



**UNIVERSITÉ  
TOULOUSE III  
PAUL SABATIER**



Université  
de Toulouse

**Rapport de stage**

# **Évaluation de la dynamique des populations et de la gestion de la gentiane jaune (*Gentiana lutea* L.).**

**Maitre de stage : Laure CIVEYREL**

**Étudiant : Julián OLVERA\***

**Mai 2019**



\* Courriel : [julian.olvera@ciencias.unam.mx](mailto:julian.olvera@ciencias.unam.mx)

# Évaluation de la dynamique des populations et de la gestion de la gentiane jaune (*Gentiana lutea* L.).

Maître de stage : Laure Civeyrel

Étudiant : Julián Olvera

---

**Résumé :** La gentiane jaune (*Gentiana lutea* L.) est une plante pérenne répartie essentiellement dans les régions montagnardes du sud et centre de l'Europe jusqu'en Asie mineure. Sa racine est riche en composés chimiques largement appréciés en médecine traditionnelle et en liquoristerie. De nos jours, c'est la production de liqueurs digestives qui entraîne la demande principale de la ressource dont la vaste majorité provient de populations naturelles. En France les populations de *G. lutea* dans le Massif Central sont les plus impactées par cette activité, ce qui a entraîné une diminution importante des effectifs de ses populations voire leur raréfaction. Dans cette étude nous avons évalué la structure et la dynamique de huit populations de *G. lutea* du Massif Central en utilisant l'approche des modèles matriciels de populations. Nos simulations montrent que cinq des huit populations étudiées sont en phase de croissance, tandis que les trois autres sont plutôt en décroissance. L'analyse des facteurs d'élasticité indique que la permanence et la décroissance des plantes d'une classe de taille à l'autre sont des processus démographiques importants pour les dynamiques observées. Les plantes jeunes et les premiers jeunes reproducteurs font l'apport plus important à la dynamique de chaque population. À la suite du processus et la modélisation que nous avons effectué, nous recommandons que la cueillette se focalise sur les plantes de plus grande taille, afin de ne pas compromettre le maintien des populations naturelles de cette espèce.

*Mots clé :* Conservation, Cueillette, *Gentiana lutea*, Gestion durable, Massif Central, Modèles matriciels de populations.

## 1. Introduction

Les plantes sont utilisées par l'homme depuis la plus haute antiquité, comme source de nourriture et de médicaments. C'est une pratique profondément enracinée des populations européennes, surtout dans les régions possédant une haute diversité floristique comme le pourtour méditerranéen et certaines régions montagneuses (*e.g.* Alpes, Pyrénées, Cordillère Cantabrique et Carpates parmi d'autres) (Pardo-de-Santayana *et al.*, 2010 ; Cornara *et al.*, 2014). De nombreux remèdes maison pour le traitement de maladies, des épices et des compléments alimentaires ou même la base principale de quelques plats traditionnels, étaient fournis par différentes espèces végétales locales (Pardo-de-Santayana *et al.*, 2010 ; Cornara *et al.*, 2014).

La modernisation et la mécanisation de l'agriculture ainsi que le développement de l'industrie pharmaceutique, a restreint l'utilisation traditionnelle des plantes et, par conséquent, la connaissance de certaines plantes et de leurs usages a régressé, ne persistant que dans les pays les moins développés (Pardo-de-Santayana *et al.*, 2010). Toutefois, divers facteurs culturels (*e.g.* le sentiment d'appartenance régional) et économiques (*e.g.* le tourisme et la demande de produits locaux authentiques) ont rendu possible la permanence des savoirs et usages ancestraux de certaines espèces (Pardo-de-Santayana *et al.*, 2010 ; Cornara *et al.*, 2014). On continue ainsi à trouver des confitures, des infusions, des liqueurs, des bonbons et bien d'autres produits locaux faits à base de plantes locales (Santayana *et al.*, 2010 ; Cornara *et al.*, 2014).

Cette persistance d'utilisations traditionnelles de différentes espèces végétales employées dans l'élaboration de médicaments, d'aliments ou de boissons entraîne parfois une pression accrue sur les populations végétales concernées en raison de l'augmentation du nombre de consommateurs (Zschocke

*et al.*, 2000 ; Kala, 2005 ; Ramírez-Malagón *et al.*, 2008). La récolte traditionnelle de quelques espèces, qui se faisait parfois à la main de manière saisonnière ou avec méthodes très rudimentaires, a subi une accélération et même une mécanisation assez importante (Kala, 2005 ; Ramírez-Malagón *et al.*, 2008). C'est en particulier le cas de la gentiane jaune.

La gentiane jaune ou grande gentiane (*Gentiana lutea* L. – famille des Gentianaceae) est une plante originaire des régions montagneuses du sud de l'Europe et jusqu'en Asie occidentale (FranceAgriMer, 2015) qui est riche en substances chimiques très complexes, présentes dans ses racines (Ando *et al.*, 2007). De nombreuses études ont été menées concernant les propriétés de cette espèce. Les racines de cette plante sont largement utilisées dans la médecine traditionnelle européenne et asiatique dans le traitement des affections cardiaques, digestives et hépatiques, grâce à leurs qualités amères, antibactériennes, antioxydantes et anti-inflammatoires (Cornara *et al.*, 2014 ; Om *et al.*, 2017).

La demande en gentiane jaune pour la médecine traditionnelle est importante, mais sa principale utilisation se trouve dans l'élaboration de liqueurs digestives et autres boissons alcoolisées (Vender *et al.*, 2010 ; FranceAgriMer, 2015). La demande croissante de racines pour la fabrication de ces divers produits entraîne une surexploitation de la ressource dans plusieurs régions, phénomène aggravé par le fait que la matière première récoltée provient de populations naturelles (Vender *et al.*, 2010 ; Radanovic *et al.*, 2014 ; FranceAgriMer, 2015 ; David, 2017).

La France n'échappe pas à cette situation ; l'arrachage de la gentiane, historiquement faite manuellement à l'aide d'une fourche « du diable », s'est progressivement mécanisée et la fourche a été remplacée par une mini-pelle (Poyade, 2013 ; David, 2017). On estime la récolte dans les dernières années entre 1000 et 1500 tonnes de racines par an, dont 80 % proviennent principalement des populations naturelles du Massif Central et à un moindre degré des Alpes et des Pyrénées (Poyade, 2013 ; David, 2017). La France apparaît comme le pays où l'extraction de la plante est la plus élevée et très probablement comme le principal fournisseur de la ressource pour d'autres pays (FranceAgriMer, 2015).

La raréfaction de la ressource sauvage a entraîné la culture de la gentiane comme alternative à la cueillette dans les populations naturelles (Poyade, 2013 ; Radanovic *et al.*, 2014 ; FranceAgriMer, 2015). Néanmoins, les particularités biologiques de l'espèce (*e.g.* des conditions particulières pour la germination, une grande susceptibilité aux gelées pendant les premiers stades et un développement en général lent), la durée de la culture et même parfois la faible production finale, ont empêché une large diffusion de cette pratique (Poyade, 2013 ; Radanovic *et al.*, 2014).

Les dommages consécutifs à la cueillette des populations naturelles entraînent une raréfaction et même la menace d'extinction locale de l'espèce dans certaines régions (Vender *et al.*, 2010 ; Fois *et al.*, 2016). En réaction plusieurs pays ont mis en place diverses mesures de protection et de conservation de la plante allant de la réglementation de la cueillette jusqu'à l'interdiction de l'arrachage de la plante (*e.g.* en Allemagne, Suisse, Autriche et dans certaines régions d'Espagne) (FranceAgriMer, 2015 ; David, 2017). Ces dispositions étant plus ou moins efficaces (Fois *et al.*, 2016).

Au niveau européen la gentiane jaune est incluse dans la liste rouge d'espèces menacées et son prélèvement est défini selon les plans de gestion existants (FranceAgriMer, 2015). En France toutefois la réglementation sur le prélèvement de la gentiane jaune est moins stricte ; cette plante n'est pas une espèce protégée alors qu'elle est concernée par l'arrêté ministériel du 13 octobre 1989 (FranceAgriMer, 2015 ; David, 2017). Par conséquent, le taux de prélèvement est limité par différents arrêtés préfectoraux qui peuvent varier en fonction de la région ou du département (FranceAgriMer, 2015 ; David, 2017).

L'hétérogénéité de la protection accordée à la plante selon les régions est précisément un des facteurs induisant une augmentation de la pression sur les populations naturelles, là où la réglementation est soit pas assez développée ou inexistante (David, 2017). Cette situation est illustrée par l'augmentation de la cueillette dans les populations naturelles des Pyrénées, à la suite du durcissement des réglementations concernant les populations du Massif Central (David, 2017).

Malgré la demande importante de la ressource dans plusieurs endroits et la pression de surexploitation sur l'espèce en général, l'état de conservation des populations existantes et l'impact de la cueillette exercée sur elles n'ont été que rarement et superficiellement analysés (mais voir Vender *et al.*, 2010 ; Fois *et al.*, 2016 ; David, 2017). Par conséquent les principaux objectifs de cette étude sont d'analyser le schéma démographique et la structure de huit populations de gentiane jaune situées dans le Massif Central, là où la cueillette s'est intensifiée au cours des dernières années, et d'utiliser ces données pour modéliser différents scénarios de cueillette afin d'estimer et de proposer un taux de prélèvement compatible avec le maintien des populations naturelles.

## 2. Matériels et méthodes

### 2.1 Espèce d'étude

La gentiane jaune ou grande gentiane (*Gentiana lutea* L. famille des Gentianacées) est distribuée dans les régions montagneuses d'Europe centrale et méridionale jusqu'en Asie mineure (Kéry *et al.*, 2000). En France, elle est présente dans le Massif Central, les Pyrénées et les Alpes (FranceAgriMer, 2015).

Cette plante vivace (*i.e.* pérenne) se caractérise par ses feuilles larges, ovales et glabres, pétiolées à la base, concaves et embrassant la tige, cette dernière pouvant dépasser le mètre d'hauteur (Saule, 1991). Les petites fleurs à court pédoncule, avec 5-9 pétales, lancéolés et aigus, apparaissent de juin à début août en formant des bouquets d'un jaune éclatant qui surgissent à la base des feuilles apicales (Saule, 1991 ; Veiga *et al.*, 2015). La racine, charnue, est riche en nombreux composés chimiques (*e.g.* des glycosides, terpènes, xanthonés, flavonoïdes, iridoïdes et bien d'autres acides) de grand intérêt pour l'industrie alimentaire et médicale (Ando *et al.*, 2007).

Pendant la floraison, la pollinisation est faite principalement par plusieurs espèces de bourdons (*e.g.* *Bombus pratorum*, *B. soroensis*, *B. terrestris*), mais d'autres hyménoptères et quelques diptères peuvent aussi y participer (Kéry *et al.*, 2000 ; Veiga *et al.*, 2015). Ensuite, les fleurs fécondées laissent la place à des capsules ovoïdes un peu pointues, contenant une grande quantité de graines ovales, aplaties et ailés (Saule, 1991), donc la dispersion est supposée anémophile (Veiga *et al.*, 2015b).

Considérée généralement comme auto-incompatible (Kéry *et al.*, 2000), la gentiane jaune est capable de produire graines viables via l'autopollinisation (Rossi *et al.*, 2016). Toutefois, ce mode de pollinisation entraîne une forte diminution dans la production de fruits et de graines, ces dernières ayant un taux de germination plus faible (Losada *et al.*, 2015 ; Rossi *et al.*, 2016). Ainsi, le succès reproducteur de cette plante et le maintien de ses populations dépend fortement de la contribution des pollinisateurs (Losada *et al.*, 2015 ; Rossi *et al.*, 2016).

