendie sur le site en 2017, celui-ci avait été remplacé par un autre site (« Carrière de Lafarge ») qui a finalement été abandonné en raison des trop faibles populations de *G. pneumonanthe* et d'Azuré des mouillères. En 2018, l'accès au camp de captieux a pu se réaliser et une convention de partenariat a été signée avec l'ONF pour les prochaines années de suivis.

La validation du site « Champ de tir de Souge » est actuellement en attente suite au non renouvellement de la convention de partenariat entre le CEN Aquitaine et le camp militaire de Souge.

Le nombre de sites suivis étant assez faible, de nouvelles prospections ont été réalisées durant l'été 2018, notamment dans les Pyrénées-Atlantiques et en Haute-Vienne, afin de sélectionner de nouveaux sites. Ce sont donc trois sites potentiels qui ont été visités :

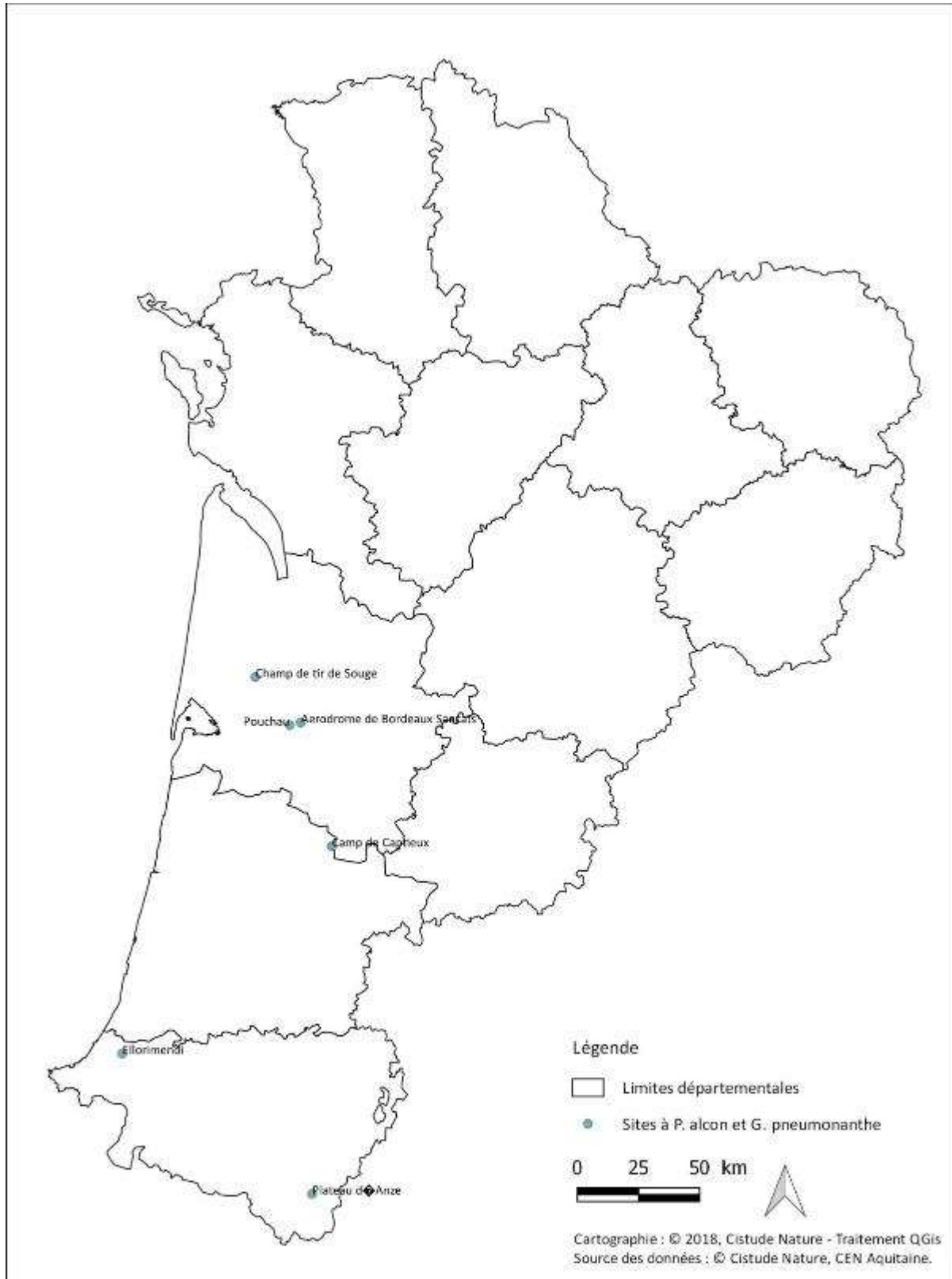
- « Tardets » (64) : 143 pieds de *G. pneumonanthe* et 571 œufs ont été recensés sur ce site. Cependant, en raison de difficultés de dialogue avec le propriétaire mais également de la dispersion des pieds de *G. pneumonanthe* avec des pontes sur le site, il n'a pas été retenu.
- « Hélette » (64) : 62 pieds de *G. pneumonanthe* et 113 œufs ont été recensés sur ce site. Le trop faible nombre de pieds avec pontes et la dispersion des pieds de *G. pneumonanthe* ne permettent également pas de retenir ce site.
- « Lande de la Flotte et du Cluzeau » (87) : en raison d'un nombre de pieds de *G. pneumonanthe* trop faible, ce site n'a pas été retenu.

• Description des sites choisis

Au total, ce sont donc 5 sites de landes humides qui sont validés pour les suivis Azuré des mouillères et *G. pneumonanthe* (2 en Gironde, 1 à la limite de la Gironde et des Landes, 2 dans les Pyrénées-Atlantiques) (Fig. 248, Tab. LXII).

**Tab. LXII.** Caractéristiques des nouveaux sites validés en 2018 dans le cadre du suivi de *P. alcon* et de *G. pneumonanthe*.

Commune	Nom du site	Superficie (ha)	Statut	Propriétaire/ Gestionnaire	Accord	Structure en charge des suivis	Observateurs	Latitude	Longitude
Saucats	Pouchau	1.67 ha	/	Privé/RTE - CEN Aquitaine	Oui	Cistude Nature	Sandy Bulté	████████	████████
Callen	Camp de Captieux	20 ha	Natura 2000	Camp militaire/ONF	Oui	Cistude Nature	Sandy Bulté	████████	████████



Sites validés pour les suivis de *Phengaris alcon* et *Gentiana pneumonanthe*.

Fig. 248. Situation géographique des sites d'études validés et en attente de validation pour les suivis de *P. alcon* et de *G. pneumonanthe*.

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

- **Comptage de *G. pneumonanthe***

Le recensement de *G. pneumonanthe* consiste à pointer au GPS (précision de 3 m) tous les pieds de *G. pneumonanthe* en parcourant l'ensemble des zones favorables à *G. pneumonanthe* par bande de deux mètres. Ce recensement est effectué tous les deux ans sur chaque site afin d'évaluer l'évolution de la répartition spatiale de *G. pneumonanthe*.

En 2018, le comptage de *G. pneumonanthe* a été réalisé sur les sites suivants :

- Plateau d'Anzé : comptage des pieds ;
    - Ellorimendi : comptage des hampes florales ; à noter qu'en 2016, le comptage n'était que partiel ;
    - Aéroport de Bordeaux–Mérignac : comptage des pieds.

Le site « Camp de Captieux » n'a pas pu bénéficier de comptage en 2018 car ce site est soumis à des restrictions d'accès ce qui n'ont pas permis la réalisation du comptage. Il en est de même pour le site « Champ de tir de Souge ». Quant au site « Pouchau », il bénéficiera d'un comptage en 2019 puisque le premier comptage a eu lieu en 2017.

- **Suivis de *G. pneumonanthe* et des pontes de *P. alcon***

En 2017, deux méthodes avaient été testées afin de choisir la plus pertinente pour suivre l'évolution de la phénologie de *G. pneumonanthe* et des pontes de *P. alcon*. La méthode qui a été retenue est celle des quadrats permanents de 100m<sup>2</sup> (MALLARD, 2017b).

Pour chaque site, deux quadrats de 100m<sup>2</sup> ont été sélectionnés parmi les zones à plus forte densité en *G. pneumonanthe* (Tab. LXIII) (MALLARD, 2017b). La méthode de sélection des quadrats diffère selon les sites :

- Aéroport de Bordeaux–Mérignac : les deux quadrats sélectionnés sont parmi ceux qui avaient été tirés au sort en 2017 et qui avaient bénéficié d'un suivi régulier (quadrats à plus forte densité de *G. pneumonanthe* et d'œufs, Annexe 9) (MALLARD, 2017b).
    - Pouchau : les deux quadrats ont été tirés au sort parmi ceux à forte densité de *G. pneumonanthe* (Annexe 9) (MALLARD, 2017b).
    - Plateau d'Anzé : un nouveau tirage au sort a été effectué pour les deux quadrats (Annexe 9) (MALLARD, 2017b).
    - Ellorimendi : le quadrat échantillonné en 2017 sera de nouveau échantillonné en 2019 et le quadrat 2018 a été placé de façon arbitraire sur une zone connue à forte densité de *G. pneumonanthe* et d'œufs d'Azuré des mouillères (Annexe 9) (MALLARD, 2017b).
    - Camp de Captieux, la zone d'accès autorisée étant restreinte, un seul quadrat a été positionné. Son positionnement s'est en partie appuyé sur les points GPS de dénombrement des pieds de *G. pneumonanthe* de 2016. La zone à forte densité de *G. pneumonanthe* a donc été repérée sur le terrain et le quadrat a ensuite été positionné de façon arbitraire, orienté nord-sud (Annexe 9).
    - Champ de tir de Souge : les quadrats n'ont pas encore été sélectionnés.

Les quadrats de 100m<sup>2</sup>, dispositifs permanents, ont été matérialisés à l'aide de tiges métalliques enfoncées dans le sol ce qui permet de retrouver les quadrats d'année en année à l'aide d'un détecteur de métaux.

Tab. LXIII. Caractéristiques des quadrats de suivis de *Phengaris alcon* et *Gentiana pneumonanthe*.

Dép.	Nom du site	Dénom. transect	Surface (en m <sup>2</sup> )	Altitude (en m)	Latitude pt NO	Longitude pt NO	Latitude pt SO	Longitude pt SO	Latitude pt SE	Longitude pt SE	Latitude pt NE	Longitude pt NE
33	Aérodrome de Bordeaux Saucats	Q1	100	54	██████	██████	██████	██████	██████	██████	██████	██████
33	Aérodrome de Bordeaux Saucats	Q2	100	54	██████	██████	██████	██████	██████	██████	██████	██████
33	Pouchau	Q1	100	61	██████	██████	██████	██████	██████	██████	██████	██████
33	Pouchau	Q2	100	61	██████	██████	██████	██████	██████	██████	██████	██████
33	Champ de tir de Souge	Q1	100	NC	█	█	█	█	█	█	█	█
33	Champ de tir de Souge	Q2	100	NC	█	█	█	█	█	█	█	█
33/40	Camp de Captieux	Q1	100	11	██████	██████	██████	██████	██████	██████	██████	██████
64	Plateau d'Anzé	Q1	100	840	██████	██████	██████	██████	██████	██████	██████	██████
64	Plateau d'Anzé	Q2	100	840	██████	██████	██████	██████	██████	██████	██████	██████
64	Ellorimendi	Q1	100	146	██████	██████	██████	██████	██████	██████	██████	██████
64	Ellorimendi	Q2	100	146	██████	██████	██████	██████	██████	██████	██████	██████

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

Pour chaque quadrat et chaque pied de *G. pneumonanthe*, la phénologie de chaque hampe associée au pied est notée ainsi que le nombre d'œufs de *P. alcon* en fonction du positionnement sur la plante (bourgeons ou fleurs sans distinction du calice et de la corolle, tiges, feuilles).

Chaque quadrat de 100m<sup>2</sup> est divisé en quadrats de 4m<sup>2</sup> (Fig. 249) afin de faciliter le comptage de *G. pneumonanthe* et d'éviter un éventuel décalage et donc le comptage à plusieurs reprises d'une même gentiane.

Lors de la période des suivis, les quadrats de 100m<sup>2</sup> sont matérialisés à l'aide de piquets et de cordes. Les quadrats de 4m<sup>2</sup> sont matérialisés à l'aide de cordes, de tasseaux en bois ou de tuyaux en pvc.



Fig. 249. Illustration de la méthode de relevé pour les suivis de *P. alcon* et de *G. pneumonanthe*. © Kévin Romeyer.

- **Conditions météorologiques requises**

Ce suivi ne nécessite pas de conditions météorologiques spécifiques.

- Nombre de campagne de relevés

La fréquence de suivi est d'une fois par semaine pendant toute la durée de la campagne, allant de la semaine avant la date de première floraison de *G. pneumonanthe* connue sur chaque site jusqu'à la fin de vol de l'imago. Cette fréquence est établie selon le suivi phénologique de *G. pneumonanthe* et avec les autorisations d'accès sur les différents sites, notamment les camps militaires.

Le nombre de passages est variable selon les sites (Tab. LXIV). Les sites « Plateau d'Anzé », « Ellorimendi », « Aérodrome de Bordeaux-Saucats » et « Pouchau » ont tous bénéficié de suivis réguliers (1 passage par semaine) alors que le site « Camp de Captieux » n'a bénéficié que de 4 suivis, dû à la restriction d'accès au camp militaire. Suite au non renouvellement de la convention de partenariat entre le CEN Aquitaine et le camp militaire de Souge, une restriction d'accès au camp militaire n'a pas permis la réalisation des suivis pour 2018.

Le nombre de passages pouvant être important pour certains sites, afin de limiter les effets du piétinement, les suivis sont réalisés, de façon rotatoire, sur les deux quadrats permanents. Cela signifie qu'un quadrat sera suivi une année sur deux (Fig. 250).

