

# Cours-séminaire

## Gestion des populations des espèces végétales

HADJOU BELAID Asma

Janvier 2017



**Institut des Sciences de l'Evolution de Montpellier**  
**Université de Montpellier**  
**120, Place Eugène Bataillon, Bat 22**



# Suivi démographique

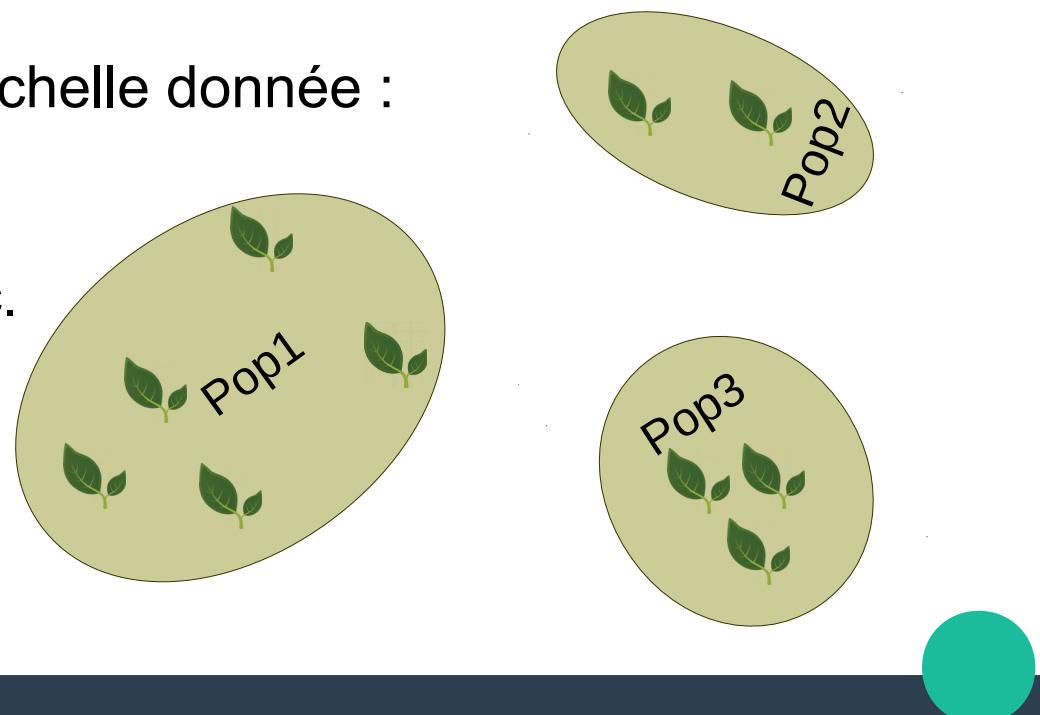
## Définition d'une population

Une population est un groupe d'individus appartenant à une même espèce délimité et occupant le même biotop

Elle constitue une entité écologique qui possède ses caractéristiques propres.

Une population se réfère à une échelle donnée :