La situation décrite ci-dessus se complique encore pour les populations de petite taille ; Kéry et collaborateurs (2000) ont signalé une diminution dans la production et la germination de graines, ainsi qu'une moindre performance des plantules dans les populations de *Gentiana lutea* de petite taille. Les populations à faible effectif peuvent présenter des déficiences dans la pollinisation et connaître des taux

plus élevés de consanguinité et d'accumulation de mutations délétères, ce qui peut limiter la capacité adaptative de ces populations aux changements climatiques et démographiques et les rendre plus vulnérables à l'extinction (Kéry *et al.*, 2000 ; Reed, 2005 ; Rossi *et al.*, 2016). Plusieurs populations naturelles de *Gentiana lutea*, à des endroits différents, semblent être affectées par ces conditions particulières, phénomènes qui ont été aussi décrits pour d'autres espèces de Gentianacées (Oostermeijer *et al.*, 1994 ; Fischer et Matthies, 1997 ; Reed, 2005).

## 2.2 Populations étudiées

Les données analysées dans cette étude concernent huit populations de *Gentiana lutea* situées dans le Massif Central en France. Cette région montagneuse (coordonnées 46° - 43° N et 2° - 6° E) est la plus étendue du pays avec une extension à peu près de 85 000 km<sup>2</sup> et une élévation moyenne d'environ 700 m (Curt *et al.*, 2001 ; Rioual, 2002)

Le climat caractéristique de cette région est l'atlantique avec une température moyenne annuelle allant de 8 à 13 °C et des précipitations moyennes annuelles allant de 1000 à 1600 mm selon la position dans le massif (Curt *et al.*, 2001). Cependant, les sites plus élevés peuvent être plus secs, avoir des vents plus forts et une température moyenne annuelle plus basse ainsi que plus de jours gelés (Rioual, 2002).

Le sol a une origine granitique et métamorphique qui se révèle par la présence des granites, gneiss et des schistes, mais des roches ignées comme les basaltes, trachytes et labradorites sont aussi présentes, surtout dans les sites qui dépassent les 1000 m d'altitude, avec une origine volcanique (Rioual, 2002). En général, la plupart des sols sont acides et pauvres en nutriments en raison de l'origine du substrat et des pratiques agricoles et de silviculture anciennes (Curt *et al.*, 2001).

Toutes les données et les informations analysées dans ce travail ont été aimablement fournies par M. Gire du Conservatoire National Botanique des Pyrénées en Midi-Pyrénées.

## 2.3 Analyse de données

Pour caractériser la taille et la structure de chaque population de *G. lutea* analysée, nous avons utilisé des comptages de nombre d'individus de différentes tailles et déterminé la proportion relative de chaque catégorie de taille par rapport à l'effectif total. À cette fin, dans ce travail nous avons gardé un système de classe de taille des individus de *G. lutea* proposé dans des études précédentes (Monsieur L. Gire *en communication personnelle*) qui comprend 14 stades de développement (Annexe 1) ; s, a, b, c, d, d+h, A, A+h, B, B+h, C, C+h, D et D+h. Stades décrivant la qualité des individus allant de plantule (stade s), stade jeune (de a – d), ou plantes adultes se reproduisant (stades A - D+h dont h indique la présence de hampes florales).

Pour l'analyse de la dynamique des populations de *G. lutea* et la modélisation de divers scénarios de cueillette, nous avons utilisé l'approche des modèles matriciels de populations. Ces types de modèles, introduits il y a 30 ans et aujourd'hui largement utilisées en écologie des populations, sont à pas discrets (*i.e.* générations non chevauchantes) et sans densité-dépendance (les effectifs n'influencent pas la valeur des paramètres démographiques). Ils permettent donc de simuler la démographie des populations pour des espèces avec des stades faciles à distinguer (*i.e.* qui possèdent un cycle de vie connu), avec une reproduction saisonnière et sous l'hypothèse d'une compétition intraspécifique relativement limitée. Enfin, ces modèles s'appuient sur l'algèbre linéaire puisque les effectifs des différents stades à chaque génération sont regroupés dans un vecteur dit d'états et l'ensemble des paramètres démographiques dans une matrice dite de transitions. Ce formalisme mathématique permet de décrire rapidement la

démographie asymptotique (après un grand nombre de générations) d'une population (Caswell, 2001 ; Gurevitch *et al.*, 2006 ; Olvera, 2018).

La matrice de transitions contient toutes les estimations des probabilités de transition entre les différentes classes d'âge ou de taille qui caractérisent la population (Caswell, 2001 ; Gurevitch *et al.*, 2006). Les transitions classiques décrites d'un temps  $t$  à un temps  $t+1$  par ces modèles sont la croissance et la décroissance des individus vers d'autres classes d'âge ou de taille (*i.e.* les diagonales supérieure et inférieure respectivement), la permanence dans la même classe (*i.e.* la diagonale centrale) et, de manière implicite, la mortalité (dans le cas où les individus ne grandissent, ne décroissent ou ne restent pas dans la même classe) (Caswell, 2001 ; Gurevitch *et al.*, 2006). Il est possible aussi d'ajouter la fécondité des classes reproductives (*i.e.* la première ligne dans la matrice), c'est-à-dire, l'apport que font les individus reproductifs à la première classe de la population qui peut-être des propagules (*e.g.* de graines, drageons ou tubercules) ou des jeunes individus (Caswell, 2001 ; Gurevitch *et al.*, 2006).

Les informations disponibles sur les populations étudiées concernent la croissance -décroissance et permanence- des plantes au cours du temps. Néanmoins la fécondité des individus n'a pas été évaluée. Afin de construire les matrices de transition de chaque population nous avons établi une valeur de fécondité théorique composée d'un nombre de graines produites par plante adulte (au stade reproducteur) multipliée par une probabilité de germination d'une graine. Ces deux dernières estimations ont été tirées de la bibliographie existante avec des études faites dans des populations naturelles de *G. lutea* dans le nord-ouest de la province de León en Espagne pour la germination (Pérez-García *et al.*, 2012) et dans le côté suisse du massif du Jura pour la fécondité et la survie (Kéry *et al.*, 2000).

La multiplication matricielle du vecteur d'états au temps  $t$  par la matrice de transitions permet de calculer ce même vecteur au temps  $t+1$ . Ainsi, en répétant cette opération, il est possible de simuler la dynamique de la population sur un grand nombre de générations. La valeur propre dominante de la matrice de transitions  $\lambda$  représente le taux de croissance asymptotique de la population.  $\lambda = 1$ ,  $\lambda < 1$  et  $\lambda > 1$  correspondent, respectivement, à une population stable, en décroissance et en croissance. Les vecteurs propres droit et gauche associés à cette valeur propre dominante représentent, respectivement, la structure asymptotique de la population ( $W$ ) et les valeurs reproductives par catégorie de taille ( $V$ ) (Caswell, 2001 ; Gurevitch *et al.*, 2006).

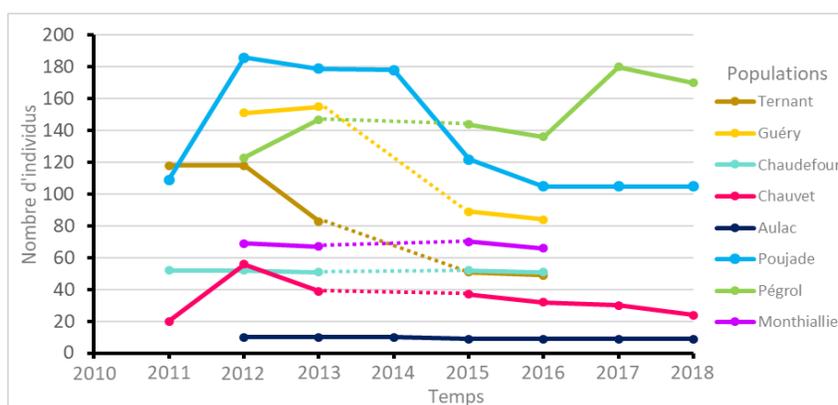
À partir d'une matrice de transition, il est possible de calculer les matrices d'élasticité qui permettent d'estimer l'impact d'un changement de chaque paramètre démographique sur la valeur de  $\lambda$ . Ainsi, il est possible de modéliser divers scénarios démographiques : par exemple, l'augmentation de la mortalité de certains individus, la réduction de la fécondité des adultes, la chute de l'établissement ou du recrutement, et bien d'autres (Caswell, 2001 ; Gurevitch *et al.*, 2006 ; Olvera, 2018). C'est pourquoi les modèles matriciels de populations sont largement appréciés dans les études de conservation biologique, de contrôle des espèces envahissantes ou dans l'exploitation durable de certaines ressources, qui constitue le cadre de cette étude.

Toutes les analyses matricielles (*i.e.* les matrices de transition et d'élasticités) ainsi que les différentes modélisations de cueillette présentées dans ce travail ont été faites avec l'utilisation du logiciel RStudio version 1.1.456.

### 3. Résultats

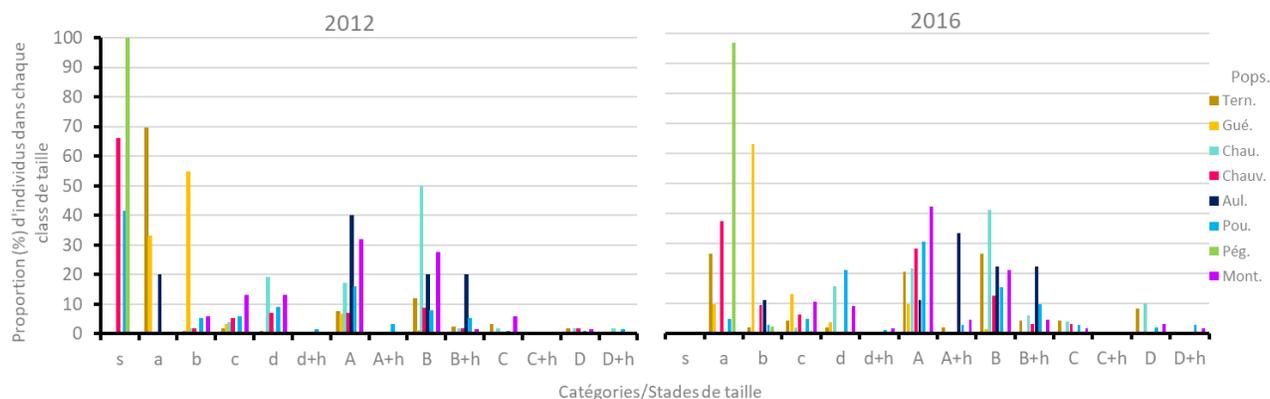
#### 3.1 Taille et structure des populations

Les huit populations de *G. lutea* analysées dans ce travail sont composées d'un nombre variable d'individus, ainsi par exemple, en 2012 la population de Poujade comptait 186 individus tandis que la population d'Aulac n'en comptait que 10 pour la même date. De manière générale, pendant la période d'étude 2011-2018 les populations ont subi une réduction de leurs effectifs plus drastique les unes que les autres, à l'exception des populations de Chauvet et Pégrol qui ont montré une légère augmentation du nombre de leurs individus (Fig. 1).



**Figure 1** Evolution de la taille des populations (nombre d'individus) au cours des années. La première et dernière année d'étude de chaque population sont affichées. La ligne pointillée représente les périodes dans lesquelles les populations n'ont pas été censées.

De la même manière, les populations diffèrent dans leur composition, par exemple, on trouve des populations qui au début de l'étude sont constituées principalement de plantules et d'individus de petite taille (*e.g.* les populations de Pégrol et Chauvet en 2012 possédaient respectivement 100 et 66,07 % de leurs effectifs sous forme des plantules). Certaines populations ont une composition plus équilibrée entre les différentes catégories de taille, voir biaisée vers les stades reproductifs (*e.g.* les populations d'Aulac, Chaudefour et Monthiallier en 2012 avec une proportion d'adultes reproductifs de 80, 75 et 68,5 % respectivement) (Fig. 2a).



**Figure 2** Structure des huit populations de *Gentiana lutea* par classe d'âge, étudiées en 2012 et 2016 (à gauche et à droite respectivement). Nous gardons ici le code couleur concernant chaque population de la figure précédente.