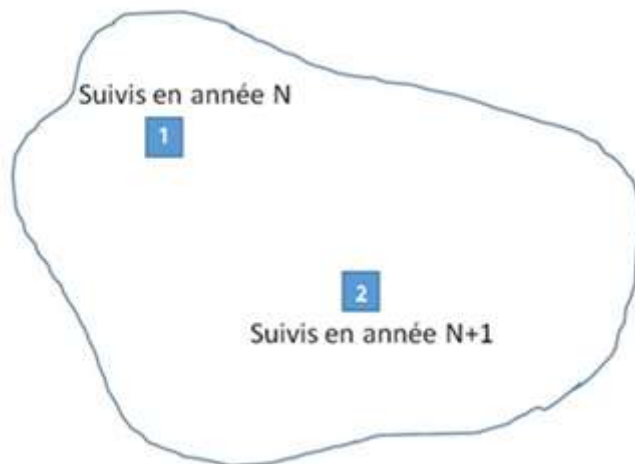


Fig. 250. Illustration du système rotatoire pour les suivis de *P. alcon* et de *G. pneumonanthe*.

Tab. LXIV. Dates des suivis de *P. alcon* et *G. pneumonanthe* 2017, 2018 par la méthode des quadrats de 100m<sup>2</sup>.

2017											
Site Aéroport Bordeaux-Saucats	Observateurs	Site Pouchau	Observateurs	Site Camp de Captieux	Observateurs	Site Champ de tir de Souge	Observateurs	Site Ellorimendi	Observateurs	Site Plateau d'Anzé	Observateurs
11/08/2017	Sandy Bulté	pas de suivi		pas de suivi		pas de suivi		23/06/2017	Nicolas Déjean	22/07/2017	Pierre-Yves Gourvil
25/08/2017	S. Bulté							30/06/2017		27/07/2017	
01/09/2017	S. Bulté							05/07/2017		03/08/2017	
08/09/2017	S. Bulté ; Kevin Romeyer ; Hélène							12/07/2017		10/08/2017	
								19/07/2017		18/08/2017	
								26/07/2017		25/08/2017	
								01/08/2017			
								11/08/2017			
								17/08/2017			
								23/08/2017			





les sentinelles du climat

2018											
Site Aéroport Bordeaux-Saucats	Observateurs	Site Pouchau	Observateurs	Site Camp de Captieux	Observateurs	Site Champ de tir de Souge	Observateurs	Site Ellorimendi	Observateurs	Site Plateau d'Anzé	Observateurs
30/07/2018	S. Bulté ; J. Poujol	30/07/2018	S. Bulté ; J. Poujol	17/07/2018	S. Bulté ; J. Poujol	Pas de suivi		19/06/2018	N. Déjean	18/07/2018	P.Y. Gourvil ; Mathilde Poussin
06/08/2018	S. Bulté ; J. Poujol	06/08/2018	S. Bulté ; J. Poujol	31/07/2018	S. Bulté ; J. Poujol ; Fanny Mallard			25/06/2018	N. Déjean	26/07/2018	P.Y. Gourvil
13/08/2018	S. Bulté ; Corentin Larquier	13/08/2018	S. Bulté ; C. Larquier	17/08/2018	S. Bulté ; J. Poujol			03/07/2018	N. Déjean	02/08/2018	M. Poussin
20/08/2018	S. Bulté ; J. Poujol	20/08/2018	S. Bulté ; J. Poujol	31/08/2018	S. Bulté ; J. Poujol ; Paul Haettel ; Paul Tourneur			13/07/2018	N. Déjean ; Mathieu SEMERY	10/08/2018	M. Poussin
27/08/2018	S. Bulté ; J. Poujol	27/08/2018	S. Bulté ; J. Poujol					23/07/2018	N. Déjean ; M. SEMERY	14/08/2018	M. Poussin
03/09/2018	S. Bulté ; J. Poujol	03/09/2018	S. Bulté ; J. Poujol					26/07/2018	N. Déjean	30/08/2018	M. Poussin
10/09/2018	S. Bulté ; J. Poujol	10/09/2018	S. Bulté ; J. Poujol					03/08/2018	N. Déjean		
								10/08/2018	N. Déjean		
								20/08/2018	N. DEJEAN ; Séverine MARICHAL		
								23/08/2018	N. DEJEAN ; S. MARICHAL		
								31/08/2018	N. DEJEAN ; S. MARICHAL		
								06/09/2018	N. DEJEAN ; S. MARICHAL		

• Fiche de relevés

Chaque observateur note, à l'intérieur de chaque quadrat de 4m<sup>2</sup>, le numéro de pied avec le numéro des hampes associées à chaque pied de *G. pneumonanthe*. Il note également, pour chaque hampe, le nombre de bourgeons floraux, de fleurs épanouies et de fruits ainsi que le nombre d'œufs de *Phengaris alcon* par bourgeon/fleur (pas de distinction du calice et de la corolle), par tige et par feuille (Fig. 251).

**Fiche relevé - protocole suivi *Gentiana pneumonanthe* et *Phengaris alcon alcon***

Nom du site : .....		Commune (département) : .....		N° quadrat 10x10 : .....					
Structure : .....		Observateur(s) : .....		Date : ...../...../.....					

N° quadrat 2x2	N° pied Gentiane	N° hampe florale gentiane	Nb bourgeons /hampe	Nb fleurs épanouies /hampe	Nb fruits/hampe	Nb œufs/fleurs (épanouies + bourgeons)	Nb œufs/tiges	Nb œufs/feuilles	Remarque

Fig. 251. Extrait de la fiche de relevé des suivis *P. alcon* et *G. pneumonanthe*.

• Analyses et statistiques

L'année 2017 était une année de test des deux méthodes proposées pour le suivis de l'Azuré des mouillères et de *G. pneumonanthe*. La méthode des quadrats permanents de 100m<sup>2</sup> a été choisie. En 2018, cette méthode a été appliquée de façon régulière sur quatre sites et lors de quatre suivis sur un cinquième site.

– Etude de la dynamique des populations de *Gentiana pneumonanthe*

En fin de période de suivis 2018, trois sites (Plateau d'Anzé, Ellorimendi, Aéroport de Bordeaux-Saucats) ont bénéficié d'un recensement de *G. pneumonanthe* sur l'ensemble de leur périmètre. Dans un premier temps, afin d'évaluer la méthode de comptage sur l'ensemble du périmètre de chaque site, le nombre de pieds de *G. pneumonanthe* recensés dans le quadrat de 100m<sup>2</sup> de 2018 lors du dernier suivi (Aéroport de Bordeaux Saucats : 10/09/2018 ; Plateau d'Anzé : 30/08/2018 ; Ellorimendi : 06/09/2018) a été comparé, à l'aide du logiciel cartographique QGIS, au nombre de pieds de *G. pneumonanthe* comptés dans ce même quadrat lors du recensement général (Aéroport de Bordeaux

Saucats : 13/09/2018 ; Plateau d'Anzé : 31/08/2018 et 10/09/2018 ; Ellorimendi : 05/09/2018). Le comptage lors des suivis étant un comptage quasi exhaustif, puisque la végétation est minutieusement inspectée durant cette action, cette comparaison permet ainsi d'estimer si la population de *G. pneumonanthe* est sous-estimée lors du recensement général.

Dans un second temps, une comparaison entre les résultats de comptage de 2018 et ceux de l'année 2016 a été réalisée pour les sites Plateau d'Anzé et Aéroport de Bordeaux-Saucats.

Une analyse de la répartition spatiale de *G. pneumonanthe* a également été réalisée pour l'ensemble des sites (sauf pour les deux camps militaires). Cette répartition peut être de trois types (CANARD & POINSOT, 2004) :

- aléatoire : répartition relativement régulière mais non entièrement uniforme ;
- agrégée : répartition groupée (exemple de la dispersion clonale par multiplication végétative) ;
- régulière : répartition très régulière.

L'analyse de la répartition spatiale repose, ici, sur la méthode du plus proche voisin et a été réalisée à l'aide du logiciel QGIS (version 2.18.18). Cette méthode permet de mesurer, pour chaque individu (ici chaque pied ou hampe de *G. pneumonanthe* selon le site), la distance qui le sépare de son plus proche voisin. Le principe repose sur le fait que, si les individus sont répartis de façon aléatoire avec une densité moyenne de  $d$  individus par unité de surface, alors il est démontré que la distance moyenne théorique qui les sépare est de  $1/\sqrt{2d}$  unités de longueur (CANARD & POINSOT, 2004). Si les individus sont répartis en agrégat, la distance moyenne au plus proche voisin sera donc beaucoup plus faible que la distance moyenne théorique. Au contraire, si les individus sont répartis de manière régulière, la distance moyenne au plus proche voisin sera plus élevée que la valeur théorique. Cela s'explique par le fait que les individus tendent à s'écarter les uns des autres à la distance maximale possible (CANARD & POINSOT, 2004). Le logiciel QGIS v2.18.18 calcule plusieurs éléments qui sont les suivants :

- la distance moyenne observée : elle correspond à la moyenne calculée à partir de l'ensemble des distances au plus proche voisin ;
- la distance moyenne théorique : elle correspond à la moyenne des distances entre voisins dans une répartition aléatoire hypothétique ;
- l'indice du plus proche voisin : il correspond à l'indice de dispersion = distance moyenne observée/distance moyenne théorique. Si l'indice est inférieur à 1, le modèle présente un phénomène d'agrégation ; s'il est supérieur à 1, la tendance est à la dispersion ou à la concurrence ;
- Score Z : il correspond à une mesure de signification statistique et permet de savoir si la répartition observée des points est aléatoire ou non, l'hypothèse nulle étant que la répartition est aléatoire. La signification de cette mesure est fortement impactée par la surface de la zone d'étude.

Enfin, pour les cinq sites, l'évolution du nombre de pieds de *G. pneumonanthe* et du nombre de hampes au cours du temps ont été analysées. Le nombre minimal, le nombre maximal et le nombre moyen de hampes par pied ont également été relevés ou calculés afin d'étudier la vigueur des pieds de *G. pneumonanthe* sur chaque site.

#### – Etude de la phénologie de *Gentiana pneumonanthe*

Afin notamment de déceler le moment de pic de floraison des populations de *G. pneumonanthe*, qui correspond à la date à laquelle il a été dénombré le plus de fleurs ou bien le plus de pieds en pleine floraison, l'évolution de la phénologie des pieds de *G. pneumonanthe* a été analysée au cours du temps pour chaque site. Quatre stades phénologiques ont été pris en compte : le stade végétatif (aucun bourgeon ni fleur), le stade début de floraison (une minorité de fleurs épanouies), le stade pleine floraison (plus de 50% de fleurs épanouies) et le stade fructification (présence d'au moins un fruit développé sur une tige) (d'après la notice méthodologique « protocole suivi phénologique de la flore » du CBNSA). Un cinquième stade phénologique a été ajouté : le stade bourgeons qui correspond à la présence de bourgeons sans fleur épanouie sur le pied. Ainsi pour chaque site et chaque date de suivis, la proportion de pieds de *G. pneumonanthe* a été calculée pour chaque stade phénologique. En parallèle, le nombre de bourgeons et le nombre de fleurs dans le quadrat de 100m<sup>2</sup> ont été analysés graphiquement en fonction du temps. Enfin, le nombre moyen de fleurs par hampe et le nombre moyen de fleurs par pied ont été calculés pour analyser la production de fleurs.

#### – Pontes de *Phengaris alcon*

Pour les cinq sites, l'évolution du nombre d'œufs pondus au cours du temps a été analysée. A partir du nombre d'œufs pondus relevé à chaque suivi, le nombre de femelles et de mâles de *Phengaris alcon* a été estimé sur les postulats suivants :

- les femelles pondent en moyenne 80 œufs en une dizaine de jours, au maximum 130 et au minimum 50 (LHONORE, 1998) ;
- la sex-ratio est de 45 femelles pour 55 mâles (LHONORE, 1998).

La proportion d'œufs pondus sur les bourgeons/fleurs, sur les tiges et sur les feuilles a également été calculée pour chaque site et chaque date de suivis et analysée en fonction du temps afin de juger de la qualité des pontes. En effet, une chenille issue d'un œuf pondu sur le bourgeon ou sur la fleur aura plus de chances d'arriver au bout de son développement qu'une chenille provenant d'un œuf pondu sur la tige ou sur une feuille puisque les chenilles se nourrissent des parties génitales des fleurs. De plus, le nombre moyen d'œufs pondus sur les bourgeons ou fleurs a été calculé sur l'ensemble des dates de suivis et des pieds avec pontes portant des bourgeons et/ou fleurs pour les sites Plateau d'Anzé et Ellorimendi et sur l'ensemble des dates de suivis et l'ensemble des hampes avec pontes portant des bourgeons et/ou fleurs pour les trois autres sites.

Pour les sites Plateau d'Anzé, Ellorimendi et Aéroport de Bordeaux-Saucats, une comparaison des proportions d'œufs pondus sur chaque partie de la plante (bourgeons/fleurs, tiges, feuilles) a été réalisée entre les données calculées en 2018 et celles de 2017 (données issues d'autres quadrats de suivis sauf pour le site Aéroport pour lequel les données proviennent du même quadrat de suivi). Afin d'effectuer cette comparaison, une moyenne des proportions a été réalisée sur l'ensemble des données des suivis pour chaque année. Cette comparaison permettra, à terme, de voir éventuellement si un changement s'opère dans la qualité des pontes au fil des années.

## 6.4.2 Résultats exploratoires

- **Dynamique des populations de *Gentiana pneumonanthe***

- **Recensement de *G. pneumonanthe* : type de répartition et comparaison entre 2016 et 2018**

Le comptage de *G. pneumonanthe* en 2018 permet de comparer les effectifs avec ceux du premier comptage qui a eu lieu en 2016 pour les sites « Plateau d'Anzé » et « Aérodrome de Bordeaux-Saucats ». Pour ces deux sites, les effectifs ont augmentés en 2 ans (de 33% pour Plateau d'Anzé et 128% pour Aérodrome de Bordeaux-Saucats, voir Fig. 252). Pour Ellorimendi, le comptage de 2016 n'ayant été que partiel sur le site, la comparaison avec les données de 2018 n'est pas possible.