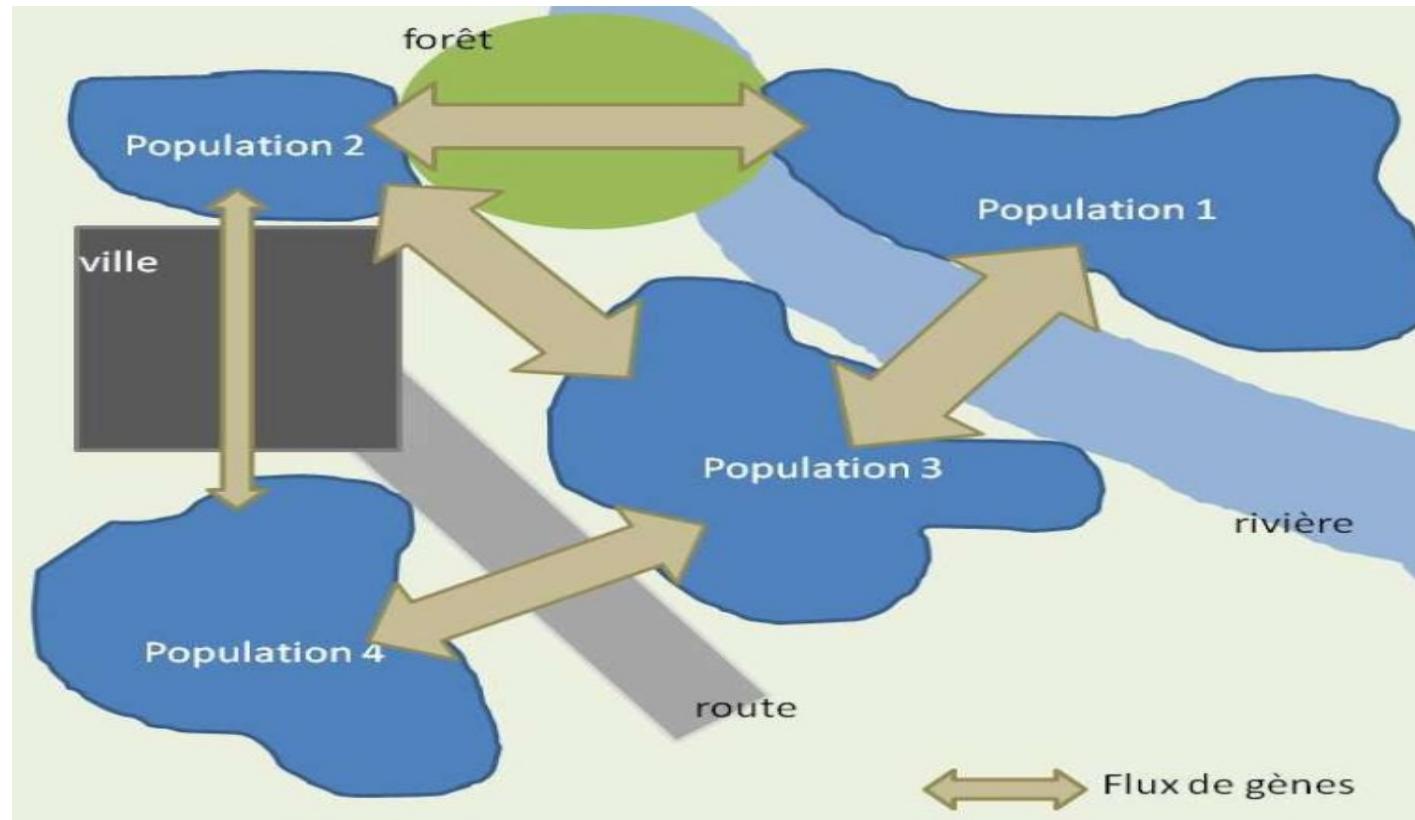
- Population d'une région
- Population d'un continent, etc.



# Suivi démographique

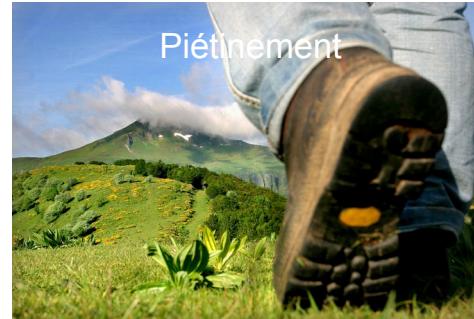
## Méta-population

- Un ensemble de pop d'une même espèce, séparées par des barrières géographiques, entre lesquelles il existe des échanges (flux de gènes) plus ou moins abondants et fréquents.