### 3.2 Dynamique des populations

Pour construire les matrices qui décrivent la dynamique de chaque population, on est confronté à un problème majeur ; le manque de données. L'étude concerne huit populations mais qui n'ont pas été échantillonnées de manière complète sur la période considérée. Par exemple, il y a des populations que n'ont été visitées que pendant quatre années (*e.g.* les populations de Guéry et Monthiallier) et d'autres qui l'ont été de façon encore plus intermittente. Seulement deux populations ont été échantillonnées annuellement pendant toute la période d'étude. La composition de chaque population est très variable dans certains cas il n'y avait que des plantules et des jeunes plantes, ce qui a empêché d'estimer les probabilités de transition des catégories de taille restantes et c'est pourquoi il n'a pas été toujours possible de construire les matrices de transition correspondantes.

En raison des contraintes décrites ci-dessus, nous avons décidé de regrouper tous les individus de toutes les populations pour travailler avec une population globale hypothétique qui nous permette d'estimer les probabilités de transition des individus entre les différentes classes de taille dans le période comprise entre 2011 et 2018 (Tableau 1), et c'est à partir de cette matrice qu'on a pu compléter les données manquantes dans les matrices de chaque population, construites pour la même période (2011-2018) (Annexe 2).

**Tableau 1** Matrice de transitions de la population globale hypothétique pour la période 2011-2018<sup>a</sup>

Catégorie nt + 1	Catégorie nt															
	s	a	b	c	d	d+h	A	A+h	B	B+h	C	C+h	D	D+h	W	V
$\lambda = 1.056$																
s	0.052					88		176		264		352		440	0.246	0.001
a	0.822	0.743	0.029												0.628	0.001
b	0.003	0.071	0.549	0.028	0.014		0.004								0.088	0.005
c	0.003		0.067	0.628	0.021		0.011								0.016	0.025
d			0.011	0.133	0.804		0.017								0.012	0.044
d+h				0.011	0.046	0.136	0.002	0.017							0.001	0.164
A			0.002	0.039	0.043	0.682	0.76	0.322	0.055	0.008					0.007	0.084
A+h							0.054	0.237	0.008	0.032					0.000	0.311
B						0.091	0.026	0.288	0.687	0.524	0.125	0.267	0.017		0.001	0.196
B+h							0.006	0.034	0.127	0.286	0.062				0.000	0.474
C									0.004	0.079	0.547	0.333	0.051	0.043	0.000	0.264
C+h										0.078	0.267			0.043	0.000	0.675
D									0.006	0.008	0.094	0.067	0.61	0.348	0.000	0.332
D+h									0.004		0.067	0.067	0.136	0.522	0.000	1.000
q <sub>x</sub>	0.121	0.186	0.342	0.161	0.071	0.091	0.121	0.102	0.108	0.063	0.094	0.000	0.186	0.043		

<sup>a</sup> Pour faciliter la lecture seulement les entrées différentes de zéro sont représentées. La matrice est accompagnée du taux de croissance de la population correspondant  $\lambda$  (en haut et à gauche).  $W$  = Structure stable de la population ;  $V$  = vecteur des valeurs reproductives spécifiques de chaque catégorie de taille ;  $q_x$  = mortalité spécifique de chaque classe.

Le tableau 1 montre cette matrice globale obtenue pour l'ensemble de tous les individus pour la période 2011-2018, dans laquelle les probabilités de croissance et décroissance (les diagonales supérieure et inférieure respectivement) ainsi que la permanence des individus dans la même classe de taille (diagonal principale) sont représentées. De la même manière sont incluses les valeurs de fécondité associées aux adultes reproductifs (première ligne) ainsi que la valeur d'établissement des plantules (première entrée de la matrice). Accompagnant la matrice on trouve la valeur de  $\lambda$  correspondante ainsi que les vecteurs de la structure stable ( $W$ ) de cette population hypothétique et le vecteur des valeurs reproductifs ( $V$ ) respectifs.

Pour chaque population, on a construit une matrice de transition et, grâce à cette dernière, calculé la valeur de  $\lambda$  correspondante. On a constaté que cinq des populations analysées présentent un taux de croissance positif tandis que les autres sont plutôt en décroissance (Tableau 2). Bien que les matrices individuelles présentent de petites différences, avec quelques transitions plus importantes que d'autres dans certaines populations, elles contiennent essentiellement la même information que la matrice globale et par conséquent ont été mises dans l'annexe 2.

**Tableau 2** Taux de croissance  $\lambda$  de chaque population de *G. lutea* pendant la période 2011-2018<sup>a</sup>

Population	$\lambda$	n (2011)	n (2018)	Schéma démographique
Ternant	0.960	118	49**	Décroissance
Guéry	0.791	151*	84**	Décroissance
Chaufefour	1.061	52	51**	Croissance
Chauvet	1.060	20	24	Croissance
Aulac	1.041	10*	9	Croissance
Poujade	1.260	109	105	Croissance
Pégrol	0.958	123*	170	Décroissance
Monthallier	1.015	69*	66**	Croissance
Globale***	1.069			Croissance

<sup>a</sup> n (2011) et n (2018) nombre d'effectifs présents dans chaque population au début et à la fin de l'étude. \* Et \*\* nombre d'effectifs présents en 2012 et 2016 respectivement. \*\*\* Valeur de  $\lambda$  et schéma démographique pour la population globale hypothétique pendant la même période

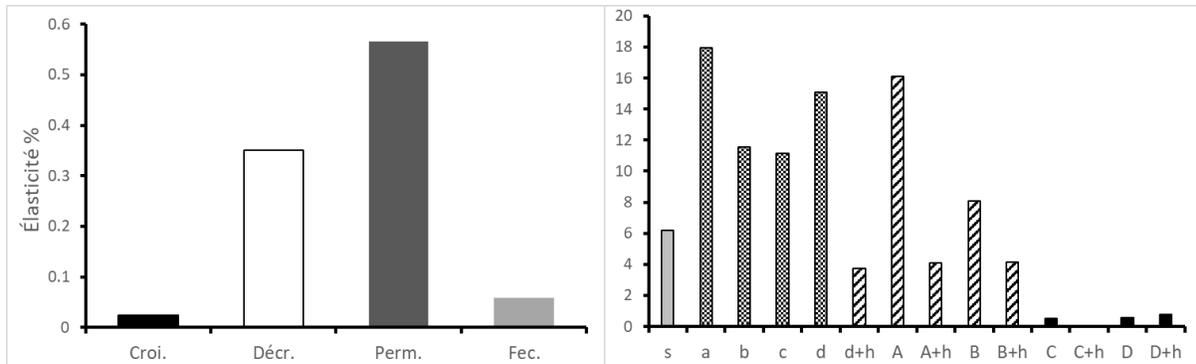
À partir de la matrice de transition globale on a pu obtenir les matrices d'élasticité (Tableau 3 et Annexe 3) correspondantes. La matrice d'élasticité révèle quels sont les processus démographiques dont l'apport est le plus important pour la dynamique de la population. La somme des entrées concernant la permanence des individus dans la même classe de taille représente 56,6 % de l'élasticité totale estimée. En deuxième et troisième termes d'importance se placent respectivement la décroissance des individus d'une classe de taille à la précédente et la fécondité des adultes reproductifs, respectivement 35,1 et le 5,9 % de l'élasticité dans cet ordre. Finalement la croissance des plantes représente 2,4 % (Tableau 3 et Fig. 3a).

**Tableau 3** Matrice d'élasticités pour la population globale hypothétique de *G. lutea* pour la période 2011-2018<sup>a</sup>

Catégorie nt + 1	Catégorie nt													
	s	a	b	c	d	d+h	A	A+h	B	B+h	C	C+h	D	D+h
s	0.003					0.017		0.019		0.019		0.001		0.003
a	0.054	<b>0.124</b>	0.001											
b	0.001	0.055	<b>0.059</b>	0.001										
c	0.004		0.039	<b>0.065</b>	0.002		0.001							
d			0.012	0.024	<b>0.113</b>		0.001							
d+h				0.008	0.024	0.005	0.001							
A			0.004	0.013	0.011	0.012	<b>0.114</b>	0.003	0.002					
A+h						0.004	0.030	0.009	0.001	0.001				
B							0.009	0.007	0.052	0.008				
B+h							0.005	0.002	0.023	0.011	0.001			
C										0.002	0.003			
C+h											0.001			
D									0.001		0.001	0.000	0.003	0.001
D+h									0.002				0.002	0.004

<sup>a</sup> Pour faciliter la lecture seulement les entrées différentes de zéro sont représentées. Les cinq valeurs plus hautes sont indiquées en gras.

De la même manière, les entrées d'élasticité correspondantes à chaque classe de taille (*i.e.* les différentes colonnes) peuvent être sommées, ainsi on observe que les individus qui font l'apport plus important au comportement démographique théorique sont les plantules, les plantes jeunes et les premières adultes reproductifs (stades s - B+h) tandis que les dernières quatre classes de taille, c'est-à-dire, les plantes reproductives plus grandes (stades C - D+h), ont l'apport plus bas (Tableau 3 et Fig. 3b).



**Figure 3** Contribution relative en % de chaque processus démographique (*i.e.* croissance, décroissance, permanence et fécondité ; à gauche) et de chaque catégorie/classe de taille (*i.e.* plantules : barre grise, plantes jeunes : barres pointillées, premiers adultes reproducteurs : barres à diagonales et vieux adultes reproducteurs : barres noires ; à droite) à la valeur de  $\lambda$  pour la population globale pendant la période 2011-2018.

Les matrices d'élasticité ainsi que l'analyse des processus démographiques et l'apport fait pour chaque classe de taille par rapport à la valeur de  $\lambda$  ont été aussi obtenus au sein de chaque population (Annexe 3). Comme pour les matrices de transition, les matrices d'élasticité particulières des populations ont montré de petites variations entre elles, mais elles montrent essentiellement la même information que la matrice d'élasticité globale, à savoir que les processus démographiques plus importants pour la dynamique des populations sont la permanence et la décroissance des individus (Fig. 3a), et que les individus qui font l'apport plus remarquable au comportement démographique observé sont systématiquement les plantules, les plantes jeunes et les premiers adultes reproductifs (Tableau 3, Fig. 3b et Annexe 3).

### 3.3 Simulation de différents scénarios de cueillette

Afin de proposer des taux de cueillette de *G. lutea* compatibles avec le maintien de leurs populations naturelles on a simulé des grands taux de cueillette des individus adultes reproductifs, c'est-à-dire, les plantes comprises dans les stades C - D+h. On a choisi de simuler la cueillette sur ces stades puisque ce sont les plantes dont leur apport à la dynamique de la population globale (ainsi qu'au sein de chaque population) ne semble pas trop significatif (leurs valeurs d'élasticité sont en général les plus basses). La manière de simuler la cueillette de ces individus a été en augmentant systématiquement la mortalité de ces stades en 50, 75 et 100 % dans la matrice globale initiale, autrement dit, on a réduit les valeurs de survie des plantes (*i.e.* la permanence, décroissance et croissance dans leur ensemble) dans les proportions indiquées ci-dessous (Annexe 4).

Après d'avoir fait les modifications (*i.e.* réductions) correspondantes dans la matrice globale initiale, les nouvelles matrices de transition créées ont montré des valeurs de  $\lambda$  pas trop différentes de la valeur initiale ( $\lambda = 1,069$ ), décrivant encore un comportement croissant de la population théorique ( $\lambda = 1,062$ ,  $1,062$ , et  $1,061$ , concernant une cueillette -mortalité- respective de 50, 75 et 100 % des plantes ciblées) (Annexe 4). Pour cette raison on a décidé d'aller plus loin et d'explorer les effets qu'entraînerait la cueillette des classes des adultes reproducteurs comprenant seulement les plantes à plus d'une rosette (stades A - D+h). À cette occasion, une réduction de 30 et 40 % de la survie des stades ciblés a suffi pour que la population montre une valeur de  $\lambda$  de 1,004 et 0,984 respectivement (Tableau 4).

En plus des réductions faites dans la matrice de transition globale, on a aussi simulé la cueillette dans chaque population en faisant les réductions correspondantes ; d'abord les réductions de 50, 75 et 100 % des quatre derniers stades (C - D+h), et ensuite la réduction comprenant tous les adultes

reproductifs à plus d'une rosette (stades A - D+h). En adoptant une approche de conservation, les simulations faites n'ont concerné que les populations avec des valeurs initiales de  $\lambda$  supérieures à l'unité (voir tableau 2).