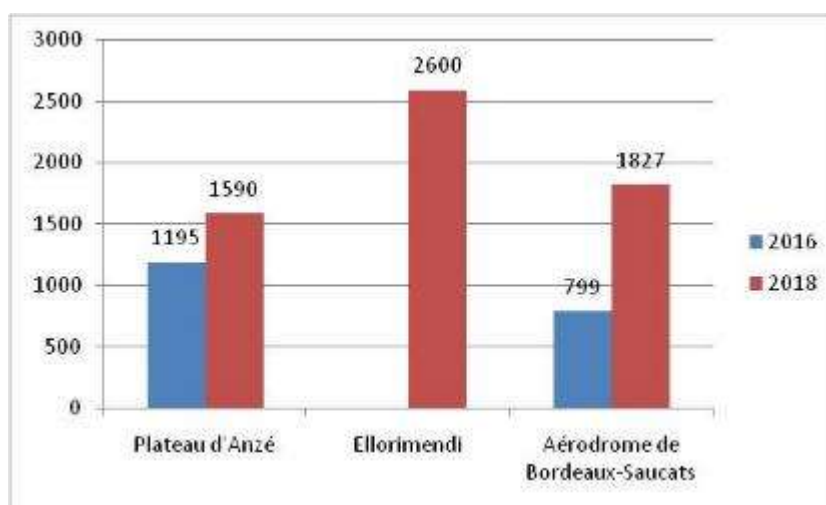


Fig. 252. Résultats des recensements de *G. pneumonanthe* sur les sites Plateau d'Anzé et Aérodrome de Bordeaux-Saucats en 2016 et 2018 et du site Ellorimendi en 2018.

Le comptage sur l'ensemble du périmètre de chaque site en 2018 permet également de calculer le pourcentage de pieds suivis dans le quadrat de 100m<sup>2</sup> par rapport au nombre total de pieds (Tab. LXV). Ce pourcentage a été calculé à partir du nombre de pieds comptés lors du dernier suivi du quadrat de 100m<sup>2</sup> qui, généralement, a été réalisé à une date proche de celle du comptage sur l'ensemble du périmètre de chaque site (Plateau d'Anzé : 1 à 10 jours d'intervalle ; Ellorimendi : 1 jour d'intervalle ; Aérodrome Bordeaux-Saucats : 3 jours d'intervalle). Ainsi, le Plateau d'Anzé est le site qui présente le pourcentage de pieds suivis le plus important par rapport au nombre total (52%). Les sites Ellorimendi et Aérodrome de Bordeaux-Saucats, quant à eux présente un pourcentage compris entre 10 et 20% (17% et 13% respectivement).

Tab. LXV. Pourcentage de pieds suivis dans le quadrat de 100m<sup>2</sup> (données dernier suivi) par rapport au nombre total de pieds sur les sites Plateau d'Anzé, Ellorimendi et Aérodrome Bordeaux-Saucats.

Sites	Nombre de pieds comptés lors du dernier suivi en 2018 dans le quadrat de 100m <sup>2</sup>	Nombre total de pieds sur le site	% de pieds suivis
Plateau d'Anzé	822	1590	52%
Ellorimendi	441	2600	17%
Aérodrome Bordeaux-Saucats	241	1827	13%

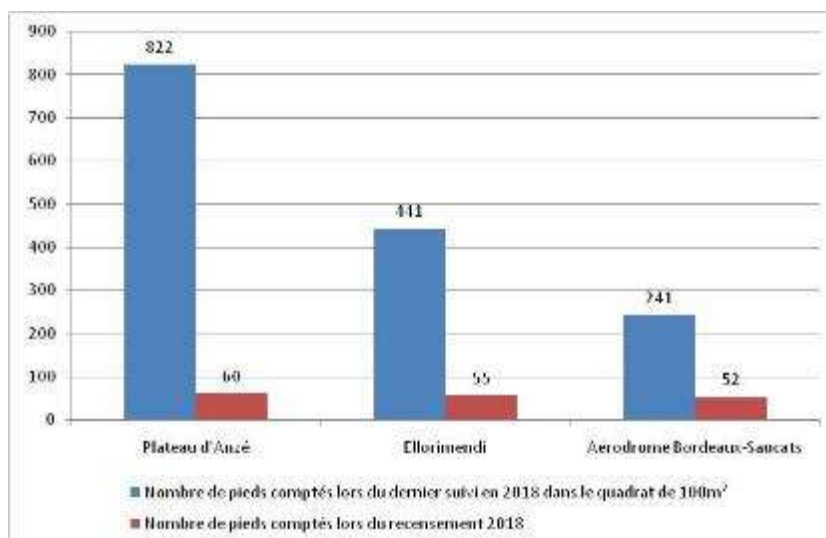


Fig. 253. Comparaison des données de comptage de pieds de *G. pneumonanthae* récoltées lors du dernier suivi du quadrat de 100m<sup>2</sup> et lors du recensement sur l'ensemble de l'emprise du site, pour les sites Plateau d'Anzé, Ellorimendi et Aéroport de Bordeaux-Mérignac.

Si on considère que le nombre de pieds, comptés lors du dernier suivi réalisé au niveau du quadrat de 100m<sup>2</sup>, correspond à l'effectif quasi exhaustif, alors il est possible de calculer le pourcentage de sous-estimation du nombre de pieds de *G. pneumonanthae* (Fig. 253). Ainsi, pour le site Plateau d'Anzé, la population de *G. pneumonanthae* a été sous-estimée de 92.7% au niveau du quadrat de 100m<sup>2</sup>, lors du recensement sur l'ensemble du site. Pour le site Ellorimendi, elle a été sous-estimée de 87.5% et pour le site de l'Aéroport de Bordeaux-Mérignac, la sous-estimation est de 78.4%.

D'après le tableau Tab. LXVI, pour chaque site, la distance moyenne observée au plus proche voisin est plus faible que la distance moyenne théorique ce qui induit un indice du plus proche voisin inférieur à 1. Cela signifie que pour l'ensemble des sites, *G. pneumonanthae* a une répartition plutôt spatiale agrégée et non aléatoire ou régulière. Les cartes en Annexe 10 illustrent la répartition des *G. pneumonanthae* pour chaque site.

Tab. LXVI. Résultats de l'analyse du proche voisin.

	Plateau d'Anzé		Ellorimendi	Aéroport de Bordeaux-Mérignac		Pouchau
	2016	2018	2018	2016	2018	2017
Distance moyenne observée	-	1.00055520294e-05	0.608904520701	9.01050248199e-06	6.61444728366e-06	1.05029103791
Distance moyenne théorique	-	1.37196599971e-05	2.48619926723	2.54749224845e-05	0.000450358222224	8.37883108779
Indice du plus proche voisin	-	0.729285713459	0.244913804266	0.353700879265	0.0146870801003	0.125350544355
Nombre de points	-	1590	2600	799	1827	193
Z-score	-	-20.6509778391	-73.6570103782	-34.9492481692	-80.5701800295	-23.2457502544

– Evolution du nombre de *G. pneumonanthe* au cours du temps

Les figures suivantes (Fig. 254 à Fig. 258) montrent l'évolution, en 2018, du nombre de pieds de *G. pneumonanthe* et du nombre de hampes florales pour chacun des cinq sites. Globalement, une augmentation du nombre de pieds de *G. pneumonanthe* ainsi que du nombre de hampes sont constatées au cours du temps. En moyenne, sur l'ensemble des sites le nombre de hampes par pied de *G. pneumonanthe* est de 2 hampes (Tab. LXVII). Pour tous les sites, le nombre minimal de hampes par pied est de 1. Plateau d'Anzé et Ellorimendi sont les deux sites qui présentent un nombre maximal de hampes par pied le plus élevé (21 et 24, respectivement). Les trois autres sites présentent un nombre maximal de hampes par pied de 9.

**Tab. LXVII.** Nombres minimales, maximales et moyens de hampes par pieds de *G. pneumonanthe* observés sur l'ensemble des suivis (2018).

Site	Nb min de hampes par pieds	Nb max de hampes par pieds	Nb moyen de hampes par pieds
Plateau d'Anzé	1	21	2
Ellorimendi	1	24	3
Aérodrome de Bordeaux-Saucats	1	9	2
Pouchau	1	9	2
Captieux	1	9	2

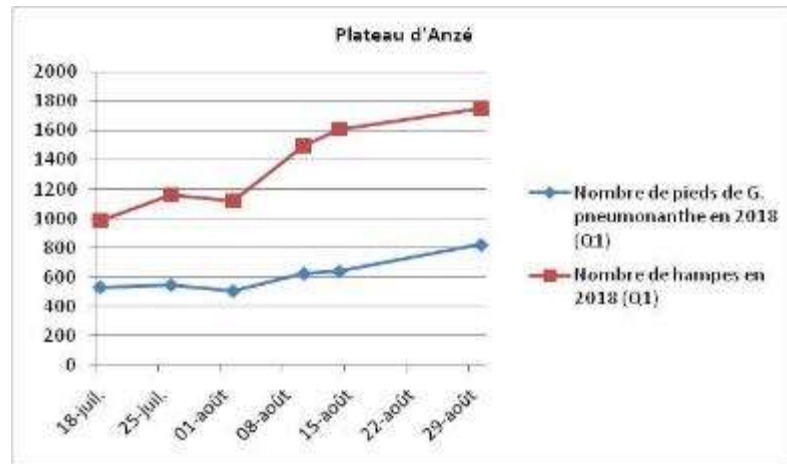


Fig. 254. Evolution du nombre de pieds et du nombre de hampes de *Gentiana pneumonanthe* au cours du temps sur le site Plateau d'Anzé en 2018.

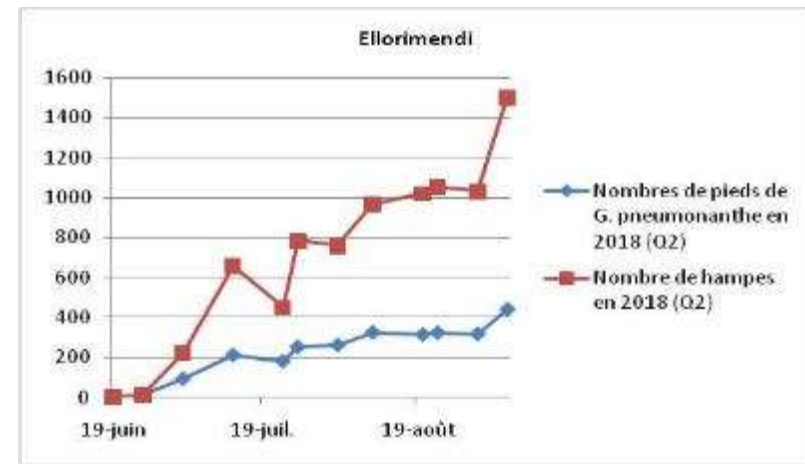


Fig. 255. Evolution du nombre de pieds et du nombre de hampes de *Gentiana pneumonanthe* au cours du temps sur le site Ellorimendi en 2018.

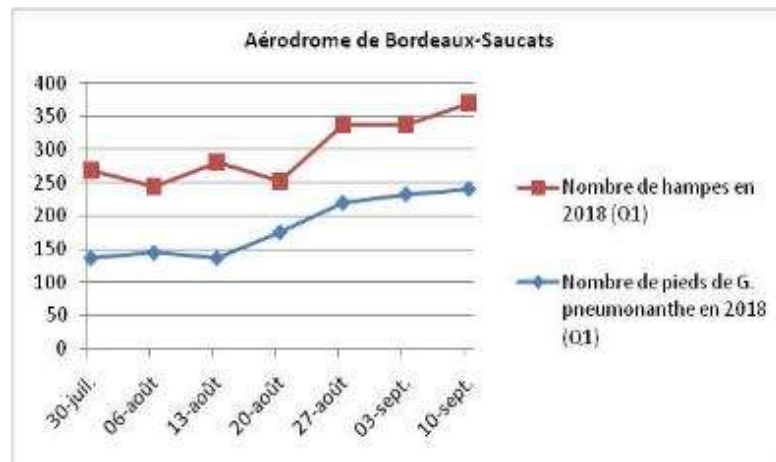


Fig. 256. Evolution du nombre de pieds et du nombre de hampes de *G. pneumonanthe* au cours du temps sur le site Aéroport de Bordeaux-Mérignac en 2018.

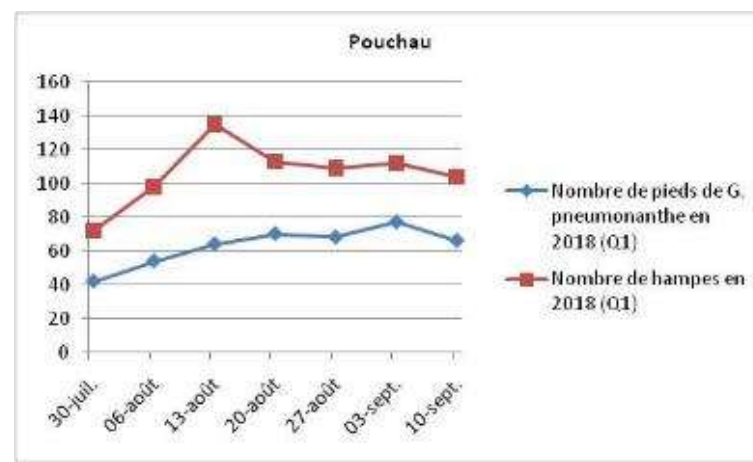


Fig. 257. Evolution du nombre de pieds et du nombre de hampes de *Gentiana pneumonanthe* au cours du temps sur le site Pouchau en 2018.



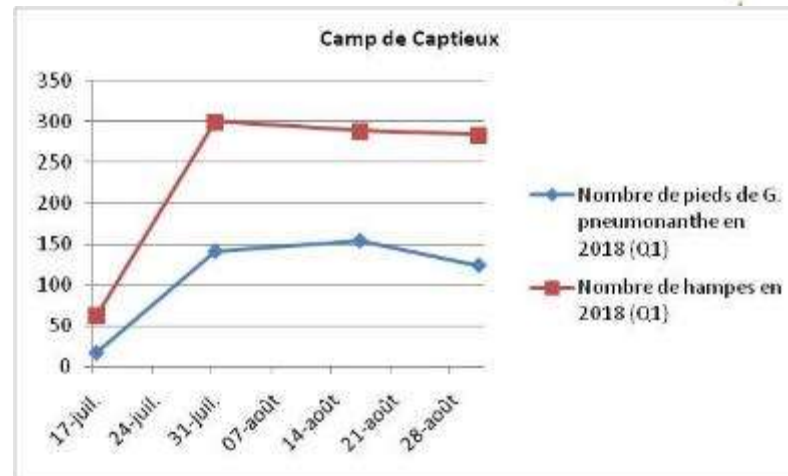


Fig. 258. Evolution du nombre de pieds et du nombre de hampes de *Gentiana pneumonanthe* au cours du temps sur le site Camp de Captieux en 2018.