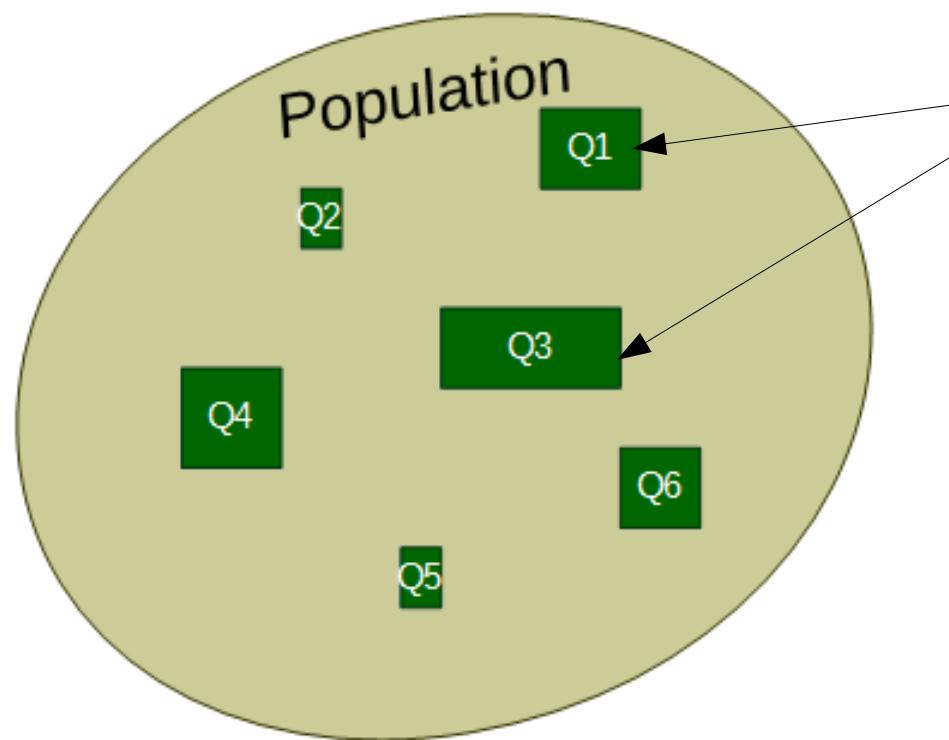
# Suivi démographique

Pour pouvoir réaliser un suivi démographique sur une population végétale, il est nécessaire de trouver une population **peu perturbée** par **l'activité humaine** ou pour laquelle on connaît les modalités de ces perturbations



# Suivi démographique

Pour chaque population suivie, des **quadrats** d'un certain nombre d'individus sont mis en place.