Dans cette série de simulations d'une cueillette progressive les populations se sont comportées de manière différente ; si bien que la réduction de 50, 75 et 100 % des individus dans les classes de taille C - D+h a causé une légère diminution dans le taux de croissance de chaque population, l'effet n'est pas significatif sauf pour la population de Monthiallier qui a atteint une valeur de  $\lambda = 1,002$  après la troisième réduction (Tableau 4). Par ailleurs, les populations d'Aulac et de Chauvet ont atteint des valeurs de  $\lambda$  de 0,961 et 0,997 après réduction de 10 et 50 % de leurs effectifs dans les catégories de taille à plus d'une rosette (Tableau 4). Finalement, les populations de Poujade et Chaudefour n'ont pas été affectées même après la récolte totale de leurs individus reproducteurs du fait qu'elles ont maintenu des taux de croissances supérieures à l'unité ( $\lambda = 1,130$  et  $1,041$  respectivement) (Tableau 4).

**Tableau 4** Valeurs de  $\lambda$  des populations après les différentes réductions faites dans les catégories de taille reproductives\*

Population	Valeur initiale	% de réduction des stades C - D+h			% de réduction des stades A-D+h					
		50	75	100	10	30	40	50	75	100
Globale	<b>1.069</b>	1.062	1.062	1.061	1.028	1.004	<i>0.984</i>			
Chaudefour	<b>1.061</b>	1.050	1.050	1.050	1.047	1.043	1.042	1.042	1.041	1.041
Chauvet	<b>1.060</b>	1.051	1.051	1.048	1.027	1.005	1.000	<i>0.997</i>		
Aulac	<b>1.041</b>	1.036	1.036	1.036	<i>0.961</i>					
Poujade	<b>1.260</b>	1.240	1.240	1.240	1.215	1.177	1.165	1.155	1.139	1.130
Monthiallier	<b>1.015</b>	1.003	1.003	1.002	<i>0.983</i>					

\* Les valeurs initiales de chaque population sont données en gras. La première valeur inférieure à l'unité de chaque population est donnée en rouge et en italiques. Après l'obtention d'une valeur de  $\lambda$  inférieure à 1 pour toute population nous avons arrêté de simuler les réductions consécutives.

Les matrices d'élasticité dérivées des matrices de transition avec les différentes réductions faites montrent que la permanence des individus dans la même classe de taille est le principal processus démographique qui influence la dynamique des populations, même si la croissance des plantes et la fécondité des adultes reproducteurs acquièrent plus d'importance (Annexe 5).

#### 4. Discussion

On observe une certaine stabilité des populations. Pendant la période d'étude quelques plantes ont augmenté de taille et la catégorie plantules est devenue inexistante, mais en général, les populations qui au début étaient composées majoritairement par des plantes jeunes ont gardé à la fin une importante quantité des mêmes, et les populations originalement composées par des plantes adultes reproductives ont gardé également une forte proportion de ces individus (Fig. 2). Il convient de souligner que pendant toute l'étude aucune population ne possède un nombre important de vieux individus (ici sont considérés les plantes des stades C - D+h) (Fig. 2).

Selon la classification proposée par Oostermeijer et co-auteurs (1994b), à la fin de l'étude la plupart des populations sont classées comme « stables » dans le sens où elles sont composées majoritairement d'individus adultes et reproducteurs avec un faible nombre de vieux individus (e.g. les populations de Ternant, Chaudefour, Aulac, Poujade et Monthiallier avec 53,06 ; 68,63 ; 88,89 ; 59,05 et 74,24 % respectivement de leurs effectifs en plantes adultes). Mais il y a aussi de populations « dynamiques » qui bien que n'ayant pas de plantules se caractérisent par des proportions importantes

de jeunes individus (*e.g.* les populations de Guéry, Chauvet et Pégrol, avec 89,29 ; 53,13 ; et 100 % respectivement de leurs effectifs en plantes jeunes).

Dès que l'on constate une réduction dans la taille des populations pendant la période d'étude on s'attend à ce que la dynamique de ces populations révèle une phase de décroissance, ce qui a été vrai pour trois des populations analysées avec une valeur de  $\lambda$  inférieure à l'unité (Tableau 2). Pour les autres populations leurs valeurs de  $\lambda$  indiquent une légère croissance qui pourtant ne dépasse jamais 7 % des effectifs préexistants et qui pourrait être le résultat d'une incorporation graduelle dans la population de nouveaux individus (*e.g.* la population de Chauvet), ou bien, le remplacement de certaines plantes par d'autres qui sont arrivées dans la même période (*e.g.* les populations d'Aulac, Chaudefour et Monthiallier) (Figures 1 et 2 ; Tableau 2). La population de Poujade constitue un cas exceptionnel ; c'est la seule population à avoir un taux de croissance très supérieur à l'unité ( $\lambda = 1,260$ ) même si elle reste à la fin de l'étude avec une taille légèrement inférieure à celle du début (Fig. 1 ; Tableau 2). Cette petite contradiction pourrait être due au grand nombre de plantules recrutées dans cette population pendant la période d'étude ce qui a causé une augmentation de la valeur de  $\lambda$  même si à la fin la plupart de ces individus sont morts. Par ailleurs, ces modèles n'intègrent pas certains processus comme la compétition qui devrait impacter négativement la survie et/ou la reproduction. Les taux de croissances calculés sont donc très probablement toujours un peu surestimés surtout dans les populations où la densité en plantes est grande et où certaines ressources sont alors limitantes.

L'analyse de la matrice globale et des matrices individuelles de transitions a éclairci certains aspects intéressants de la biologie de cette espèce. Le premier point est la capacité des plantes à grandir ou à décroître de plus d'une classe de taille (Tableau 1). Le fait que les probabilités de régression d'une classe de taille vers les précédentes sont plus élevées dans les cas des plantes adultes, particulièrement des individus avec des hampes florales, ce qui pourrait être la conséquence d'un grand effort reproductif. Dans certaines espèces la reproduction a un coût élevé pour les individus qui peuvent ne pas se reproduire l'année suivante (*i.e.* ils ont une reproduction intermittente) et même diminuer de taille, constituant ainsi un clair exemple d'un compromis écologique (*i.e.* « *trade-off* » en anglais) (Chiariello et Gulmon, 1991 ; Obeso, 2002 ; Reekie et Bazzaz, 2005). La reproduction n'intervenant qu'au bout d'un certain temps et après stockage des ressources nécessaires à une nouvelle phase de reproduction (Obeso, 2002 ; Reekie et Bazzaz, 2005). Une augmentation de taille des plantes analysées pourrait indiquer l'accumulation de ressources après une période de non-floraison.

Un deuxième aspect à souligner la longue période que les individus passent dans une même classe de taille sans transiter vers d'autres catégories supérieures ou même inférieures. Cette particularité biologique a déjà été décrit chez de nombreuses espèces -végétales et animales- qui vivent très longtemps dans des milieux pauvres en nutriments (habitats stressants) où les conditions favorables pour certains processus biologiques comme la croissance des individus et la reproduction ne sont pas très fréquents (Oostermeijer *et al.*, 1994b, 1996 ; Esparza-Olguín, 2004 ; Olvera, 2018), traits partagés par la gentiane jaune. Cette description faite correspond aux espèces dites « *rare*s » ayant une aire de distribution géographique restreinte, des densités de populations faibles et des effectifs rarement croissantes (Esparza-Olguín, 2004). Ces caractéristiques sont valables aussi pour les populations analysées ici.

Puisque les transitions plus fréquentes observées dans les populations -réelles ou théorique- ont été celles correspondant à la permanence des individus dans la même class de taille, ce n'est pas surprenant que les élasticités plus importantes ont correspondu également au même processus démographique (Fig. 3 et Tableau 3). Pour plusieurs espèces la présence de stades ou phases longévives représente une stratégie pour le maintien des populations pendant de longues périodes en conditions peu

favorables, ceci étant comparable à la production de structures de résistance d'autres organismes (*e.g.* spores, kystes et graines) (Higgins *et al.*, 2000 ; Valverde et Esparza-Olguín, 2009 ; Olvera, 2018). Tel semble être partiellement le cas des populations de *G. lutea* analysées, du fait que les valeurs d'élasticité plus grands ont été celles des plantes jeunes mais aussi des premières plantes reproductives (stades d+h, A+h, et B+h) (Tableau 3). Il est important de préciser que les valeurs d'élasticité s'obtiennent à partir de la matrice de transitions observées dans la population. Puisque en général aucune population n'a eu une proportion importante de plantes dans les dernières quatre classes de taille, pourrait-on s'attendre à des valeurs d'élasticité plus élevées si ces individus avaient été mieux représentés ?

Les matrices de transition construites pour chaque population ainsi que les matrices d'élasticité dérivées ont été obtenues lors de la création d'une matrice globale qui regroupe tous les individus comme s'ils appartenaient à une même population avec un comportement démographique en particulier. Celle-ci a été la seule manière de compléter les données manquantes au sein de chaque population et cela a des grandes répercussions sur les généralités, l'application et l'étendue descriptive que les modèles peuvent offrir. Afin de rendre les modèles plus précis et réalistes par rapport à la dynamique observée des populations (*i.e.* réelle), nous conseillons fortement de revisiter les populations et de les recenser de manière continue et constante pour avoir une information identique pour chacune d'entre elles. Cela permettrait de faire une comparaison spatiale de la dynamique des populations comme celle que nous avons estimée dans cette étude, mais en ajoutant une comparaison temporelle au sein de chaque population, c'est-à-dire, comment évolue le schéma démographique de chaque population (en fonction de sa composition d'individus) au cours du temps.

En plus de l'information sur la croissance des plantes, il est important aussi d'approfondir le niveau de connaissance sur la biologie reproductive de cette espèce, particulièrement dans les populations traitées, par exemple, la quantité de graines produites par plantes de différentes tailles, l'existence possible d'une banque de graines et sa longévité, les conditions de germination naturelle sur le terrain, la survie des plantules, ainsi que leurs relation avec les facteurs environnementaux (*e.g.* les températures et les précipitations) et biologiques (*e.g.* la contribution des pollinisateurs et l'effet des prédateurs) variables dans le temps. Pour modéliser la dynamique des populations analysées dans cette étude nous avons utilisé des estimations de fécondité trouvées dans la littérature existante concernant d'autres populations de *G. lutea* qui se trouvent dans d'autres endroits avec des conditions environnementales différentes (voir méthodes).

Concernant la gestion durable de la ressource, nous avons simulé une cueillette progressive seulement dans les populations qui ont un taux de croissance positif (Tableau 2), pour les populations qui montrent des signes de régression, elles ne doivent pas être exploitées, et on doit au contraire, les laisser se régénérer graduellement et même faciliter certains processus de régénération qui peuvent avoir un effet bénéfique comme favoriser la production de graines via une pollinisation manuelle, assurer un meilleur établissement de nouvelles plantules ou protéger les stades à plus hautes valeurs d'élasticité.

Dans le cas des populations pour lesquelles la cueillette a été simulée nous avons constaté qu'une diminution même de 100 % des individus dans les dernières classes de taille (stades C - D+h) n'entraîne pas nécessairement une baisse importante des valeurs de  $\lambda$  (Tableau 4). Mais si la cueillette simulée comprend aussi les catégories de taille des individus à plus d'une rosette, une réduction de 10 ou 40 % de ces plantes suffit pour produire un grand effet sur certaines populations (la valeur de  $\lambda$  devient très proche de l'unité voir même inférieure ; Tableau 4). À cet égard, nous pensons que la cueillette dans les populations naturelles de *G. lutea* pourrait se focaliser exclusivement sur les plantes de grandes tailles, ce qui est corroboré pour les analyses d'élasticité que nous avons réalisé dans cette étude. Par ailleurs

ces plantes pourraient être très appréciées par les gestionnaires du fait que les individus de plus grande taille pourraient avoir aussi les racines les plus grandes. Si la récolte limitée aux dernières class de taille semble trop restrictive, même en prélevant 100 %, alors une évaluation devra être faite à l'intérieur de chaque population pour savoir quelles sont les catégories de taille qui pourraient être additionnées et dans quelle proportion pour que la cueillette n'affecte pas l'avenir de cette population en particulier.