- **Phénologie de *Gentiana pneumonanthe***

- Evolution de la phénologie de *G. pneumonanthe* et des nombres de bourgeons et fleurs au cours du temps

Les figures suivantes (Fig. 259 à Fig. 260) montrent l'évolution de la phénologie des pieds de *G. pneumonanthe* et du nombre de bourgeons et de fleurs au cours du temps pour l'année 2018 pour chaque site.

### Plateau d'Anzé

Au début des suivis, le 18 juillet, la majorité des pieds de *G. pneumonanthe* sont à l'état végétatif, le nombre de bourgeons est alors très faible et le nombre de fleurs est nul. Au fur et à mesure des suivis, le nombre de pieds à l'état végétatif diminue au profit du nombre de pieds au stade bourgeons. Des pieds de *G. pneumonanthe* sont observés en début de floraison à partir du 2 août. Le stade pleine floraison est observé dès le 26 juillet mais ne concerne que quelques individus jusqu'à la fin des suivis, date du 30 août, où presque 50% de *G. pneumonanthe* sont alors en pleine floraison. Le nombre de fleurs entre le 14 août et le 30 août a considérablement augmenté pour atteindre un nombre maximal de fleurs le 30 août. Le pic de floraison se situe donc fin août – début septembre. Le nombre moyen de fleurs par hampe est 0.55 et le nombre de moyen de fleurs par pied est 1.17.



Fig. 259. Evolution, au cours du temps, du pourcentage de pieds de *G. pneumonanthe* selon les différents stades phénologiques pour le site Plateau d'Anzé en 2018.

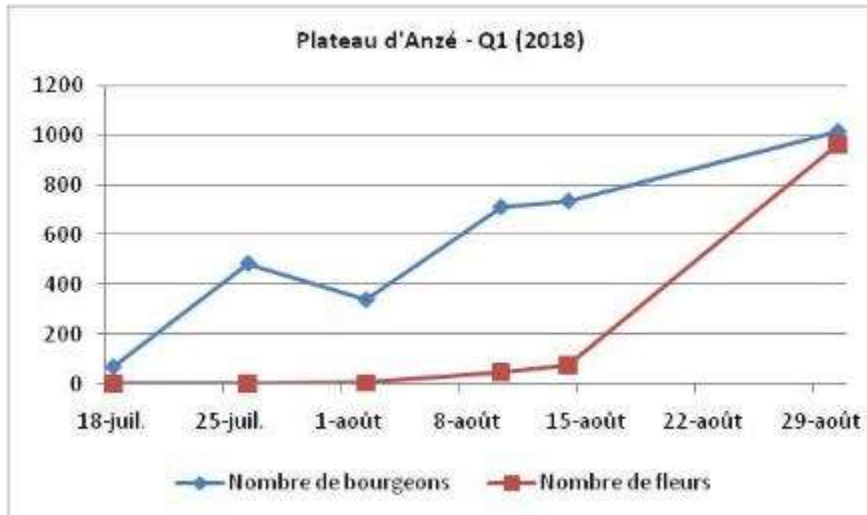


Fig. 260. Evolution, au cours du temps, du nombre de fleurs et de bourgeons pour le site Plateau d'Anzé en 2018.

### Ellorimendi

Au début des suivis, le 19 juin, 100% des pieds de *G. pneumonanthe* sont au stade bourgeons, mais cela correspond à un seul pied observé possédant un seul bourgeon. A partir du 25 juin, le nombre de *G. pneumonanthe* sur le quadrat augmente et la majorité des pieds sont à l'état végétatif. De la même manière que sur le site Plateau d'Anzé, le nombre de pieds à l'état végétatif diminue au cours du temps en faveur du nombre de pieds au stade bourgeons. Le stade début de floraison est observé à partir du 13 juillet mais ne concerne qu'un seul individu et le stade pleine floraison est observé 13 jours plus tard et ne concerne également qu'un seul individu. Ce n'est qu'à partir du 20 août que le nombre de fleurs augmente considérablement (10/08: 10 fleurs, 20/08: 112 fleurs). Le nombre de pieds en début de floraison augmente alors : 2% des pieds sont en début de floraison le 10/08 contre 26% des pieds le 20/08. Par contre, la proportion de pieds en pleine floraison reste assez faible : elle varie de 1 à 7% entre le 10 août et le 6 septembre. Le nombre maximal de fleurs est atteint le 6 septembre (601 fleurs) à la fin des suivis alors que le nombre maximal de pieds en pleine floraison est atteint le 23 août. Le pic de floraison se situerait donc fin août – début septembre. Le nombre moyen de fleurs par hampe est 0.40 et le nombre moyen de fleurs par pied est 1.36. Le stade début de fructification est observé à partir du 31 août. Ellorimendi est d'ailleurs le seul site où ce stade est observé (Fig. 261–Fig. 262).

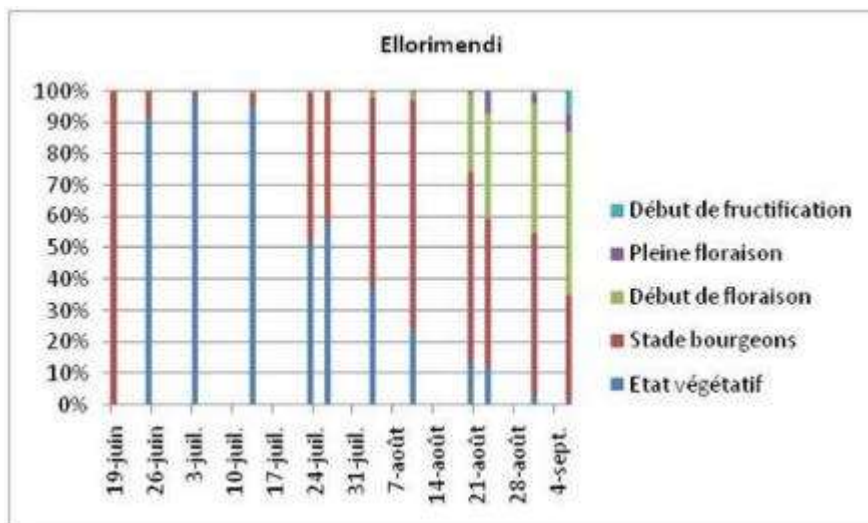


Fig. 261. Evolution, au cours du temps, du pourcentage de pieds de *G. pneumonanthe* selon les différents stades phénologiques pour le site Ellorimendi en 2018.

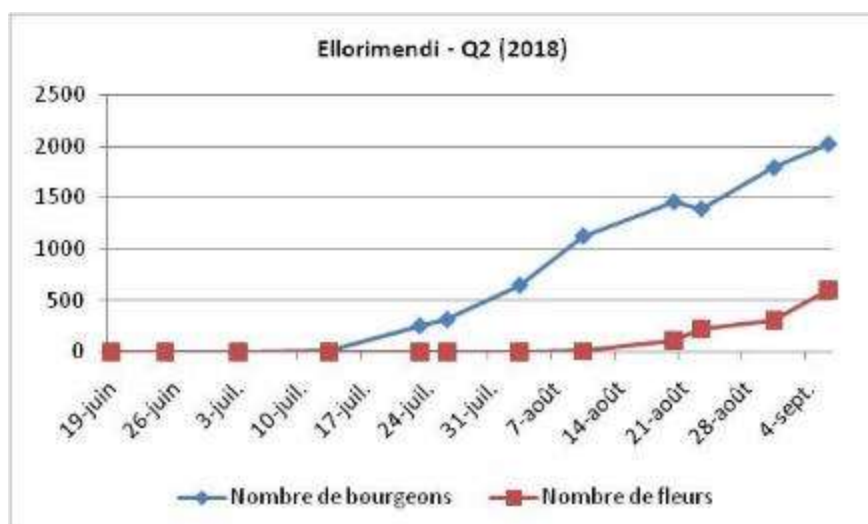


Fig. 262. Evolution, au cours du temps, du nombre de fleurs et de bourgeons pour le site Ellorimendi en 2018.

### Aérodrome de Bordeaux–Saucats

Au début des suivis, le 30 juillet, la majorité des pieds de *G. pneumonanthe* est au stade végétatif. Au fur et à mesure des suivis, le nombre de bourgeons augmente laissant apparaître une proportion de pieds au stade bourgeons qui augmente au détriment de la proportion de pieds à l'état végétatif. Le stade début de floraison n'est observé qu'à partir du 20 août mais ne concerne que très peu d'individus (1 à 5% des pieds en début de floraison entre le 20/08 et le 3/09). A la fin des suivis, le 10 septembre, la moitié des pieds est au stade bourgeons et seulement 15% des pieds sont en début de floraison et 1% en pleine floraison. Le nombre de fleurs observées sur le quadrat est d'ailleurs très faible (47 fleurs). Le nombre moyen de fleurs par hampe est alors 0.13 et le nombre moyen de fleurs par pied est de 0.20 (Fig. 263–Fig. 264).

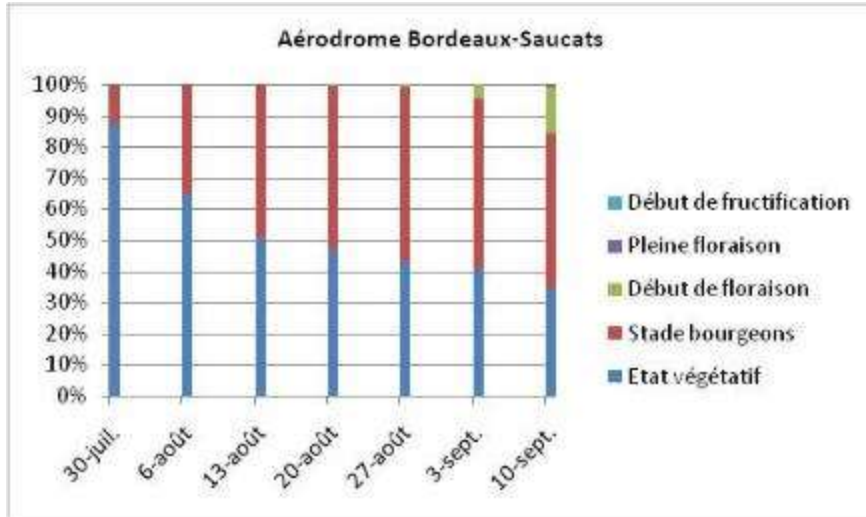


Fig. 263. Evolution, au cours du temps, du pourcentage de pieds de *G. pneumonanthe* selon les différents stades phénologiques pour le site Aérodrome de Bordeaux-Saucats en 2018.

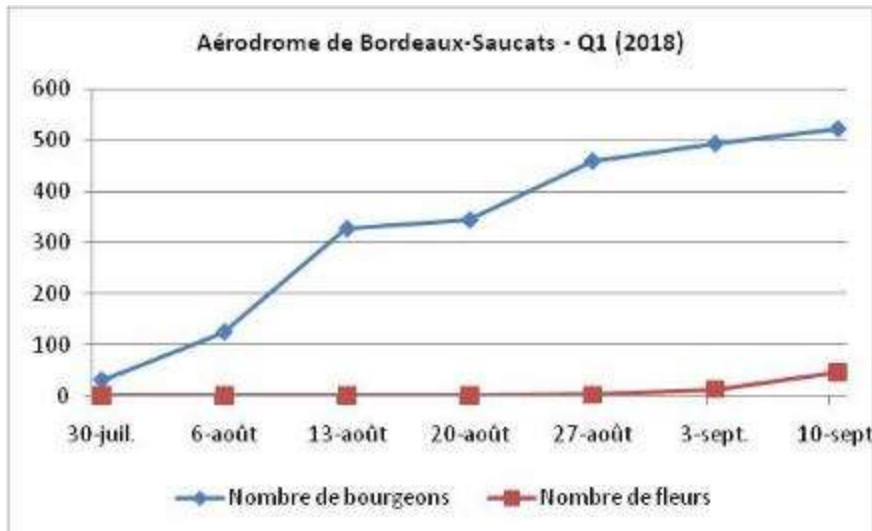


Fig. 264. Evolution, au cours du temps, du nombre de fleurs et de bourgeons pour le site Aérodrome de Bordeaux-Saucats en 2018.

### Pouchau

La population de *G. pneumonanthe* du site Pouchau présente une dynamique similaire à celle du site de l'aérodrome. En effet, le nombre de pieds de *G. pneumonanthe* à l'état végétatif diminue au cours du temps au profit du nombre de pieds au stade bourgeons. Le stade début de floraison est observé le 27 août et ne concerne qu'un seul individu. Le 3 septembre, la majorité des pieds de *G. pneumonanthe* reste à l'état végétatif, un tiers sont à l'état bourgeons et un autre tiers est en début de floraison. Le stade en pleine floraison n'est d'ailleurs pas observé sur ce site dans le quadrat. Comme sur le site Aérodrome de Bordeaux-Saucats, le nombre de fleurs est également très faible (4). Le nombre moyen de fleurs par hampe est 0.04 et le nombre de moyen de fleurs par pied est 0.06 (Fig. 265-Fig. 266).

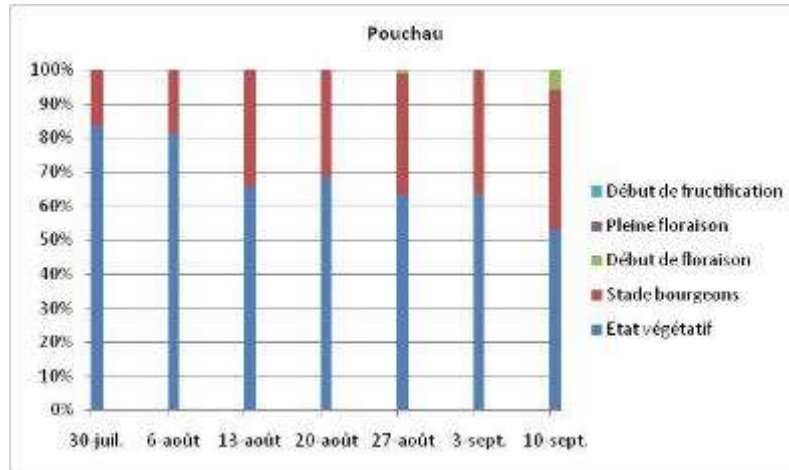


Fig. 265. Evolution, au cours du temps, du pourcentage de pieds de *G. pneumonanthe* selon les différents stades phénologiques pour le site Pouchau en 2018.