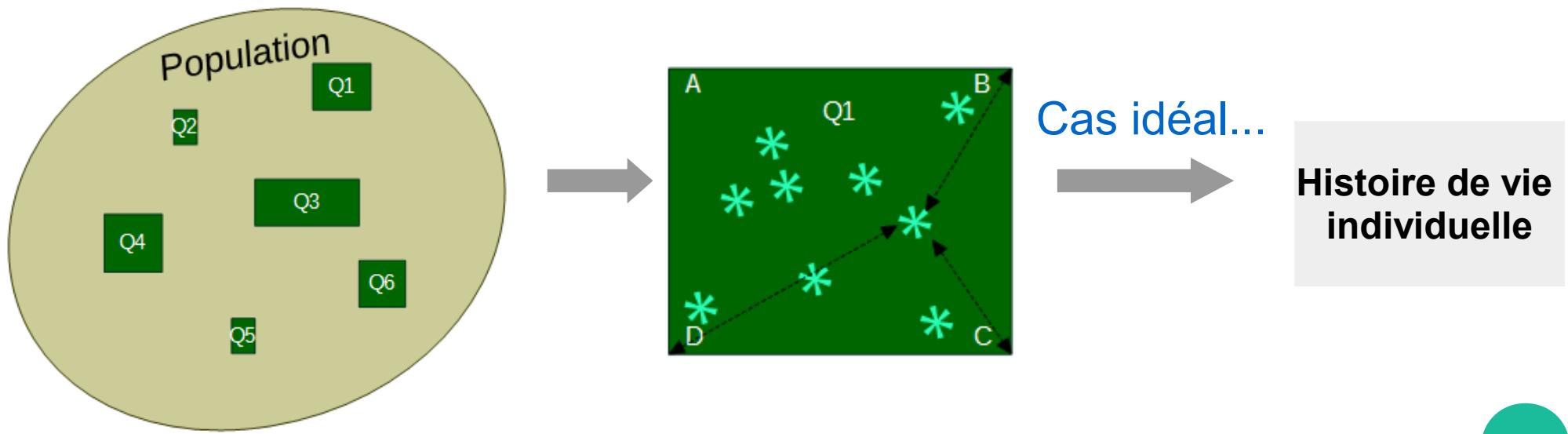
## Quadrats

⚠ Attention! en écologie, un quadra peut être rond, triangle...



# Suivi démographique

- Au sein de ces quadrats, tous les individus sont cartographiés ou repérés par une étiquette métallique poinçonnée à leur pied.
- La position des plantes relativement aux délimitations du quadrat est aussi déterminée, ce qui permet de réaliser une cartographie de chaque quadrat.



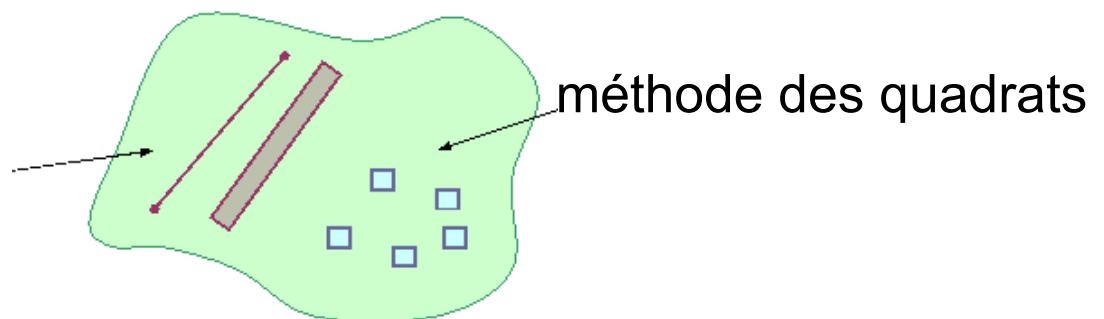
# Suivi démographique

## Échantillonnage

- Il s'agit d'une estimation par des prélèvements au hasard.
- Pour qu'il soit pertinent un échantillon doit être représentatif de la population étudiée.
- L'échantillon doit avoir les mêmes caractéristiques ou au moins soit proche de celles de la population.

### Deux méthodes possibles :

La méthode des transects  
(en ligne ou en bande)



méthode des quadrats

# Estimation de tailles des populations

## Énumération exhaustive

→ **Solution la plus évidente... mais pas la plus Simple.**

- Aire peut être objectivement trop grande
- Aire peut être de taille limitée mais
  - terrain difficile d'accès
  - déplacement à l'intérieur difficile
  - autorisation de propriétaires difficiles à obtenir
  - investissement en temps possible irrégulier selon les années