Une autre recommandation pourrait être de retarder la cueillette de la gentiane jusqu'à la dispersion des graines, de cette manière les plantes contribueraient au renouvellement des générations avant leur arrachage.

Finalement il est important de souligner que les modèles matriciels ici utilisés décrivent la dynamique d'une population d'un temps  $t$  à un temps  $t+1$ , période dans laquelle on trouve certaines conditions environnementales et démographiques spécifiques (Caswell, 2001 ; Gurevitch *et al.*, 2006). Les modèles matriciels ne prédisent pas le stade et la dynamique des populations analysées dans le futur, mais ils les projettent sous l'hypothèse que les paramètres environnementaux et démographiques dans lesquelles ils ont été construits restent constants à travers le temps (Caswell, 2001 ; Gurevitch *et al.*, 2006). Autrement dit, les modèles et analyses ici développés nous permettent de connaître le state et la dynamique actuelle des populations étudiées et nous permettent aussi d'imaginer leurs trajectoires futures uniquement si les conditions actuelles restent invariables.

Ces modèles doivent être approfondies et suivis d'études sur le développement des populations, afin d'améliorer les modèles existants mais aussi d'assurer la conservation est la gestion durable d'une espèce rare et menacée comme l'est la gentiane jaune.

## 5. Conclusions

Dans cette étude nous avons analysé la dynamique de huit populations de *Gentiana lutea* dans le Massif Central de 2011-2018. Pendant cette période, les différentes populations ont montré en général une diminution de leurs effectifs et des légers changements dans leurs structures démographiques.

L'analyse de la dynamique de chaque population, via l'utilisation de modèles matriciels, a montré la capacité des plantes de changer de plusieurs catégories de taille au cours du temps. La décroissance reflétant sans doute le coût de la reproduction dans les stades adultes. Néanmoins, le principal processus démographique de cette espèce est la permanence, c'est-à-dire pour un individu la possibilité de rester dans la même catégorie de taille pendant un certain temps, ce qui est une caractéristique des organismes d'une grande longévité tel que *G. lutea*.

La pérennité de la plante a été aussi constaté dans les analyses d'élasticité dans la mesure où la permanence a été le processus démographique qui a l'apport le plus importante à la dynamique observée de chaque population, suivi de la décroissance, la croissance et la fécondité des plantes. Les plantes jeunes et les premiers stades reproducteurs sont les individus ayant des valeurs d'élasticité les plus hautes, contribuant au taux de croissance de chaque population. Les plantules et les derniers adultes reproductifs sont ceux qui ont l'apport plus faible.

C'est précisément en raison des faibles valeurs d'élasticité des dernières classes de taille que nous recommandons de réserver la cueillette à ces individus dans les populations naturelles, à condition que ces dernières présentent un taux de croissance positif, puisque même un arrachage total de ces plantes ne semble pas affecter trop durement la dynamique des populations. Si cette cueillette est insuffisante

dans ces conditions, une extraction (partielle) des catégories de taille reproductives plus basses pourrait être envisagée uniquement si les populations gardent une valeur de  $\lambda$  supérieure à l'unité.

Finalement, nous considérons important de continuer à recenser les populations de manière constante pour approfondir les connaissances sur la biologie et l'écologie de cette espèce (*e.g.* la reproduction, la germination des graines sur le terrain, la possible constitution d'une banque de graines, parmi d'autres). Cela permettra d'améliorer la précision et la puissance descriptive des modèles démographiques de la gentiane jaune ainsi que leur application dans la conservation et la gestion durable de cette espèce.

## 6. Remerciements

Je tiens à remercier à Mme. Burrus pour m'avoir aidé à trouver ce stage qui m'a fasciné dès le début, ainsi qu'à M. Gire pour m'avoir confié cette mission et nous avoir fourni tout l'information nécessaire pour l'analyse présentée ici. De manière spéciale, je remercie Mme. Civeyrel pour m'avoir guidé et orienté tout au long du stage ; sa présence constante, son implication et son intérêt ont rendu possible le développement de cette étude, merci beaucoup. Mes remerciements vont aussi à M. Andaló et à M. Aguilée, pour leur aide précieuse dans l'utilisation du logiciel R et de la modélisation informatique. Ma reconnaissance et ma gratitude va à vous deux.

## 7. Références

- Ando H., Hirai Y., Fujii M., Hori M., Fukumara M., Niiho Y., Nakajima Y., Shibata T., Toriizuka K., Ida Y., 2007. The chemical constituents of fresh Gentian root. *Journal of Natural Medicines* 61, 269-279.
- Caswell H., 2001. Matrix Population Models: Construction, Analysis, and Interpretation, 2ème Ed. Sinauer Associated, Inc. Massachusetts.
- Chiariello N. R., Gulmon S. L., 1991. Stress effects on plant reproduction. Dans: Mooney H. A., Winner W. E., Pell E. J., (Eds.) 1991. Response of plants to multiple stresses. Academic Press. San Diego.
- Cornara L., La Rocca A., Terrizzano L., Dente F., Mariotti M. G., 2014. Ethnobotanical and phytomedical knowledge in the North-Western Ligurian Alps. *Journal of Ethnopharmacology* 155, 463-484.
- Curt T., Bouchaud M., Agrech G., 2001. Predicting site index of Douglas-Fir plantations from ecological variables in the Massif Central area of France. *Forest Ecology and Management* 149, 61-74.
- David R., 2017. Caractérisation de populations de *Gentiana lutea* et *Rhodiola rosea* dans les Pyrénées. Rapport de stage.
- Esparza-Olguín L., 2004. ¿Qué sabemos de la rareza en especies vegetales? Un enfoque genético-demográfico. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 75, 17-32.
- Fischer M., Matthies D., 1997. Matting structure and inbreeding and outbreeding depression in the rare plant *Gentianella germanica* (Gentianaceae). *American Journal of Botany* 84, 1685-1692.
- Fois M., Cuenca-Lombraña A., Fenu G., Cogoni D., Bacchetta G., 2016. The reliability of conservation status assessments at regional level: Past, present and future perspectives on *Gentiana lutea* L. ssp. *Lutea* in Sardinia. *Journal of Nature Conservation* 33, 1-9.
- FranceAgriMer, 2015. La gentiane jaune : Production française, utilisations, marchés. Les études de FranceAgriMer, 1-23.
- Gurevitch J., Scheiner S., Fox G., 2006. The Ecology of Plants, 2ème ed. Sinauer Associates, Inc. Massachusetts.
- Higgins S., Pickett S. T. A., Bond W. J., 2000. Predicting extinction risks for plants: environmental stochasticity can save declining populations. *Trends in Ecology and Evolution* 15, 516-520.

- Kala C. P., 2005. Indigenous uses, population density and conservation of threatened plants in protected areas of the Indian Himalayas. *Conservation Biology* 19, 368-378.
- Kéry M., Matthies D., Spillmann H. H., 2000. Reduced fecundity and offspring performance in small populations of the declining grassland plants *Primula veris* and *Gentiana lutea*. *Journal of Ecology* 88, 17-30.
- Obeso J. R., 2002. The costs of reproduction in plants. *New Phytologist* 155, 321-348.
- Olvera J., 2018. Evaluación a mediano plazo del comportamiento demográfico de una población de *Neobuxbaumia macrocephala* (Cactaceae) en Zapotitlán Salinas, Puebla, México. Mémoire de licence. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México.
- Om P., Ruchi S., Saroj K., Shweta S., Akash V., 2017. *Gentiana lutea* Linn. (Yellow gentian): A comprehensive review. *Journal of Ayurvedic and Herbal Medicine* 3, 175-181.
- Oostermeijer J. G. B., Brugman M. L., de Boer E. R., den Nijs H. C. M., 1996. Temporal and spatial variation in the demography of *Gentiana pneumonanthe*, a rare perennial herb. *The Journal of Ecology* 84, 153-166.
- Oostermeijer J. G. B., van Eijck M. W., den Nijs J. C. M., 1994. Offspring fitness in relation to population size and genetic variation in the rare perennial plant species *Gentiana pneumonanthe* (Gentianaceae). *Oecologia* 97, 289-296.
- Oostermeijer J. G. B., van 't Veer R., den Nijs J. C. M., 1994b. Population structure of the rare, long-lived perennial *Gentiana pneumonanthe* in relation to vegetation and management in the Netherlands. *The Journal of Applied Ecology* 31, 428-438.
- Pardo-de-Santayana M., Pieroni A., Puri R., 2010. The ethnobotany of Europe, Past and Present. In: Pardo-de-Santayana M., Pieroni A., Puri R., Eds. 2010. Ethnobotany in the new Europe: people, health and wild plant resources. Berghahn. Oxford.
- Pérez-García F., Varela F., González-Benito M. E., 2012. Morphological and germination response variability in seeds of wild yellow gentian (*Gentiana lutea* L.) accessions from northwest Spain. *Botany* 90, 731-742.
- Poyade G., 2013. Nouvelle culture : La gentiane prend racine. *Biofil* 85, 54.
- Radanovic D., Markovic T., Aiello N., Fusani P., 2014. Cultivation trial on *Gentiana lutea* L. in Southern and South-eastern Europe. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants* 1, 113-122.
- Ramírez-Malagón R., Borodanenko A., Pérez-Moreno L., Salas-Araiza M. D., Nuñez-Palenius H. G., Ochoa-Alejo N., 2008. In vitro propagation of three *Agave* species used for liquor distillation and three for landscape. *Plant Cell Tissue and Organ Culture* 94, 201-207.
- Reed D. H., 2005. Relationship between population size and fitness. *Conservation Biology* 19, 563-568.
- Reekie E. G., Bazzaz F. A., 2005. Reproductive allocation in plants. Elsevier Academic Press. San Diego.
- Rioual P., 2002. Limnological characteristics of 25 lakes of the French Massif Central. *Annales de Limnologie* 38, 311-327.
- Rossi M., Fisogni A., Galloni M., 2016. The effect of pollination mode on seed performance of *Gentiana lutea*: a laboratory evaluation of seed germinability. *Nordic Journal of Botany* 34, 761-768.
- Saule M., 1991. La grande flore illustrée des Pyrénées. Editions Milan – Randonnées Pyrénéennes. Toulouse.
- Valverde T., Esparza-Olguín L., 2009. Rarity and commonness among columnar cacti: An exploration of the storage effect from a demographic viewpoint. Dans: Fernández-Bernal A., De la Rosa M. A., 2009. Arid Environments and Wind Erosion. Nova Science Publishers, Inc. New York.
- Veiga T., Guitián J., Guitián P., Sobral M., 2015. Are pollinators and seed predators' selective agents on flower color in *Gentiana lutea*? *Evolutionary Ecology* 29, 451-464.
- Veiga T., Guitián J., Munilla I., Sobral M., 2015. Flower colour variation in the montane plant *Gentiana lutea* L. (Gentianaceae) is unrelated to abiotic factors. *Plant Ecology and Diversity* 9, 105-112.
- Vender C., Aiello N., Piovesana S., Survey of yellow gentian populations of the Central Alps and record of their main morphological and qualitative characteristics. *Acta Horticulturae* 860, 101-104.
- Zschocke S., Rabe T., Taylor J. L. S., Jäger A. K., van Staden J., 2000. Plant part substitution – a way to conserve endangered medicinal plants? *Journal of Ethnopharmacology* 71, 281-292.

## 8. Annexes

Annexe 1 : Système de classes de taille pour les individus de *Gentiana lutea* L. \*



D'après David (2017)  
Plantes adultes de *Gentiana lutea*

Annexe 1 : Système de classes de taille pour les individus de *Gentiana lutea* L.\*

Secteur de la population	Catégories de taille	Morphologie
Plantules	s	Rosettes isolées
	a	
Plantes jeunes	b	
	c	
Plantes adultes	d	Touffe 2-4 rosettes
	d+h	
	A	T. 5-15 rosettes
	A+h	
	B	T. 16-20 rosettes
	B+h	
	C	T. 21 rosettes et plus...
	C+h	
	D	
	D+h	

\* Système de classification auparavant proposé par Monsieur L. Gire (en communication personnelle). +h décrit la présence de hampes florales.