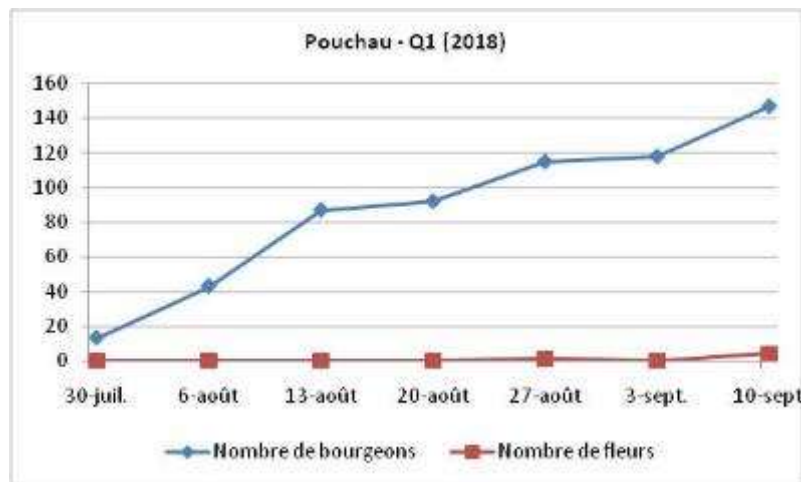


Fig. 266. Evolution, au cours du temps, du nombre de fleurs et de bourgeons pour le site Pouchau en 2018.

### Camp de Captieux

Au début des suivis, le 17 juillet, un peu plus de la moitié des pieds de *G. pneumonanthe* sont à l'état végétatif (59%), le reste étant au stade bourgeon. Le nombre de bourgeons augmente au cours du temps pour atteindre un maximum le 17 août (192) puis diminue (138 le 31 août). C'est à partir du deuxième suivi (31 juillet) que des pieds de *G. pneumonanthe* sont observés en début de floraison (7% des pieds) et en pleine floraison (1% des pieds) avec un total de 13 fleurs. Ces proportions augmentent au cours du temps avec 11% des pieds en début de floraison et 17% en pleine floraison en fin de suivis (31 août) avec un total de 60 fleurs. Le pic de floraison se situerait donc fin août. Le nombre moyen de fleurs par hampe est 0.21 et le nombre de moyen de fleurs par pied est 0.48 (Fig. 267–Fig. 268).

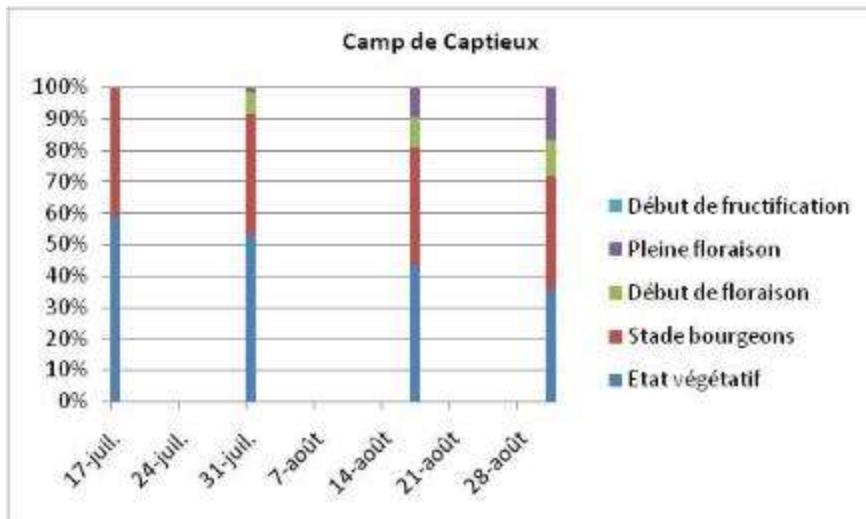


Fig. 267. Evolution, au cours du temps, du pourcentage de pieds de *G. pneumonanthe* selon les différents stades phénologiques pour le site Camp de Captieux en 2018.

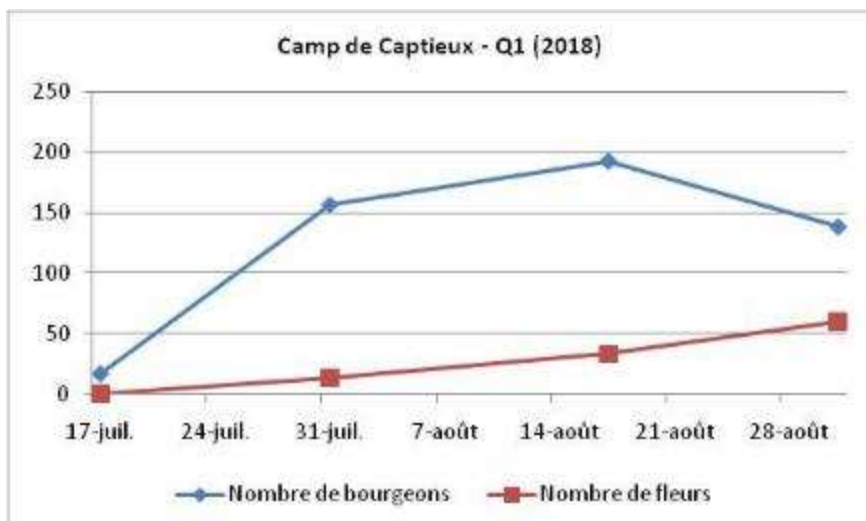


Fig. 268. Evolution, au cours du temps, du nombre de fleurs et de bourgeons pour le site Camp de Captieux en 2018.

### Comparaison de la phénologie entre site

Le Tab. LXVIII présente les dates de pic de floraison et de début de la période de floraison pour les cinq sites. La première date correspond à la date où le nombre de fleurs est maximal et la deuxième correspond à la date à laquelle les premiers pieds au stade début de floraison (au moins une fleur épanouie, nombre de bourgeons inférieur au nombre de fleurs épanouies) sont observés. Le site Ellorimendi, situé au Pays-Basque et caractérisé par une pluviométrie relativement plus importante, est le site où *G. pneumonanthe* commence à fleurir le plus tôt. Les sites Camp de Captieux et Plateau d'Anzé présentent des dates de pic de floraison et de début de période de floraison quasi similaires (1 à 2 jours d'écart). Or, les contextes de ces deux sites sont très différents : Camp de Captieux est situé dans le triangle Landais et Plateau d'Anzé est situé en montagne à 800m d'altitude. Les deux derniers sites (Aérodrome de Bordeaux-Saucats et Pouchau), les deux sites les plus au nord, sont ceux qui présentent une date de début de période de floraison la plus tardive (fin août). Il en est de même pour les dates de pic de floraison auxquelles le nombre de fleurs et d'individus en pleine floraison sont d'ailleurs très faibles pour les deux sites.

**Tab. LXVIII. Dates de pic de floraison (nombre maximal de fleurs) et de début de floraison (apparition des premiers pieds au stade début floraison) pour les cinq sites.**

Sites	Pic de floraison	Début période de floraison
Plateau d'Anzé	30 août	2 août
Ellorimendi	6 septembre	13 juillet
Camp de Captieux	31 août	31 juillet
Aérodrome Bordeaux-Saucats	10 septembre	20 août
Pouchau	10 septembre	27 août

- **Pontes de *Phengaris alcon***

- **Evolution du nombre de pontes au cours du temps**

Les figures suivantes (Fig. 269 à Fig. 273) montrent l'évolution du nombre de pontes au cours du temps à l'échelle du quadrat de 100m<sup>2</sup> pour chaque site. Pour l'ensemble des sites, excepté le site Ellorimendi, des pontes sont déjà présentes lors du premier suivi, sachant que chaque suivi débute une semaine avant la date connue de première floraison de *G. pneumonanthe*. Pour le site Ellorimendi, ce n'est qu'à partir du sixième passage que des pontes ont été observées sur le quadrat. Pour chaque site, le profil est le même : à partir du jour où des pontes ont été observées, le nombre de pontes augmentent au cours du temps pour atteindre un pic puis ce nombre diminue. Les dates d'atteinte du pic du nombre de pontes varient en fonction des sites.

**Plateau d'Anzé** : le nombre maximal d'œufs pondus est atteint le 14 août avec 1680 œufs au total de recensés. Le nombre moyen de femelles est alors estimé à 21 (nombre max estimé : 34, nombre min estimé : 13) et le nombre de mâles est estimé à 26 (nombre max estimé : 41, nombre min estimé : 16).

**Ellorimendi** : le nombre maximal d'œufs pondus est atteint le 20 août avec 147 œufs au total de recensés. Le nombre moyen de femelles est alors estimé à 2 (nombre max estimé : 3, nombre min estimé : 1) et le nombre de mâles est estimé à 2 (nombre max estimé : 4, nombre min estimé : 1).

**Aérodrome de Bordeaux-Saucats** : le nombre maximal d'œufs pondus est atteint le 27 août avec 385 œufs au total de recensés. Le nombre moyen de femelles est alors estimé à 5 (nombre max estimé : 8, nombre min estimé : 3) et le nombre de mâles est estimé à 6 (nombre max estimé : 9, nombre min estimé : 4).

**Pouchau** : le nombre maximal d'œufs pondus est atteint le 27 août avec 672 œufs au total de recensés. Le nombre moyen de femelles est alors estimé à 8 (nombre max estimé : 13, nombre min estimé : 5) et le nombre de mâles est estimé à 10 (nombre max estimé : 16, nombre min estimé : 6).

**Camp de Captieux** : le nombre maximal d'œufs pondus est atteint le 17 août avec 349 œufs au total de recensés. Le nombre moyen de femelles est alors estimé à 4 (nombre max estimé : 7, nombre min estimé : 3) et le nombre de mâles est estimé à 5 (nombre max estimé : 9, nombre min estimé : 3).

- **Nombre moyen d'œufs pondus sur les bourgeons ou fleurs**

Le Tab. LXIX donne le nombre moyen d'œufs pondus par bourgeon/fleur calculé sur l'ensemble des dates de suivis et des pieds avec pontes portant des bourgeons et/ou fleurs pour les sites Plateau d'Anzé et Ellorimendi et sur l'ensemble des dates de suivis et l'ensemble des hampes avec pontes portant des bourgeons et/ou fleurs pour les trois autres sites. Pour les cinq sites, ce nombre reste assez faible, Pouchau étant le site qui présente en moyenne le plus d'œufs par bourgeon et/ou fleur. Le Tab. LXIX donne également le nombre moyen maximal d'œufs pondus par bourgeon et/ou fleur parmi



l'ensemble des dates de suivis. Les sites Ellorimendi et Aéroport de Bordeaux–Saucats sont les sites qui présentent des nombres moyens maximaux les plus faibles et Plateau d'Anzé est le site qui présente le nombre maximal avec au maximum 20 œufs pondus sur un même bourgeon ou même fleur.

**Tab. LXIX.** Nombre moyen d'œufs pondus par bourgeon/fleur sur l'ensemble des suivis et nombre moyen maximal parmi l'ensemble des suivis

Sites	Nombre moyen d'œufs pondus par bourgeon/fleur	Nombre moyen maximal d'œufs pondus par bourgeon/fleur
Plateau d'Anzé	3	20
Ellorimendi	1	4
Aéroport de Bordeaux–Saucats	1	6
Pouchau	5	15
Camp de Captieux	3	16

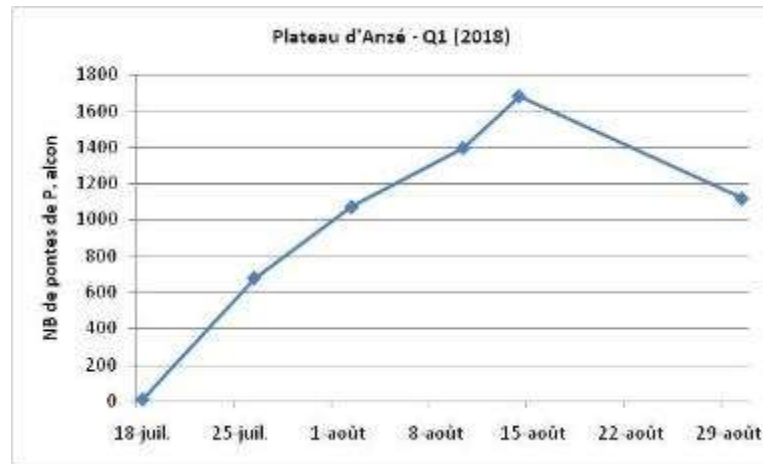


Fig. 269. Evolution du nombre d'œufs pondus par *Phengaris alcon* au cours du temps sur le site Plateau d'Anzé en 2018.

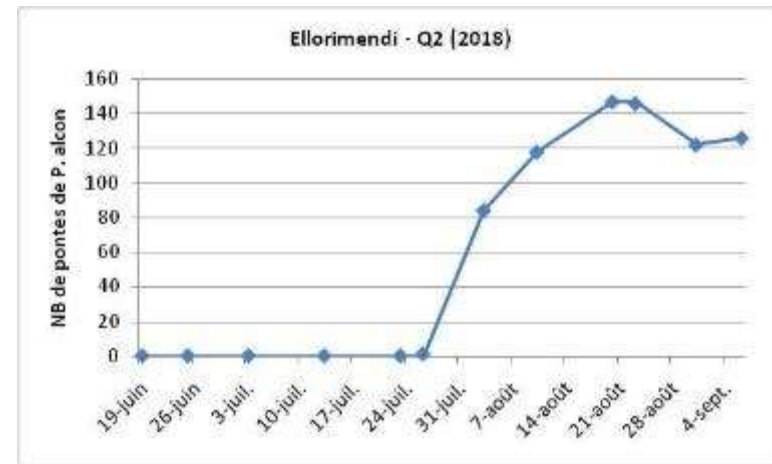


Fig. 270. Evolution du nombre d'œufs pondus par *Phengaris alcon* au cours du temps sur le site Ellorimendi en 2018.