# Estimation de tailles des populations

## Alternative

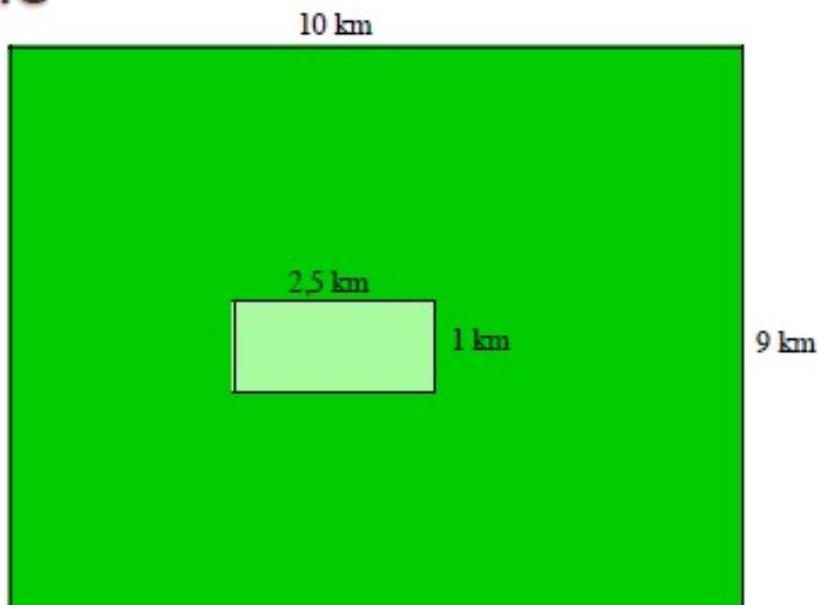
### Énumération sur des fractions de la population

- Des quadras sont définis et les individus sont dénombrés à l'intérieur.
- Le nombre d'individus est converti en densité.
- Le nombre total d'individus est alors calculé en **multippliant la densité par la surface totale**



# Estimation de tailles des populations

## Exemple



### Hypothèses sous-jacentes à cette méthode

- Les individus ne sont comptés qu'une fois : pas de mouvement !
- La distribution des individus est homogène sur toute la zone

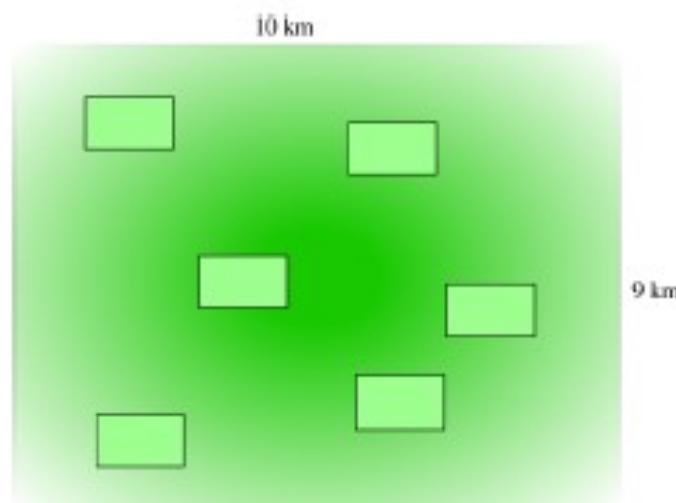
- N individus dénombrés pour  $2.5 \text{ km}^2$
- Soit  $N/2.5$  individus par  $\text{km}^2$
- Soit  $90.(N/2.5)$  individus au total