Annexe 2 : Matrices de transition pour chaque population de *Gentiana lutea* L. (globale hypothétique et réelles) décrivant les dynamiques observées -et simulée- pendant la période 2011-2018\*

Population Globale Hypothétique																
Catégorie nt + 1	Catégorie nt															
	s	a	b	c	d	d+h	A	A+h	B	B+h	C	C+h	D	D+h	W	V
<b><math>\lambda = 1.069</math></b>																
s	0.052					88		176		264		352		440	0.246	0.001
a	0.822	0.743	0.029												0.628	0.001
b	0.003	0.071	0.549	0.028	0.014		0.004								0.088	0.005
c	0.003		0.067	0.628	0.021		0.011								0.016	0.025
d			0.011	0.133	0.804		0.017								0.012	0.044
d+h				0.011	0.046	0.136	0.002	0.017							0.001	0.164
A			0.002	0.039	0.043	0.682	0.76	0.322	0.055	0.008					0.007	0.084
A+h							0.054	0.237	0.008	0.032					0.000	0.311
B						0.091	0.026	0.288	0.687	0.524	0.125	0.267	0.017		0.001	0.196
B+h							0.006	0.034	0.127	0.286	0.062				0.000	0.474
C									0.004	0.079	0.547	0.333	0.051	0.043	0.000	0.264
C+h											0.078	0.267	0.043	0.000	0.675	
D									0.006	0.008	0.094	0.067	0.61	0.348	0.000	0.332
D+h									0.004			0.067	0.136	0.522	0.000	1.000
$q_x$	0.121	0.186	0.342	0.161	0.071	0.091	0.121	0.102	0.108	0.063	0.094	0.000	0.186	0.043		
<b>Terment</b>																
Catégorie nt + 1	Catégorie nt															
	s	a	b	c	d	d+h	A	A+h	B	B+h	C	C+h	D	D+h	W	V
<b><math>\lambda = 0.960</math></b>																
s						88		176		264		352		440	0.276	0.002
a	1.000	0.506	0.176												0.629	0.002
b		0.041	0.471												0.052	0.022
c			0.118	0.667											0.021	0.088
d				0.111	0.636		0.038								0.008	0.233
d+h						0.136	0.635	0.333	0.054	0.063					0.000	0.490
A					0.273	0.682	0.038	0.222							0.008	0.276
A+h							0.038	0.222							0.000	0.790
B						0.091	0.077	0.333	0.662	0.375	0.111	0.500			0.004	0.394
B+h							0.019		0.095	0.250					0.001	1.045
C									0.014	0.125	0.500	0.333	0.071		0.000	0.271
C+h											0.056	0.167		0.000	1.269	
D											0.063	0.167	0.643	1.000	0.000	0.061
D+h														0.000	1.000	
<b>Guéry</b>																
Catégorie nt + 1	Catégorie nt															
	s	a	b	c	d	d+h	A	A+h	B	B+h	C	C+h	D	D+h	W	V
<b><math>\lambda = 0.791</math></b>																
s						88		176		264		352		440	0.374	0.000
a	0.154	0.536	0.006												0.232	0.000
b	0.077	0.130	0.543	0.093			0.024								0.267	0.000
c			0.045	0.593			0.048								0.069	0.000
d			0.003	0.056	0.500										0.016	0.000
d+h						0.136		0.017							0.000	0.000
A			0.003	0.037	0.125	0.682	0.643	0.322	0.250	0.008					0.038	0.000
A+h								0.237	0.032						0.000	0.001
B						0.091		0.288	0.500	0.524	0.333	0.267	0.017		0.001	0.000
B+h								0.286							0.000	0.012
C									0.034						0.000	0.000
C+h										0.079	0.667	0.333	0.051	0.043	0.001	0.000
D											0.267	0.043	0.043	0.000	0.222	
D+h										0.008		0.067	0.610	0.348	0.001	0.748
												0.067	0.136	0.522	0.001	1.000
<b>Chaufour</b>																
Catégorie nt + 1	Catégorie nt															
	s	a	b	c	d	d+h	A	A+h	B	B+h	C	C+h	D	D+h	W	V
<b><math>\lambda = 1.061</math></b>																
s	0.052					88		176		264		352		440	0.212	0.002
a	0.822	0.743													0.547	0.003
b	0.003	0.071	0.500												0.071	0.013
c	0.003		0.500	0.714	0.019										0.106	0.015
d				0.143	0.731		0.038								0.047	0.036
d+h					0.019	0.667									0.002	0.548
A					0.077	0.333	0.698		0.016						0.012	0.015
A+h															0.000	0.471
B							0.057	1.000	0.760	0.708					0.002	0.076
B+h									0.031	0.125					0.000	0.737
C									0.008	0.042	0.778				0.000	0.000
C+h															0.000	1.270
D												0.500	0.762	1.000	0.000	0.000
D+h												0.500			0.000	1.000

\* Pour faciliter la lecture seulement les entrées différentes de zéro sont représentées. Les matrices sont accompagnées du taux de croissance de la population correspondant  $\lambda$  (en haut et à gauche).  $W$  = Structure stable de la population ;  $V$  = vecteur des valeurs reproductives spécifiques de chaque catégorie de taille ;  $q_x$  = mortalité (présentée seulement pour la matrice globale).

Chauvet																
Catégorie nt + 1	Catégorie nt															
	s	a	b	c	d	d+h	A	A+h	B	B+h	C	C+h	D	D+h	W	V
$\lambda = 1.060$																
s						88		176		264				440	0.269	0.001
a	0.541	0.831	0.333												0.669	0.002
b		0.024	0.333				0.028								0.023	0.024
c			0.167					0.056							0.014	0.098
d				0.706	0.043										0.009	0.118
d+h				0.235	0.696										0.001	0.217
A					0.174										0.012	0.118
A+h				0.059		1.000	0.861	0.167	0.032						0.001	0.622
B							0.028	0.333	0.065						0.001	0.626
B+h								0.333	0.742	0.857		0.267	0.333		0.000	0.951
C									0.129	0.143					0.000	0.501
C+h												0.333		1.000	0.000	1.113
D												0.267			0.000	1.113
D+h									0.032		1.000	0.067	0.667		0.000	0.531
												0.067			0.000	1.000

Aulac																
Catégorie nt + 1	Catégorie nt															
	s	a	b	c	d	d+h	A	A+h	B	B+h	C	C+h	D	D+h	W	V
$\lambda = 1.041$																
s						88		176		264		352		440	0.175	0.001
a	0.822	0.500													0.266	0.000
b	0.003	0.500	0.800	0.028	0.014										0.554	0.000
c		0.003		0.628	0.021										0.001	0.262
d				0.133	0.804										0.001	0.414
d+h				0.011	0.046	0.136									0.000	0.995
A				0.039	0.043	0.682	0.500	0.143	0.043						0.000	1.084
A+h							0.250	0.143	0.043	0.300					0.000	1.207
B						0.091	0.250	0.714	0.609	0.600	0.125	0.267	0.017		0.001	1.141
B+h									0.304	0.100		0.063			0.000	1.294
C											0.547	0.333	0.051	0.043	0.000	0.713
C+h											0.078	0.267		0.043	0.000	1.119
D											0.094	0.067	0.610	0.348	0.000	0.444
D+h												0.067	0.136	0.522	0.000	1.000

Poujade																
Catégorie nt + 1	Catégorie nt															
	s	a	b	c	d	d+h	A	A+h	B	B+h	C	C+h	D	D+h	W	V
$\lambda = 1.260$																
s						88		176		264		352		440	0.359	0.001
a	1.000	0.547	0.045												0.508	0.001
b		0.110	0.432		0.021										0.069	0.008
c			0.182	0.564	0.007		0.009								0.018	0.024
d			0.091	0.308	0.908		0.018								0.034	0.023
d+h				0.051	0.050		0.005	0.031	0.000						0.002	0.142
A				0.026	0.007	0.750	0.835	0.438	0.087						0.006	0.083
A+h							0.096	0.281		0.017					0.001	0.280
B						0.167	0.014	0.188	0.651	0.450	0.091	0.200			0.001	0.200
B+h							0.009	0.063	0.254	0.417	0.182				0.001	0.450
C										0.117	0.545	0.400	0.125		0.000	0.285
C+h											0.136	0.400		0.063	0.000	0.569
D											0.045		0.438	0.313	0.000	0.576
D+h													0.438	0.625	0.000	1.000

Pégrol																
Catégorie nt + 1	Catégorie nt															
	s	a	b	c	d	d+h	A	A+h	B	B+h	C	C+h	D	D+h	W	V
$\lambda = 0.958$																
s						88		176		264		352		440	0.000	0.001
a	0.784	0.896	0.143												0.697	0.001
b		0.059	0.621		0.014		0.004								0.303	0.001
c		0.005		0.667	0.021		0.011								0.000	0.000
d					0.804		0.017								0.000	0.116
d+h					0.046	0.136	0.002	0.017	0.055	0.008					0.000	0.230
A					0.043	0.682	0.760	0.322	0.008	0.032					0.000	0.168
A+h							0.054	0.237	0.008	0.032					0.000	0.359
B						0.091	0.026	0.288	0.687	0.524	0.125	0.267	0.017		0.000	0.326
B+h							0.127	0.286	0.063	0.063					0.000	0.528
C							0.006	0.034	0.004	0.079	0.547	0.333	0.051	0.043	0.000	0.425
C+h									0.004	0.079	0.547	0.333	0.051	0.043	0.000	0.731
D									0.006	0.008	0.094	0.067	0.610	0.348	0.000	0.468
D+h									0.004			0.067	0.136	0.522	0.000	1.000

\* Pour faciliter la lecture seulement les entrées différentes de zéro sont représentées. Les matrices sont accompagnées du taux de croissance de la population correspondant  $\lambda$  (en haut et à gauche).  $W$  = Structure stable de la population ;  $V$  = vecteur des valeurs reproductives spécifiques de chaque catégorie de taille ;  $q_x$  = mortalité (présentée seulement pour la matrice globale).

Monthallier																
Catégorie nt + 1	Catégorie nt															
	s	a	b	c	d	d+h	A	A+h	B	B+h	C	C+h	D	D+h	W	V
$\lambda = 1.015$																
s						88		176		264		352		440	0.190	0.001
a	0.822	0.743													0.572	0.001
b	0.003	0.071	0.636												0.109	0.005
c	0.003		0.273	0.659	0.067										0.087	0.006
d				0.045	0.711										0.014	0.016
d+h					0.022	0.333	0.008								0.000	0.138
A				0.068	0.067	0.333	0.734		0.061						0.025	0.022
A+h							0.023	0.012							0.001	0.171
B							0.016		0.671	0.444	0.250				0.001	0.131
B+h									0.073	0.222					0.000	0.402
C											0.375	0.500			0.000	0.304
C+h											0.125	0.500			0.000	0.968
D											0.125		0.400	0.250	0.000	0.325
D+h									0.012				0.200	0.500	0.000	1.000

\* Pour faciliter la lecture seulement les entrées différentes de zéro sont représentées. Les matrices sont accompagnées du taux de croissance de la population correspondant  $\lambda$  (en haut et à gauche).  $W$  = Structure stable de la population ;  $V$  = vecteur des valeurs reproductives spécifiques de chaque catégorie de taille ;  $q_x$  = mortalité (présentée seulement pour la matrice globale).