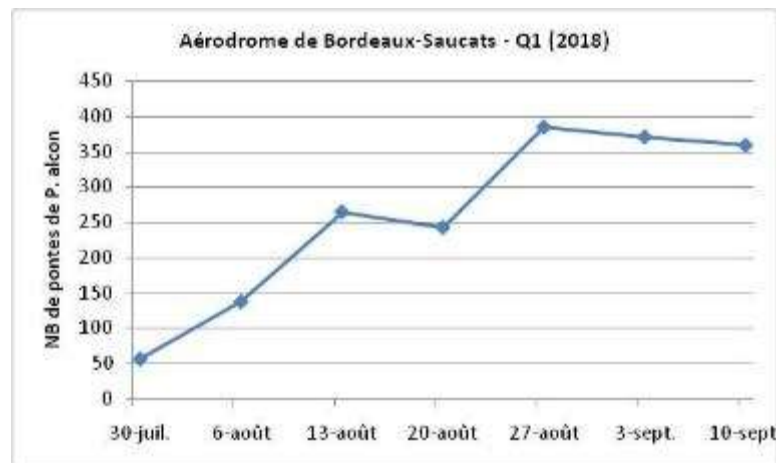


Fig. 271. Evolution du nombre d'œufs pondus par *Phengaris alcon* au cours du temps sur le site Aéroport de Bordeaux-Mérignac en 2018.

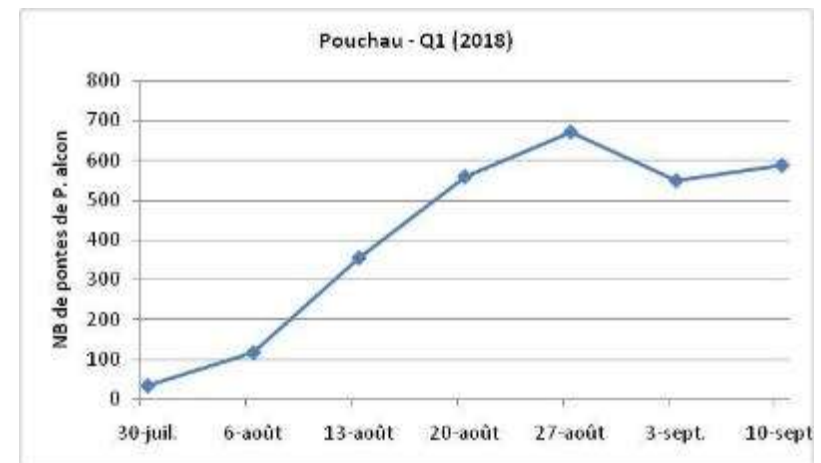


Fig. 272. Evolution du nombre d'œufs pondus par *Phengaris alcon* au cours du temps sur le site Pouchau en 2018.

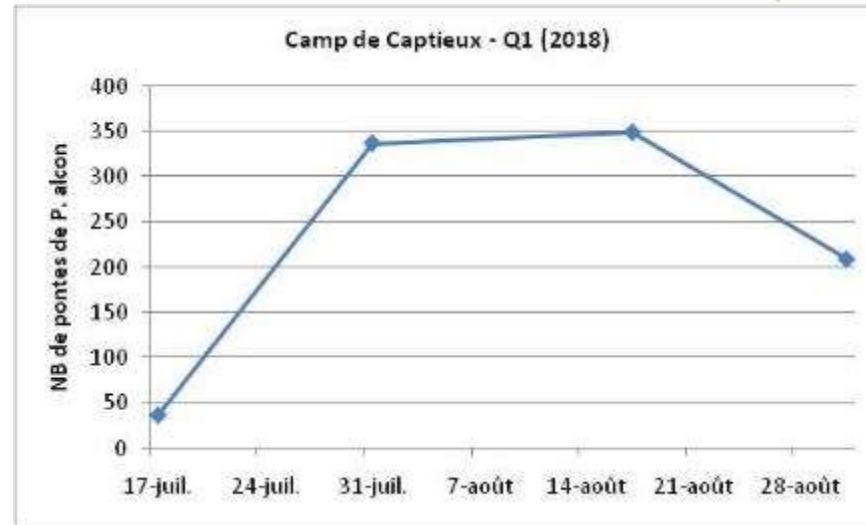


Fig. 273. Evolution du nombre d'œufs pondus par *Phengaris alcon* au cours du temps sur le site Camp de Captieux en 2018.

– Evolution des proportions de pontes en fonction du positionnement sur *G. pneumonanthe* au cours du temps.

Les figures suivantes (Fig. 274 à Fig. 278) montrent l'évolution des proportions de pontes en fonction du positionnement sur *G. pneumonanthe* au cours du temps. Trois catégories de positions sont considérées : sur la tige, sur les feuilles et sur les feuilles ou bourgeons. Globalement, pour l'ensemble des sites, une grande majorité des œufs sont pondus au niveau des bourgeons ou des fleurs et ce tout au long du suivi.

- Plateau d'Anzé : de 75% à 95% des œufs sont pondus sur les fleurs ou bourgeons en fonction des dates de suivi ; en moyenne 84% des œufs sont pondus sur les fleurs ou bourgeons, 6% sur les feuilles et 9% sur la tige ;
- Ellorimendi : de 95% à 99% des œufs sont pondus sur les fleurs ou bourgeons en fonction des dates de suivi ; en moyenne 84% des œufs sont pondus sur les fleurs ou bourgeons, 15% sur les feuilles et 1% sur la tige ;
- Aéroport de Bordeaux-Saucats : de 30% à 92% des œufs sont pondus sur les fleurs ou bourgeons en fonction des dates de suivi ; en moyenne 78% des œufs sont pondus sur les fleurs ou bourgeons, 18% sur les feuilles et 4% sur la tige ;
- Pouchau : de 69% à 12% des œufs sont pondus sur les fleurs ou bourgeons en fonction des dates de suivi ; en moyenne 81% des œufs sont pondus sur les fleurs ou bourgeons, 16% sur les feuilles et 3% sur la tige ;
- Camp de Captieux : de 95% à 98% des œufs sont pondus sur les fleurs ou bourgeons en fonction des dates de suivi ; en moyenne 95% des œufs sont pondus sur les fleurs ou bourgeons, 4% sur les feuilles et 1% sur la tige.

Quelques fluctuations sont tout de même observables pour certains sites. Sur le site Ellorimendi, le 26 juillet, début de période de pontes de l'Azuré des mouillères sur ce site, un seul œuf, situé sur une feuille, a été observé ce qui conduit à 100% des œufs pondus au niveau des feuilles. Sur le site de l'Aéroport de Bordeaux-Saucats, le 30 juillet, date de premier suivi, la moitié des œufs observés sont pondus sur les feuilles, un tiers sur les bourgeons ou fleurs et le reste sur la tige.

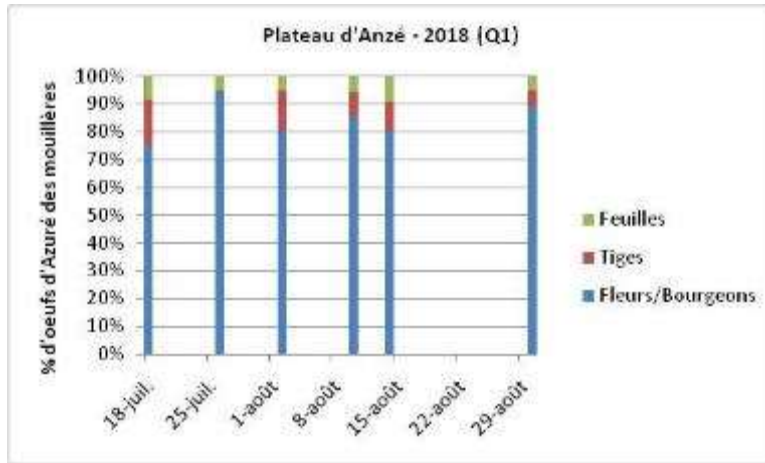


Fig. 274. Evolution au cours du temps des proportions d'œufs pondus en fonction de leur positionnement sur *G. pneumonanthae* pour le site Plateau d'Anzé en 2018.

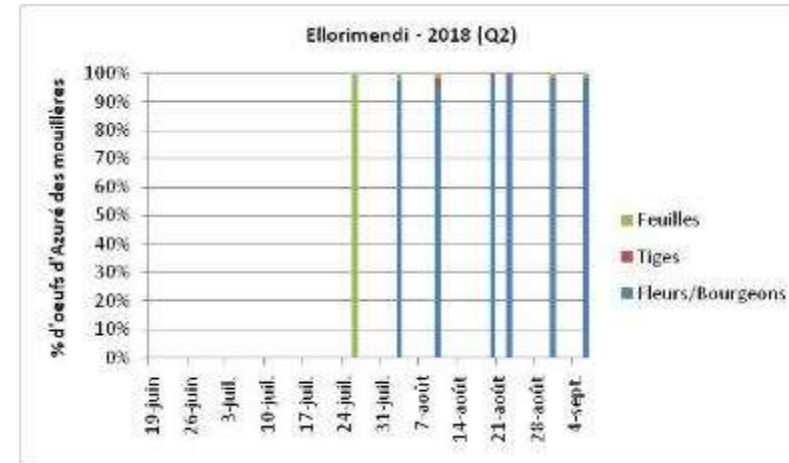


Fig. 275. Evolution au cours du temps des proportions d'œufs pondus en fonction de leur positionnement sur *G. pneumonanthae* pour le site Ellorimendi en 2018.

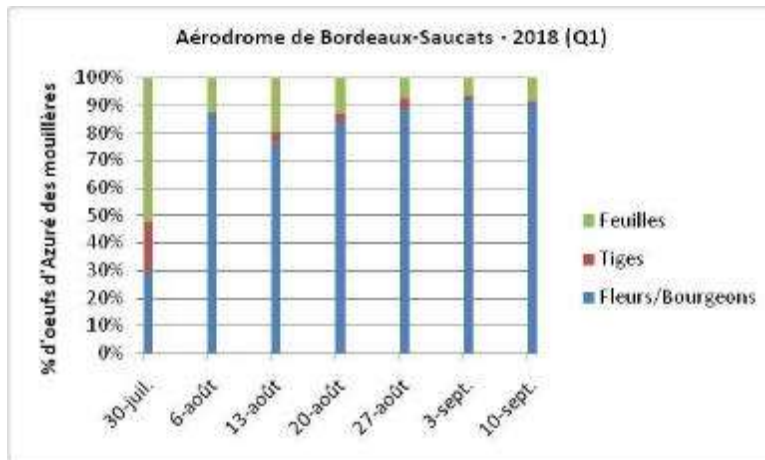


Fig. 276. Evolution au cours du temps des proportions d'œufs pondus en fonction de leur positionnement sur *G. pneumonanthae* pour l'Aéroport Bordeaux-Mérignac en 2018.

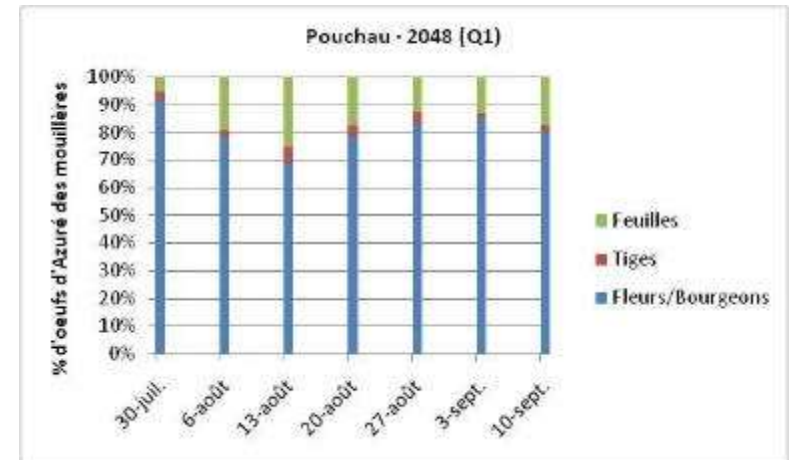


Fig. 277. Evolution au cours du temps des proportions d'œufs pondus en fonction de leur positionnement sur *G. pneumonanthae* pour le site Pouchau en 2018.



Fig. 278. Evolution au cours du temps des proportions d'œufs pondus en fonction de leur positionnement sur *G. pneumonanthae* pour le site Camp de Captieux en 2018.

– Comparaison des proportions d’œufs pondus en fonction du positionnement sur *G. pneumonanthe* entre 2017 et 2018

En 2017, trois sites (Plateau d’Anzé, Elloridmendi, Aéroport de Bordeaux–Mérignac) avaient bénéficié d’un suivi régulier sur un quadrat de 100m<sup>2</sup>. Les figures suivantes comparent donc les données de proportions d’œufs pondus en fonction de leur positionnement sur *G. pneumonanthe* entre l’année 2017 et l’année 2018 pour les trois sites. Les figures des sites Plateau d’Anzé et Elloridmendi comparent des données issues de deux quadrats de suivis différents alors que pour le site de l’Aéroport de Bordeaux–Mérignac, les données proviennent du même quadrat de suivis.

**Plateau d’Anzé (Fig. 279) :** en 2017, en moyenne 92% des œufs étaient pondus sur les fleurs bourgeons, 6% sur les feuilles et 2% sur la tige. En 2018, la proportion moyenne d’œufs pondus sur les feuilles reste inchangée. Par contre la proportion d’œufs pondus sur les fleurs/bourgeons a légèrement diminué (84%) en faveur des œufs pondus sur la tige (9%).



Fig. 279. Comparaison 2017 et 2018 des proportions d’œufs pondus en fonction de leur position sur *G. pneumonanthe* pour le site Plateau d’Anzé.

**Elloridmendi (Fig. 280) :** en 2017, 100% des œufs étaient pondus sur les fleurs et bourgeons alors qu’en 2018, ce sont en moyenne 84% des œufs qui sont pondus sur les fleurs et bourgeons. Cependant, en 2017, seulement 10 œufs avaient été observés tout au long des suivis.