# Estimation de tailles des populations

## Correction

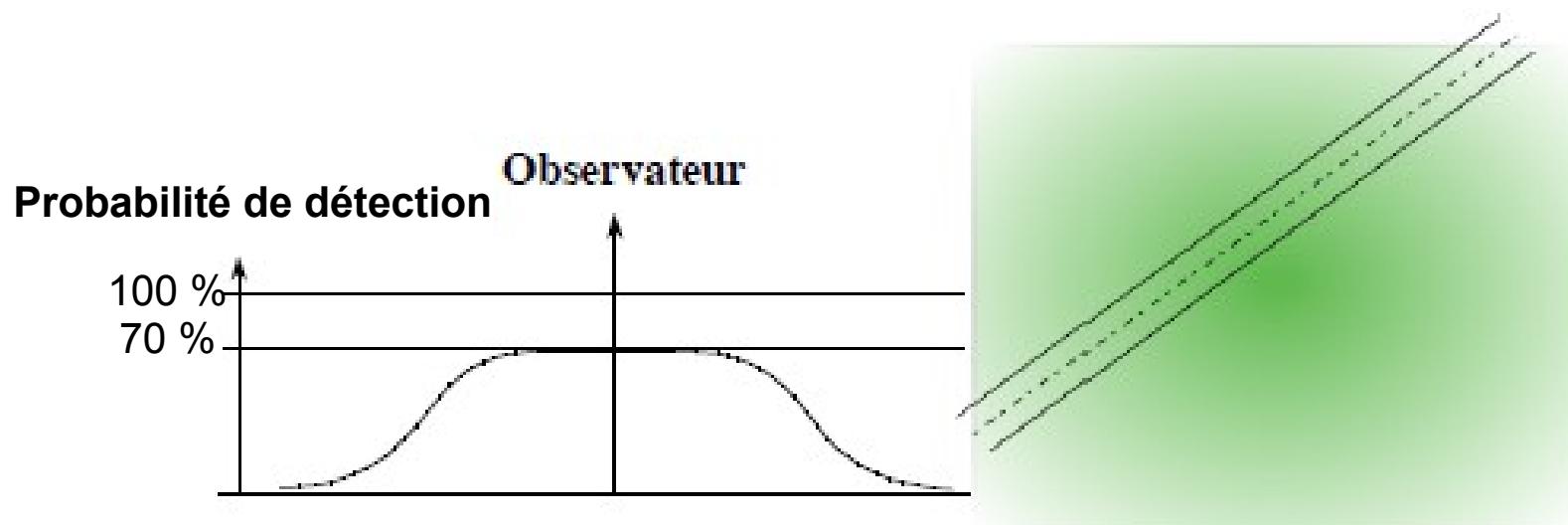
- On peut corriger pour l'hétérogénéité de la distribution en faisant plusieurs échantillonnages dans des zones différentes.



# Estimation de tailles des populations

## Méthode des transects

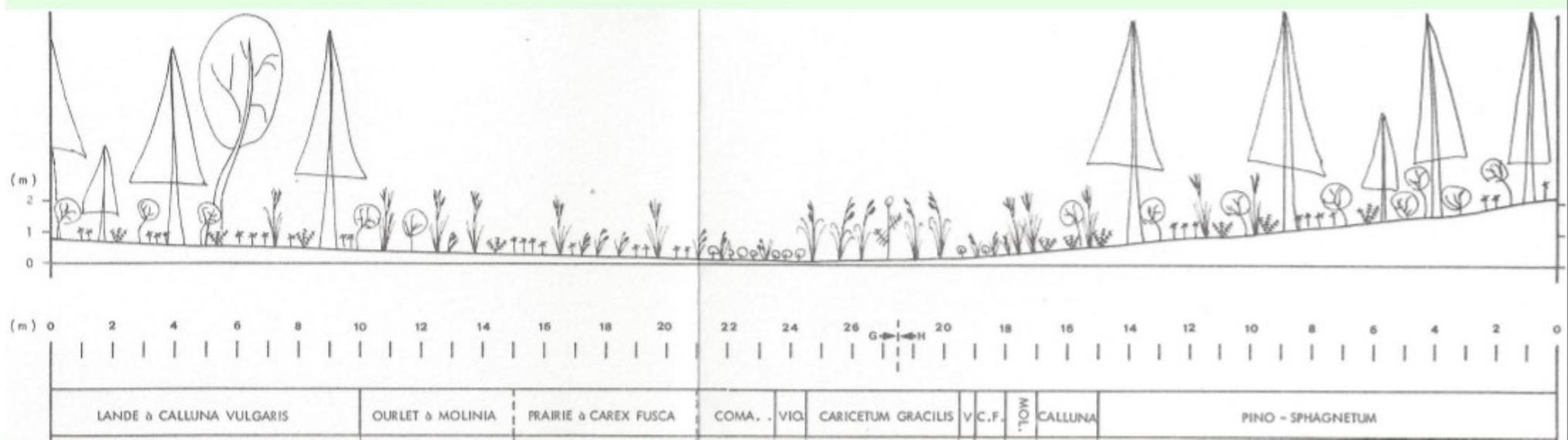
- Comptage le long d'une ligne.
- Les individus sont comptés jusqu'à une limite de détectabilité.
- Cette limite de détectabilité peut être définie statistiquement...