Annexe 3 : Matrices d'élasticité pour chaque population de *Gentiana lutea* L. (globale hypothétique et réelles) pendant la période 2011-2018\*

Population Globale Hypothétique														
Catégorie nt + 1	Catégorie nt													
	s	a	b	c	d	d+h	A	A+h	B	B+h	C	C+h	D	D+h
s	0.003					0.017		0.019		0.019		0.001		0.003
a	0.054	<b>0.124</b>	0.001											
b	0.001	0.055	<b>0.059</b>	0.001										
c	0.004		0.039	<b>0.065</b>	0.002		0.001							
d			0.012	0.024	<b>0.113</b>		0.001							
d+h				0.008	0.024	0.005	0.001							
A			0.004	0.013	0.011	0.012	<b>0.114</b>	0.003	0.002					
A+h							0.030	0.009	0.001	0.001				
B						0.004	0.009	0.007	0.052	0.008				
B+h							0.005	0.002	0.023	0.011	0.001			
C										0.002	0.003			
C+h										0.001	0.001			
D									0.001		0.001	0.000	0.003	0.001
D+h									0.002				0.002	0.004

Ternant														
Catégorie nt + 1	Catégorie nt													
	s	a	b	c	d	d+h	A	A+h	B	B+h	C	C+h	D	D+h
s								0.014		0.034		0.002		
a	0.049	<b>0.056</b>	0.002											
b		0.051	0.049											
c			0.049	<b>0.112</b>										
d				0.049	<b>0.109</b>		0.006							
d+h						0.056	<b>0.127</b>	0.003	0.005	0.001				
A							0.022	0.007						
A+h							0.022	0.005	<b>0.085</b>	0.009	0.001	0.000		
B							0.015		0.032	0.016				
B+h									0.001	0.002	0.004	0.000	0.001	
C										0.002	0.002	0.000		
C+h										0.000	0.000	0.000		
D										0.000	0.000		0.001	
D+h													0.001	

Guéry														
Catégorie nt + 1	Catégorie nt													
	s	a	b	c	d	d+h	A	A+h	B	B+h	C	C+h	D	D+h
s														
a														
b														
c														
d														
d+h														
A														
A+h														
B														
B+h														
C														
C+h													0.003	0.005
D													0.002	0.454
D+h													0.003	0.135

Chaufefour														
Catégorie nt + 1	Catégorie nt													
	s	a	b	c	d	d+h	A	A+h	B	B+h	C	C+h	D	D+h
s	0.003					0.058				0.006				
a	0.059	<b>0.139</b>												
b	0.001	0.060	0.054											
c	0.001		0.061	<b>0.132</b>	0.002									
d				<b>0.064</b>	<b>0.147</b>		0.002							
d+h					0.059	<b>0.100</b>	0.002							
A					0.007	0.001	0.016							
A+h														
B							0.006		0.017	0.001				
B+h									0.007	0.001				
C														
C+h														
D														
D+h														

\* Pour faciliter la lecture seulement les entrées différentes de zéro sont représentées. Les cinq valeurs plus hautes sont indiquées en gras.

Chauvet														
Catégorie nt + 1	Catégorie nt													
	s	a	b	c	d	d+h	A	A+h	B	B+h	C	C+h	D	D+h
s						0.019		0.015		0.006				0.002
a	0.043	<b>0.163</b>	0.002											
b		0.045	0.022		0.001		0.001							
c			0.045	<b>0.114</b>	0.005		0.008							
d				0.046	<b>0.087</b>									
d+h					0.040									
A				0.011		0.020	<b>0.146</b>	0.001	0.000					
A+h							0.025	0.014	0.005					
B								0.014	<b>0.059</b>	0.010				0.002
B+h									0.016	0.002				
C														0.002
C+h											0.002			
D													0.003	
D+h								0.004						

Aulac														
Catégorie nt + 1	Catégorie nt													
	s	a	b	c	d	d+h	A	A+h	B	B+h	C	C+h	D	D+h
s						0.001		0.010		0.020				
a														
b														
c	0.030			0.048	0.001									
d				0.016	<b>0.054</b>									
d+h				0.003	0.007	0.002								
A				0.012	0.008	0.009	<b>0.054</b>	0.013	0.017					
A+h							0.030	0.015	0.019	0.042				
B						0.001	0.029	<b>0.069</b>	<b>0.252</b>	<b>0.080</b>				
B+h									<b>0.143</b>	0.015				
C														
C+h														
D														
D+h														

Poujade														
Catégorie nt + 1	Catégorie nt													
	s	a	b	c	d	d+h	A	A+h	B	B+h	C	C+h	D	D+h
s						0.033		0.020		0.026		0.001		
a	<b>0.080</b>	<b>0.062</b>	0.001											
b		<b>0.081</b>	0.043		0.001									
c			0.055	0.046	0.001									
d			0.026	0.024	<b>0.131</b>									
d+h				0.025	0.045		0.001	0.001						
A				0.007	0.004	0.025	<b>0.082</b>	0.004	0.002					
A+h							0.032	0.009						
B						0.013	0.003	0.004	0.033	0.009				
B+h							0.005	0.003	0.029	0.019	0.002			
C										0.003	0.003			
C+h											0.001	0.001		
D														
D+h													0.001	0.001

Pégrol														
Catégorie nt + 1	Catégorie nt													
	s	a	b	c	d	d+h	A	A+h	B	B+h	C	C+h	D	D+h
s														
a		<b>0.642578</b>	<b>0.0445207</b>											
b		<b>0.0445207</b>	<b>0.2683806</b>											
c														
d														
d+h														
A														
A+h														
B														
B+h														
C														
C+h														
D														
D+h														

\* Pour faciliter la lecture seulement les entrées différentes de zéro sont représentées. Les cinq valeurs plus hautes sont indiquées en gras.

Monthallier															
Catégorie nt + 1	Catégorie nt														
	s	a	b	c	d	d+h	A	A+h	B	B+h	C	C+h	D	D+h	
s						0.012		0.033		0.010					0.005
a	0.058	<b>0.159</b>													
b	0.001	0.058	<b>0.099</b>												
c	0.001		<b>0.059</b>	<b>0.115</b>	0.002										
d				0.020	0.050		0.001								
d+h					0.013	0.007									
A				0.041	0.006	0.001	<b>0.129</b>		0.001						
A+h							0.032		0.001						
B							0.016		0.036	0.002					
B+h									0.012	0.003					
C															
C+h															
D													0.001	0.001	
D+h									0.005				0.001	0.006	

\* Pour faciliter la lecture seulement les entrées différentes de zéro sont représentées. Les cinq valeurs plus hautes sont indiquées en gras.

Annexe 4 : Matrices de transition et d'élasticité obtenues par paires pour la population globale hypothétique de *Gentiana lutea* L. après les simulations de cueillette de 50, 75 et 100 % des plantes reproducteurs plus grandes (stades C-D+h)\*\*\*

Population Globale Hypothétique : Réduction de 50 % des stades C-D+h																
Catégorie nt + 1	Catégorie nt															
	s	a	b	c	d	d+h	A	A+h	B	B+h	C	C+h	D	D+h	W	V
$\lambda = 1.062$																
s						88		176		264		352		440	0.242	0.002
a	0.822	0.743	0.029												0.629	0.002
b	0.003	0.071	0.549	0.028	0.014		0.004								0.090	0.009
c	0.003		0.067	0.628	0.021		0.011								0.016	0.050
d			0.011	0.133	0.804		0.017								0.013	0.088
d+h				0.011	0.046	0.136	0.002	0.017							0.001	0.317
A			0.002	0.039	0.043	0.682	0.760	0.322	0.055	0.008					0.007	0.160
A+h							0.054	0.237	0.008	0.032					0.001	0.595
B						0.091	0.026	0.288	0.687	0.524	0.063	0.133	0.008		0.002	0.341
B+h							0.006	0.034	0.127	0.286	0.031				0.000	0.859
C									0.004	0.079	0.273	0.167	0.025	0.022	0.000	0.105
C+h											0.039	0.133		0.022	0.000	0.767
D									0.006	0.008	0.047	0.033	0.305	0.174	0.000	0.097
D+h									0.004			0.033	0.068	0.261	0.000	1.000

Population Globale Hypothétique : Réduction de 50 % des stades C-D+h																
Catégorie nt + 1	Catégorie nt															
	s	a	b	c	d	d+h	A	A+h	B	B+h	C	C+h	D	D+h	W	V
s								0.017		0.021		0.020				0.001
a	0.055	<b>0.129</b>	0.001													
b	0.001	0.055	<b>0.061</b>	0.001												
c	0.004		0.040	<b>0.068</b>	0.002		0.001									
d			0.012	0.025	<b>0.119</b>		0.001									
d+h				0.008	0.025	0.005	0.001									
A			0.004	0.013	0.012	0.012	<b>0.118</b>	0.003	0.002							
A+h							0.031	0.010	0.001	0.001						
B						0.004	0.009	0.007	0.049	0.008						
B+h							0.005	0.002	0.023	0.011						
C																
C+h																
D																
D+h										0.001						

Population Globale Hypothétique : Réduction de 75 % des stades C-D+h																
Catégorie nt + 1	Catégorie nt															
	s	a	b	c	d	d+h	A	A+h	B	B+h	C	C+h	D	D+h	W	V
$\lambda = 1.062$																
s						88		176		264		352		440	0.241	0.002
a	0.822	0.743	0.029												0.629	0.002
b	0.003	0.071	0.549	0.028	0.014		0.004								0.090	0.011
c	0.003		0.067	0.628	0.021		0.011								0.016	0.060
d			0.011	0.133	0.804		0.017								0.013	0.105
d+h				0.011	0.046	0.136	0.002	0.017							0.001	0.379
A			0.002	0.039	0.043	0.682	0.760	0.322	0.055	0.008					0.007	0.191
A+h							0.054	0.237	0.008	0.032					0.001	0.710
B						0.091	0.026	0.288	0.687	0.524	0.031	0.067	0.004		0.002	0.401
B+h							0.006	0.034	0.127	0.286	0.016				0.000	1.017
C									0.004	0.079	0.137	0.083	0.013	0.011	0.000	0.048
C+h											0.020	0.067	0.011	0.000	0.787	
D									0.006	0.008	0.023	0.017	0.153	0.087	0.000	0.040
D+h									0.004			0.017	0.034	0.130	0.000	1.000

Population Globale Hypothétique : Réduction de 75 % des stades C-D+h																
Catégorie nt + 1	Catégorie nt															
	s	a	b	c	d	d+h	A	A+h	B	B+h	C	C+h	D	D+h	W	V
s								0.018		0.021		0.021				0.001
a	0.055	<b>0.129</b>	0.001													
b	0.001	0.056	<b>0.061</b>	0.001												
c	0.004		0.040	<b>0.068</b>	0.002		0.001									
d			0.012	0.025	<b>0.120</b>		0.001									
d+h				0.008	0.025	0.005	0.001									
A			0.004	0.013	0.012	0.012	<b>0.119</b>	0.003	0.002							
A+h							0.031	0.010	0.001	0.001						
B						0.003	0.009	0.007	0.049	0.008						
B+h							0.005	0.002	0.023	0.011						
C																
C+h																
D																
D+h										0.001						

\* Pour faciliter la lecture seulement les entrées différentes de zéro sont représentées. Les matrices de transitions sont accompagnées du taux de croissance de la population correspondant  $\lambda$  (en haut et à gauche).  $W$  = Structure stable de la population ;  $V$  = vecteur des valeurs reproductives spécifiques de chaque catégorie de taille. \*\* Pour les matrices d'élasticité les cinq valeurs plus hautes sont indiquées en gras.