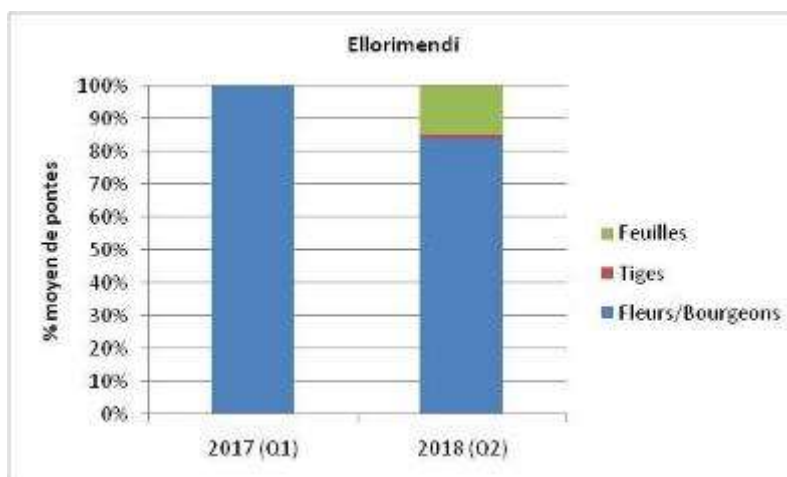


Fig. 280. Comparaison 2017 et 2018 des proportions d'œufs pondus en fonction de leur position sur *G. pneumonanthe* pour le site Ellorimendi.

**Aérodrome de Bordeaux-Saucats (Fig. 281)** : les proportions d'œufs pondus sur les différentes catégories n'ont que très peu évoluées entre 2017 et 2018.

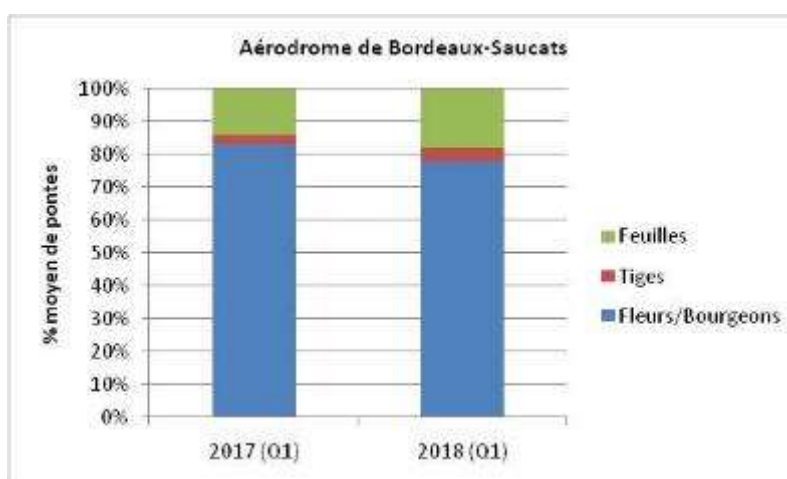


Fig. 281. Comparaison 2017 et 2018 des proportions d'œufs pondus en fonction de leur position sur *G. pneumonanthe* pour le site Aérodrome de Bordeaux-Saucats.

- ***Gentiana pneumonanthe* et *Phengaris alcon***

- Evolution de la proportion de hampes/pied avec et sans œufs au cours du temps

Les figures suivantes (Fig. 282 à Fig. 286) montrent l'évolution des proportions de pieds (Plateau d'Anzé, Ellorimendi) ou de hampes (Aérodrome Bordeaux-Saucats, Pouchau, Camp de Captieux) avec et sans œuf au cours du temps. Pour l'ensemble des sites, la proportion de hampes ou de pieds sans œufs est nettement supérieure à la proportion de hampes ou de pieds avec œufs. De plus, cette proportion n'évolue que très peu au cours du temps et a tendance à augmenter au fil des suivis.



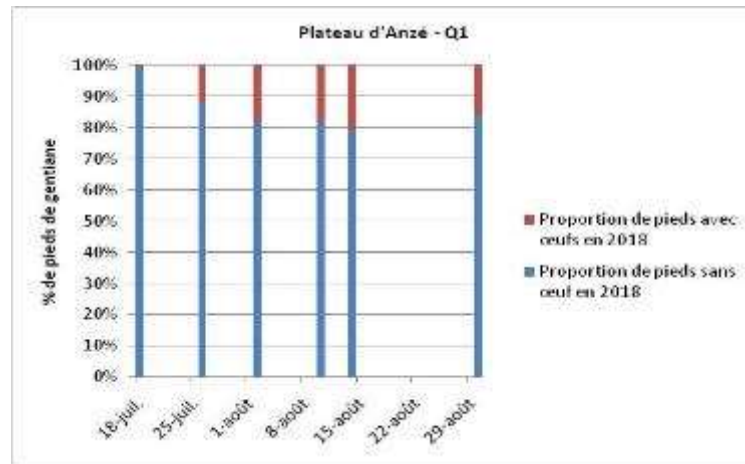


Fig. 282. Evolution au cours du temps des proportions de pieds de *G. pneumonanthe* avec et sans pontes pour le site Plateau d'Anzé en 2018.

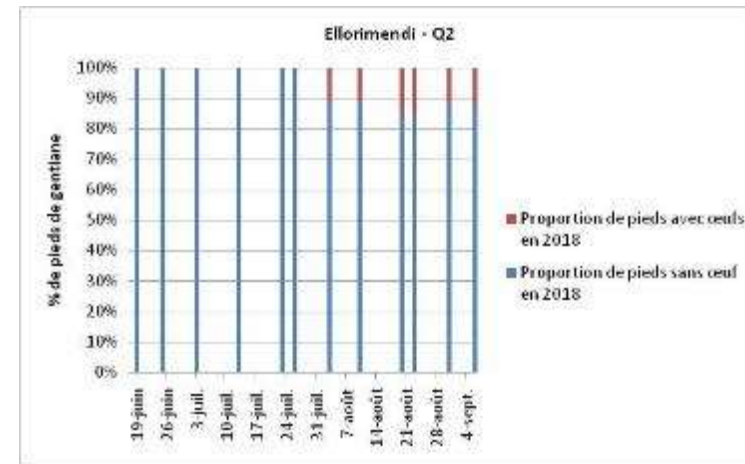


Fig. 283. Evolution au cours du temps des proportions de pieds de *G. pneumonanthe* avec et sans pontes pour le site Ellorimendi en 2018.

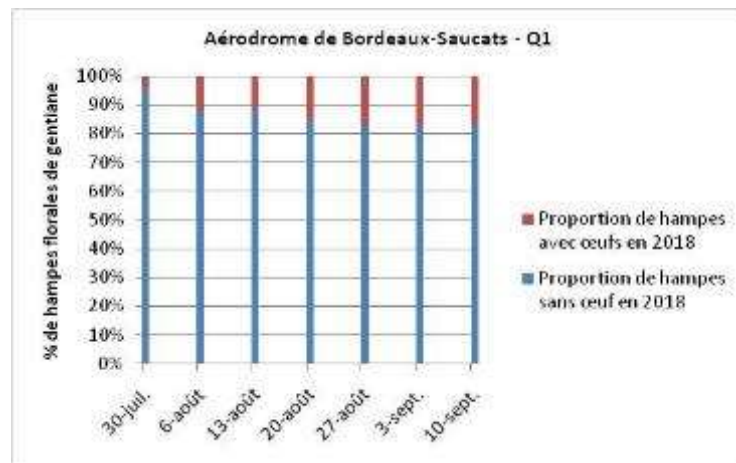


Fig. 284. Evolution au cours du temps des proportions de hampes de *G. pneumonanthe* avec et sans pontes pour le site Aéroport Bordeaux-Saucats en 2018.

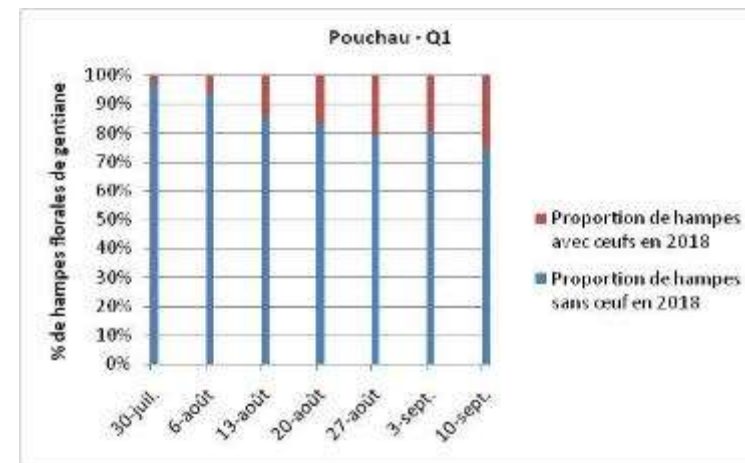


Fig. 285. Evolution au cours du temps des proportions de hampes de *G. pneumonanthe* avec et sans pontes pour le site Pouchau en 2018.

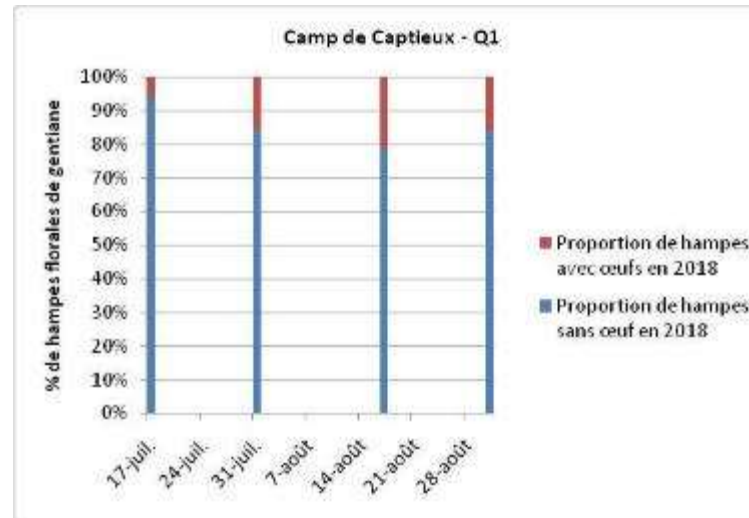


Fig. 286. Evolution au cours du temps des proportions de hampes de *G. pneumonanthe* avec et sans pontes pour le site Camp de Captieux en 2018.

### 6.4.3 Discussion

L'objectif global de l'étude est de déterminer les impacts potentiels du changement climatique sur les populations de *Gentiana pneumonanthe* et d'en évaluer les conséquences sur les populations de *Phengaris alcon* dont la survie dépend en partie de cette plante. En 2018, l'objectif était de mettre en place les premiers suivis et d'en analyser les premiers résultats par une approche descriptive.

#### – Méthode et effort d'échantillonnage

Le recensement des pieds de *G. pneumonanthe* sur l'ensemble du périmètre de chaque site, réalisé tous les deux ans, a pour but de voir si des changements opèrent au niveau de la répartition de *G. pneumonanthe* au cours du temps. D'après l'analyse du plus proche voisin, il apparaît que les gentianes se distribuent de manière plutôt agrégative sur l'ensemble des sites étudiés, avec des zones où la densité de *G. pneumonanthe* est donc plus importante. La méthode de suivi étant assez lourde dans son application (4 à 6 h pour la lecture d'un quadrat de 100m<sup>2</sup>), la décision prise en 2017 a été de ne suivre qu'un seul quadrat de 100m<sup>2</sup> par an, afin d'obtenir un compromis entre temps passé et pression d'observation (MALLARD, 2017b). Les quadrats de suivis ont donc été positionnés dans les zones à forte densité de *G. pneumonanthe*, la répartition spatiale de cette plante s'y prêtant bien, afin d'observer un maximum de pieds dans un même quadrat. Il avait été évoqué la possibilité de changer de place un quadrat si la densité de *G. pneumonanthe* à l'intérieur de celui-ci venait à être trop faible pour une quelconque raison (modification des conditions édaphiques, perturbations, etc.). Cependant, un tel changement risquerait d'interférer dans la continuité du suivi. Cette proposition peut donc faire l'objet d'une discussion lors du prochain conseil scientifique du programme en 2019.

Aussi, une importante sous-estimation du nombre de pieds de *G. pneumonanthe* a été constatée lors de leur recensement sur l'ensemble du périmètre des sites. C'est ainsi plus de la moitié des pieds de *G. pneumonanthe* qui n'est pas détectée lors de ce recensement. Cela est cependant normal puisque l'effort de détection est beaucoup moins important par rapport à l'effort mis en œuvre lors des suivis du quadrat (végétation minutieusement fouillée). La surface de chaque site étant importante, il était nécessaire de faire un compromis entre temps passé à détecter les gentianes et la pression d'observation.

Enfin, pour suivre la phénologie d'une espèce de plante, il est vivement recommandé de suivre au moins 10 à 20% des individus composant la population (CONSERVATOIRE BOTANIQUE NATIONAL SUD-ATLANTIQUE, 2017). Le Plateau d'Anzé est le site qui présente le plus gros pourcentage d'individus suivis par rapport au nombre total de pieds de *G. pneumonanthe* (52% d'individus suivis), ce pourcentage étant nettement supérieur à celui recommandé. Les sites Ellorimendi et Aérodrome de Bordeaux-Saucats, quant à eux, présentent un pourcentage d'individus suivis proche de 15%, ce qui correspond à la valeur recommandée. Ainsi, ces chiffres, pris isolément, semblent indiquer que le suivi d'un seul quadrat de 100m<sup>2</sup> est suffisant pour suivre 10 à 20% des individus. Seulement, il faut se rappeler que le nombre total de pieds de *G. pneumonanthe* a été largement sous-estimé sur les trois sites. Par conséquent, le nombre d'individus suivis par rapport au nombre total de pieds de *G. pneumonanthe* est à relativiser et est sûrement plus proche des 10%, voire inférieur pour l'année 2018.