**Population Globale Hypothétique : Réduction de 100 % des stades C-D+h**

Catégorie $nt + 1$	Catégorie $nt$											
	s	a	b	c	d	d+h	A	A+h	B	B+h	W	V
$\lambda = 1.061$												
s						88		176		264	0.240	0.002
a	0.822	0.743	0.029								0.630	0.002
b	0.003	0.071	0.549	0.028	0.014		0.004				0.090	0.011
c	0.003		0.067	0.628	0.021		0.011				0.016	0.059
d			0.011	0.133	0.804		0.017				0.013	0.105
d+h			0.000	0.011	0.046	0.136	0.002	0.017			0.001	0.375
A			0.002	0.039	0.043	0.682	0.760	0.322	0.055	0.008	0.007	0.188
A+h							0.054	0.237	0.008	0.032	0.001	0.702
B						0.091	0.026	0.288	0.687	0.524	0.002	0.383
B+h							0.006	0.034	0.127	0.286	0.000	1.000

**Population Globale Hypothétique : Réduction de 100 % des stades C-D+h**

Catégorie $nt + 1$	Catégorie $nt$											
	s	a	b	c	d	d+h	A	A+h	B	B+h		
s								0.018		0.021		0.021
a	0.055	<b>0.130</b>	0.001									
b	0.001	0.056	<b>0.061</b>	0.001								
c	0.004		0.040	<b>0.068</b>	0.002		0.001					
d			0.012	0.025	<b>0.121</b>		0.001					
d+h				0.008	0.025	0.005	0.001					
A			0.004	0.013	0.012	0.012	<b>0.119</b>	0.004	0.002			
A+h							0.032	0.010	0.001	0.001		
B						0.003	0.008	0.006	0.047	0.008		
B+h							0.005	0.002	0.023	0.011		

\* Pour faciliter la lecture seulement les entrées différentes de zéro sont représentées. Les matrices de transitions sont accompagnées du taux de croissance de la population correspondant  $\lambda$  (en haut et à gauche).  $W$  = Structure stable de la population ;  $V$  = vecteur des valeurs reproductives spécifiques de chaque catégorie de taille. \*\* Pour les matrices d'élasticité les cinq valeurs plus hautes sont indiquées en gras.

Annexe 5 : Matrices de transition et d'élasticité par paires obtenues pour chaque population (globale hypothétique et réelles) pour lesquelles une valeur de  $\lambda$  inférieure à l'unité a été obtenue après différentes simulations de cueillette des plantes reproducteurs à plus d'une rosette (stades A-D+h) \* \*\*

Population Globale Hypothétique : Réduction de 40 % des stades A-D+h

Catégorie nt + 1	Catégorie nt															
	s	a	b	c	d	d+h	A	A+h	B	B+h	C	C+h	D	D+h	W	V
$\lambda = 0.994$																
s						88		176		264		352		440	0.194	0.001
a	0.822	0.743	0.029												0.647	0.002
b	0.003	0.071	0.549	0.028	0.014		0.002								0.107	0.006
c	0.003		0.067	0.628	0.021		0.007								0.022	0.028
d			0.011	0.133	0.804		0.010								0.022	0.053
d+h				0.011	0.046	0.136	0.001	0.010							0.001	0.177
A			0.002	0.039	0.043	0.682	0.456	0.193	0.033	0.005					0.006	0.027
A+h							0.032	0.142	0.005	0.019					0.000	0.333
B						0.091	0.016	0.173	0.412	0.314	0.075	0.160	0.010		0.001	0.076
B+h							0.003	0.020	0.076	0.171	0.038				0.000	0.504
C									0.003	0.048	0.328	0.200	0.031	0.026	0.000	0.098
C+h											0.047	0.160		0.026	0.000	0.699
D									0.004	0.005	0.056	0.040	0.366	0.209	0.000	0.135
D+h									0.003			0.040	0.081	0.313	0.000	1.000

Population Globale Hypothétique : Réduction de 40 % des stades A-D+h

Catégorie nt + 1	Catégorie nt															
	s	a	b	c	d	d+h	A	A+h	B	B+h	C	C+h	D	D+h	W	V
s							0.044		0.013		0.007					
a	0.061	<b>0.183</b>	0.001													
b	0.001	<b>0.062</b>	<b>0.079</b>	0.001												
c	0.003		0.046	<b>0.091</b>	0.003											
d			0.015	0.037	<b>0.219</b>		0.001									
d+h				0.010	0.042	0.008										
A			0.002	0.005	0.006	0.006	0.017									
A+h							0.015	0.002								
B						0.002	0.002	0.001	0.004							
B+h							0.002	0.001	0.004	0.002						
C																
C+h																
D																
D+h																

Chauvet : Réduction de 50 % des stades A-D+h

Catégorie nt + 1	Catégorie nt															
	s	a	b	c	d	d+h	A	A+h	B	B+h	C	C+h	D	D+h	W	V
$\lambda = 0.997$																
s						75		150		225		300		375	0.206	0.003
a	0.541	0.831	0.333												0.725	0.005
b		0.024	0.333		0.043		0.014								0.027	0.033
c			0.167	0.706	0.043		0.028								0.018	0.124
d				0.235	0.696										0.014	0.148
d+h					0.174										0.003	0.218
A				0.059		1.000	0.431	0.083	0.016						0.006	0.019
A+h							0.014	0.167	0.032						0.000	0.503
B								0.167	0.371	0.429					0.000	0.124
B+h									0.065	0.071			0.133	0.167	0.000	0.699
C															0.000	0.016
C+h													0.167		0.000	0.978
D													0.133		0.000	0.978
D+h									0.016		0.500	0.033	0.333		0.000	0.031
												0.033			0.000	1.000

Chauvet : Réduction de 50 % des stades A-D+h

Catégorie nt + 1	Catégorie nt															
	s	a	b	c	d	d+h	A	A+h	B	B+h	C	C+h	D	D+h	W	V
s							0.049		0.004							
a	0.054	<b>0.290</b>	0.004													
b		<b>0.058</b>	0.030		0.002											
c			0.056		<b>0.159</b>	0.008		0.002								
d					<b>0.064</b>	<b>0.147</b>										
d+h					0.054											
A				0.002			0.005	0.005								
A+h								0.004	0.001							
B																
B+h																
C																
C+h																
D																
D+h																

\* Pour faciliter la lecture seulement les entrées différentes de zéro sont représentées. Les matrices de transitions sont accompagnées du taux de croissance de la population correspondant  $\lambda$  (en haut et à gauche). W = Structure stable de la population ; V = vecteur des valeurs reproductives spécifiques de chaque catégorie de taille. \*\* Pour les matrices d'élasticité les cinq valeurs plus hautes sont indiquées en gras.

**Aulac : Réduction de 10 % des stades A-D+h**

Catégorie nt + 1	Catégorie nt															
	s	a	b	c	d	d+h	A	A+h	B	B+h	C	C+h	D	D+h	W	V
<b><math>\lambda = 0.961</math></b>																
s						75		150		225		300		375	0.119	0.001
a	0.822	0.500													0.213	0.000
b	0.003	0.500	0.800	0.028	0.014										0.664	0.000
c	0.003			0.628	0.021										0.001	0.310
d				0.133	0.804										0.001	0.486
d+h				0.011	0.046	0.136									0.000	0.799
A				0.039	0.043	0.682	0.450	0.129	0.039						0.000	0.764
A+h							0.225	0.129	0.039	0.270					0.000	0.907
B							0.091	0.225	0.643	0.548	0.540	0.113	0.240	0.015	0.001	0.827
B+h									0.274	0.090		0.056			0.000	1.009
C											0.492	0.300	0.046	0.039	0.000	0.533
C+h											0.070	0.240	0.039	0.000	0.959	
D											0.084	0.060	0.549	0.313	0.000	0.386
D+h												0.060	0.122	0.470	0.000	1.000

**Aulac : Réduction de 10 % des stades A-D+h**

Catégorie nt + 1	Catégorie nt															
	s	a	b	c	d	d+h	A	A+h	B	B+h	C	C+h	D	D+h		
s							0.002		0.013		0.025					
a																
b																
c	0.039			0.078	0.002											
d				0.026	0.133											
d+h				0.004	0.013	0.003										
A				0.012	0.011	0.013	0.052	0.010	0.013							
A+h							0.031	0.012	0.015	0.032						
B							0.002	0.028	0.055	0.191	0.059					
B+h										0.116	0.012					
C																
C+h																
D																
D+h																

**Monthallier : Réduction de 10 % des stades A-D+h**

Catégorie nt + 1	Catégorie nt															
	s	a	b	c	d	d+h	A	A+h	B	B+h	C	C+h	D	D+h	W	V
<b><math>\lambda = 0.983</math></b>																
s						88		176		264		352		440	0.151	0.001
a	0.822	0.743													0.560	0.001
b	0.003	0.071	0.636	0.659	0.067										0.123	0.005
c	0.003		0.273	0.045	0.711										0.116	0.006
d				0.045	0.711	0.007									0.021	0.018
d+h				0.022	0.333	0.333	0.661	0.055							0.001	0.154
A				0.068	0.067	0.333	0.021	0.011	0.055						0.026	0.017
A+h							0.021	0.014	0.604	0.225					0.001	0.193
B							0.014		0.604	0.400	0.225				0.001	0.106
B+h									0.066	0.200					0.000	0.416
C											0.338	0.450			0.000	0.241
C+h											0.113	0.450			0.000	0.905
D											0.113		0.360	0.225	0.000	0.284
D+h									0.011				0.180	0.450	0.000	1.000

**Monthallier : Réduction de 10 % des stades A-D+h**

Catégorie nt + 1	Catégorie nt															
	s	a	b	c	d	d+h	A	A+h	B	B+h	C	C+h	D	D+h		
s							0.022		0.031		0.006					
a	0.049	0.163														0.002
b	0.001	0.055	0.108	0.138	0.003											
c	0.001		0.060	0.028	0.082			0.001								
d				0.022	0.012	0.012	0.012									
d+h				0.041	0.007	0.001	0.090									
A							0.032			0.001						
A+h							0.012			0.016	0.001					
B									0.007	0.002						
B+h																
C																
C+h																
D																
D+h										0.003						0.002

\* Pour faciliter la lecture seulement les entrées différentes de zéro sont représentées. Les matrices de transitions sont accompagnées du taux de croissance de la population correspondant  $\lambda$  (en haut et à gauche). W = Structure stable de la population ; V = vecteur des valeurs reproductives spécifiques de chaque catégorie de taille. \*\* Pour les matrices d'élasticité les cinq valeurs plus hautes sont indiquées en gras.

Chaudfour : Réduction de 100 % des stades A-D+h								
Catégorie $nt + 1$	Catégorie $nt$						$W$	$V$
	s	a	b	c	d	d+h		
$\lambda = 1.041$								
s						75	0.200	0.005
a	0.822	0.743					0.552	0.006
b	0.003	0.071	0.500				0.074	0.026
c	0.003		0.500	0.714	0.019		0.118	0.028
d				0.143	0.731		0.054	0.064
d+h					0.019	0.667	0.003	1.000

Chaudfour : Réduction de 100 % des stades A-D+h							
Catégorie $nt + 1$	Catégorie $nt$						
	s	a	b	c	d	d+h	
s							<b>0.063</b>
a	0.062	<b>0.153</b>					
b	0.001	0.062	0.058				
c	0.001		0.062	<b>0.142</b>	0.002		
d				0.065	<b>0.153</b>		
d+h					<b>0.063</b>	0.113	

Poujade : Réduction de 100 % des stades A-D+h								
Catégorie $nt + 1$	Catégorie $nt$						$W$	$V$
	s	a	b	c	d	d+h		
$\lambda = 1.130$								
s						75	0.296	0.015
a	1.000	0.547	0.045				0.515	0.017
b		0.110	0.432		0.021		0.084	0.090
c			0.182	0.564	0.007		0.028	0.221
d			0.091	0.308	0.908		0.073	0.239
d+h				0.051	0.050		0.004	1.000

Poujade : Réduction de 100 % des stades A-D+h							
Catégorie $nt + 1$	Catégorie $nt$						
	s	a	b	c	d	d+h	
s							<b>0.092</b>
a	<b>0.092</b>	<b>0.087</b>	0.001				
b		<b>0.093</b>	0.059			0.003	
c			0.061	0.063	0.002		
d			0.033	0.037	<b>0.287</b>		
d+h				0.026	0.066		

\* Pour faciliter la lecture seulement les entrées différentes de zéro sont représentées. Les matrices de transitions sont accompagnées du taux de croissance de la population correspondant  $\lambda$  (en haut et à gauche).  $W$  = Structure stable de la population ;  $V$  = vecteur des valeurs reproductives spécifiques de chaque catégorie de taille. \*\* Pour les matrices d'élasticité les cinq valeurs plus hautes sont indiquées en gras.