## – Biais dans la méthode de comptage

### Biais observateur dans le comptage de *G. pneumonanthe*

Il est important de noter l'existence d'un biais observateur au niveau du comptage des pieds et des hampes de *G. pneumonanthe*. En effet, il est apparu parfois difficile de distinguer de façon certaine des pieds de *G. pneumonanthe* entre eux, entraînant ainsi des écarts au niveau du nombre de pieds et de hampes entre les suivis. Les analyses des résultats du comptage du nombre de *G. pneumonanthe* (pieds et hampes) ont montré que ce nombre augmentait au fur et à mesure des suivis. Par conséquent, si l'on part de ce postulat, le nombre de pieds ou de hampes à l'instant t+1 devrait être supérieur ou, tout du moins, égal à celui à l'instant t. Or, en regardant le nombre de pieds et de hampes à l'échelle du quadrat de 4m<sup>2</sup> (un observateur par quadrat de 4m<sup>2</sup>, résultats non présentés), il est apparu que parfois ce nombre décroît, voire est parfois nul. Par exemple, pour le quadrat de 4m<sup>2</sup> n°10 sur le site Camp de Captieux, trois suivis ont été réalisés, tous par des observateurs différents. Lors du premier passage, 1 pied avec 6 hampes avait été observé ; lors du deuxième passage, ce sont 3 pieds et 7 hampes au total qui ont été observés ; lors du troisième passage aucun pied n'a été relevé. Il est ainsi constaté que le nombre total de hampe ne diffère que d'une seule hampe alors que le nombre total de pied diffère de deux pieds. Cela laisse à supposer que les deux premiers observateurs n'ont pas compté de la même façon les pieds de *G. pneumonanthe*. De plus, l'absence de pied lors du troisième passage (troisième observateur) laisse à penser que leur détection n'était pas forcément évidente et que le troisième observateur ne les a pas repérés. Ainsi, cet exemple témoigne bien de la difficulté parfois à individualiser et compter les pieds de *G. pneumonanthe* mais aussi à les détecter, l'expérience de l'observateur, son niveau de fatigue et les conditions météorologiques le jour du comptage (pluie, forte chaleur) pouvant influencer la détection des gentianes, amenant à des variations dans leur comptage.

### Biais observateur au niveau de l'attribution des catégories bourgeons et fleurs de *Gentiana pneumonanthe*

Un biais réside dans l'attribution des catégories fleurs ou bourgeons lors de la notation de la phénologie sur le terrain. En effet, il est apparu parfois difficile de classer la pièce florale dans l'une ou l'autre catégorie, notamment pour les bourgeons/fleurs desséchés suite au passage des chenilles, laissant ainsi chaque observateur décider de la catégorie à attribuer, sans véritable ligne de conduite.

Afin de minimiser au plus les différents biais, notamment le biais observateur, il sera proposé de réaliser une journée commune en 2019, rassemblant l'ensemble des observateurs du programme, afin de réaliser un calage sur la méthodologie et de s'assurer que chaque observateur opère bien de la même façon.

## – Dynamique des populations de *G. pneumonanthe*

Une augmentation des effectifs de *G. pneumonanthe* a été observée pour les sites Aéroport de Bordeaux-Saucats et Plateau d'Anzé entre 2016 et 2018. Selon OOSTERMEIJER ET AL. (1994), la présence de pieds avec de nombreuses hampes est un signe de sénilité. De ce fait, sur l'ensemble des sites, la vitalité des populations semble bonne puisque le nombre moyen de hampes par pieds est de deux, ce qui montre que les pieds étudiés sur les cinq sites produisent en moyenne peu de hampes. Des vieux pieds ont tout de même été observés sur les sites Plateau d'Anzé et Ellorimendi avec des pieds à plus d'une vingtaine de hampes. Par contre, la production de fleurs est peu élevée pour l'ensemble des sites (nombre moyen de fleurs par hampes inférieur à 1 pour tous les sites) ce qui signifie qu'un certain nombre de hampes sont sans fleurs. Par contre, pour les sites Plateau d'Anzé et Ellorimendi, le nombre moyen de fleurs par pieds est légèrement supérieur à 1 ce qui signifie que tous les pieds possèdent en

moyenne une fleur, ce qui n'est pas le cas pour les trois autres sites situés en Gironde (nombre moyen de fleurs par pied inférieur à 1). Des périodes de sécheresse durant le printemps auraient des conséquences négatives sur la densité et la vitalité des populations de *Gentiana pneumonanthe* en influençant notamment le nombre de pieds fleuris et le nombre de fleurs par pieds (ROSE *et al.*, 1998 ; KESEL & URBAN, 1999 in CERRATO *et al.*, 2016). Ainsi, les importantes précipitations de l'hiver et du printemps de l'année 2018 ont pu notamment favoriser le développement de *G. pneumonanthe* sur les sites, *G. pneumonanthe* étant une espèce hygrophile particulièrement sensible aux épisodes de sécheresse (GREVILLIOT *et al.*, 1998 in CERRATO *et al.*, 2016). Par contre, selon ROSE *et al.* (1998) in DUPONT (2010a), le nombre d'inflorescences dépend des conditions climatiques des années précédentes. Un hiver très pluvieux sera défavorable à la floraison alors qu'une année chaude sèche favorisera la floraison pour les deux années suivantes. Ainsi, l'analyse sur plusieurs années permettra par la suite de voir d'éventuelles fluctuations dans le nombre total de *G. pneumonanthe*, le nombre moyen de hampes par pieds et le nombre de fleurs par pied qui pourront être reliés, ou non, aux conditions météorologiques, sachant que d'autres facteurs peuvent également rentrer en compte (le mode de gestion, la présence de sol nu favorisant la germination, etc.). Compte tenu de la bibliographie, l'hypothèse, face à un réchauffement climatique, serait donc une diminution du nombre de *G. pneumonanthe* au cours du temps et une augmentation de la production de fleurs.

#### – Période de floraison de *Gentiana pneumonanthe*

Le pic de floraison correspond au moment où un maximum de pieds de *G. pneumonanthe* sont observés en pleine floraison ou bien où le nombre de fleurs est maximal. Pour l'ensemble des sites, le nombre maximal de fleurs est atteint à la dernière date des suivis. Il semblerait donc que, sur la période des suivis, le pic de floraison de *G. pneumonanthe* se situerait fin août-début septembre pour l'ensemble des sites. Toutefois, pour Pouchau et Aérodrome de Bordeaux-Saucats, le nombre de fleurs reste très faible ce qui laisserait supposer que le pic de floraison est encore plus tardif. De plus, la date de début de la période de floraison diffère selon les sites (jusqu'à 5 à 6 semaines d'écart entre sites). La floraison est plus précoce sur ceux situés plus au sud par rapport aux sites situés plus au nord. Ces sites sont notamment caractérisés soit par des précipitations plus importantes (site Ellorimendi au Pays-Basque) soit par des températures plus fraîches (site Plateau d'Anzé dans les Pyrénées à 800m d'altitude). Il semblerait donc que la floraison de *G. pneumonanthe* soit influencée par le niveau des précipitations et par les températures. CERRATO ET AL. (2016) ont obtenu les mêmes résultats en étudiant la floraison de *Gentiana pneumonanthe* sur un site en haute altitude et un site en basse altitude caractérisés par des conditions climatiques différentes. METCALFE (2005) ont également montré que, pour le lierre commun (*Hedera helix*), qui est une espèce à floraison tardive, l'apparition des premières fleurs semble être reliée au niveau de précipitations estivales et à une température inférieure à 21°C. Avec un réchauffement climatique, induisant une sécheresse plus précoce et un été rallongé (LE TREUT, 2013), les stades phénologiques début et pleine floraison seraient alors retardés. POST & STENSETH (1999) ont également montré ce phénomène pour la callune (*Calluna vulgaris*), espèce à floraison estivale. Ainsi, sur l'appui de ces études, l'hypothèse est que les stades phénologiques début et pleine floraison risquent d'être également retardés pour *Gentiana pneumonanthe*, espèce hygrophile à floraison tardive. Les suivis, répétés au cours du temps, vont ainsi permettre de valider ou invalider cette hypothèse.

#### – Relation entre *Phengaris alcon* et *Gentiana pneumonanthe*

La position de l'œuf a une influence sur les chances de survie de la chenille de *Phengaris alcon*. En effet, après éclosion, la petite chenille s'enfonce dans la fleur afin de se nourrir et se développer

(LAFRANCHIS *et al.*, 2015). Par conséquent, les chenilles issues des œufs pondus sur la corolle ou le calice auront plus de chances de gagner l'ovaire de la fleur et donc de survivre. Pour étudier ce phénomène, le comptage des œufs a été réalisé en distinguant leur position sur les bourgeons ou fleurs (même catégorie), sur la tige et sur les feuilles. L'analyse de ces résultats a montré que *Phengaris alcon* pondait essentiellement sur les bourgeons et les fleurs pour tous les sites. C'était déjà le cas en 2017 pour les sites Plateau d'Anzé, Ellorimendi et Aérodrome de Bordeaux-Saucats. De plus, pour la majorité des sites, lorsque les suivis débutent, des pontes sont déjà présentes sur les gentianes, excepté pour le site Ellorimendi pour lequel les premières pontes ne sont observées qu'après 4,5 semaines après le début des suivis. Ces observations permettent d'indiquer que *Phengaris alcon* vole déjà à partir de mi-juillet (ou fin juillet selon les sites), soit deux à quatre semaines avant le début de la période de floraison de *G. pneumonanthe*. Par conséquent, les pontes semblent s'effectuer plutôt sur les bourgeons que sur les fleurs épanouies. D'après plusieurs auteurs (THOMAS & ELMES, 2001 ; BONNELI *et al.*, 2005 in CERRATO *et al.*, 2016), les femelles évitent de pondre sur les bourgeons nouvellement formés et sur les fleurs après anthèse et préfèrent ainsi pondre sur des bourgeons aux conditions intermédiaires.

D'autre part, l'étude du nombre de pieds avec pontes a révélé que les œufs étaient concentrés sur moins de 30% des pieds (ou hampes). Nowicki *et al.* (2009) et d'autres études (FIGURNY & WOYCIECHOWSKI, 1998 ; WYNHOFF, 2001 ; NOWICKI *et al.*, 2005 ; NOWICKI *et al.*, 2007 ; ÁRNYAS *et al.*, 2009 in NOWICKI *et al.*, 2009) avaient également obtenus des résultats similaires dans leurs études (30–60% des pieds utilisés par les femelles), laissant supposer que les femelles pondent préférentiellement sur certaines gentianes. Cette préférence serait liée à la localisation des pieds, leur apparence ou bien encore à leur différence de stade phénologique. D'après Nowicki *et al.* (2009), il semblerait que la taille et le nombre de fleurs de *G. pneumonanthe* influencent la stratégie de ponte. En effet, dans leur étude, ils ont montré que les gentianes avec pontes étaient significativement plus hautes et avaient plus de fleurs. Selon ces mêmes auteurs, il semblerait par contre, que ni la densité locale de *G. pneumonanthe* ni la densité locale des fourmières hôtes ne soient déterminantes pour la ponte. Or, d'après ELMES *ET AL.* (1996) in NOWICKI *ET AL.* (2009), qui ont étudié *Phengaris alcon* écotype « *rebeli* », la densité de *Gentiana cruciata*, plante hôte du papillon, serait un facteur limitant pour la stratégie de ponte si sa densité est inférieure à 1500 pieds par hectare. Cela appuie l'intérêt d'étudier des sites présentant une population importante de *G. pneumonanthe*. Ce résultat appuie également une des hypothèses concernant l'évolution du nombre d'œufs pondus par *Phengaris alcon* face au réchauffement climatique. En partant du postulat que le nombre de *G. pneumonanthe* va diminuer sur les sites avec le réchauffement climatique, les femelles disposeraient alors de moins de choix dans les gentianes pour pondre. Cela se traduirait alors par une augmentation du nombre moyen d'œufs pondus par bourgeons et par fleurs sur les gentianes choisies par les femelles, ayant pour conséquences d'augmenter la concurrence entre chenilles et donc diminuer leur chance de survie. En effet, parmi les œufs pondus sur les bourgeons ou fleurs, seulement 3 à 8 chenilles arriveront à s'enfoncer dans la fleur où les chenilles les plus vigoureuses tueront et mangeront les plus faibles (cannibalisme) (LHONORE, 1998). À terme, ce sera seulement 1, plus rarement 2 chenilles, qui pourront poursuivre leur développement et sortir de la fleur (LHONORE, 1998).

Une autre hypothèse concernant l'évolution du nombre d'œufs pondus face au réchauffement climatique concerne la phénologie de l'Azuré des mouillères. Selon NOWICKI *ET AL.* (2009), la période de vol des adultes est une phase sensible aux conditions climatiques du cycle de vie de l'Azuré des mouillères puisqu'elle est conditionnée par la température et la pluviométrie. Des températures basses ou trop hautes ainsi qu'une pluviométrie importante auront des répercussions négatives sur la survie des adultes et donc sur l'activité de ponte. Ainsi, le réchauffement climatique risque de

perturber l'activité de vol des adultes et par conséquent l'activité de pontes, ce qui se traduira par un nombre global d'œufs pondus décroissant au cours du temps dans l'hypothèse d'un impact négatif du changement climatique.

Une troisième hypothèse serait plutôt liée à la phénologie de *G. pneumonanthe* et concernerait alors la qualité des pontes. Face à un réchauffement climatique, si la floraison de *G. pneumonanthe* devient plus tardive, alors l'absence de *G. pneumonanthe* au stade phénologique adapté au moment de la période de ponte de *Phengaris alcon* conduirait les femelles à pondre plutôt sur les tiges et les feuilles plutôt que sur les bourgeons et fleurs. Cela se traduirait alors par une évolution des proportions d'œufs pondus sur les différentes parties de *G. pneumonanthe* en défaveur des bourgeons et fleurs.

#### – Conclusion et perspectives

Les analyses de 2018, par une approche plutôt descriptive des données, auront permis à la fois de caractériser les populations de *Gentiana pneumonanthe* et de *Phengaris alcon* étudiées et d'émettre des hypothèses quant à la réponse de ces deux modèles biologiques face au réchauffement climatique. Elles constituent également une première base pour les futures analyses et éclairent sur les paramètres à prendre en compte pour étudier les effets du changement climatique. Les suivis à long terme devraient ainsi permettre de répondre aux hypothèses émises. De plus, la comparaison des résultats entre les différents sites permettra éventuellement de voir l'effet de la latitude et de l'altitude. Par contre, il est important de souligner que le cycle de vie de *Phengaris alcon* dépend également d'une fourmi hôte du genre *Myrmica*. Cependant, aucun protocole n'a été conçu pour étudier les effets du changement climatique sur ces fourmis. Or, d'après Nowicki *et al.* (2009), la période d'adoption des chenilles par les fourmis ainsi que la période de reprise de l'activité des fourmilières au printemps sont des périodes importantes pour le développement de l'Azuré des mouillères qui peuvent aussi être sensibles aux conditions météorologiques. Ces facteurs devront donc être pris en compte dans l'interprétation des futures analyses des résultats.