# Estimation de tailles des populations

## Méthode des transects

**Transects** (par Gobat (1984))



# Estimation de tailles des populations

## Problème de détection

Le problème de détection est rencontré même chez les populations végétales malgré que les individus ne déplacent pas !

Par exemple un individu peut rester

- invisible en ne gardant que la partie souterraine
- dans un état de "dormance"



Les individus sont présents mais leur proba de détection = 0

# Estimation de tailles des populations

## Problème de détection

- Certaines plantes restent sans feuilles sous forme d'un "cadavre" pendant une ou plusieurs année
- Elles repoussent à nouveau (état végétatif)



Cas d'un état de dormance d'un individu de *Brassica insularis*

# Estimation de tailles des populations

## Problème de détection

- Certaines plantes restent sans feuilles sous forme d'un "cadavre" pendant une ou plusieurs année
- Elles repoussent à nouveau (état végétatif)



# Estimation des paramètres démographiques

## Population

### Principaux paramètres

- Densité : nombre d'individu rapporté à une surface
- Natalité : nb naissances /1000 individus
- Mortalité : nb décès/1000 individus
- Fécondité : nb naissances /nb femelles fécondes
- Sex-ratio : rapport nb de mâle /nb de femelles

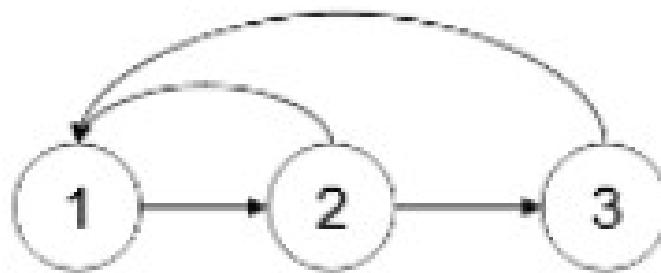


# Estimation des paramètres démographiques

## Cycle de vie

- Le cycle de vie se schématise simplement en représentant
  - chaque classe d'âge par un nœud
  - les transitions d'individus d'une classe à l'autre par des flèches
- Il peut être structuré par classes d'âge ou bien des stades

**Exemple:** considérons une population subdivisée en trois classes d'âge, dont les classes 2 et 3 se reproduisent, et 3 étant l'âge maximum des individus. On obtient alors le schéma suivant :



*Graphe de cycle de vie d'une population subdivisée en 3 classes d'âge*

# Estimation des paramètres démographiques

On essaie souvent de travailler sur des **pop fermées**  
**(pas d'émigration ni d'immigration)** sauf intérêt particulier.

SURVIE et FÉCONDITÉ suffisent alors à décrire complètement la dynamique de la population

en termes mathématiques :

$$N(t+1) = N(t)*F + N(t)*S$$

avec F= fécondité et S= survie

→ Matrices de Leslie



# Estimation des paramètres démographiques

Notons

- $P_i$  la probabilité qu'un individu survie de la classe  $i$  à la classe  $i+1$
- $F_i$  (fécondité) le nbr d'individus engendrés par une femelle d'âge  $i$  et qui survivent jusqu'à l'âge 1

Le système d'équations mathématique qui régit la dynamique d'une telle population s'écrit

$$\begin{cases} n_1(t+1) = F_2 n_2(t) + F_3 n_3(t) \\ n_2(t+1) = P_1 n_1(t) \\ n_3(t+1) = P_2 n_2(t) \end{cases}$$

Ce qui s'écrit sous la forme matricielle suivante

$$\begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \end{pmatrix}_{t+1} = \begin{pmatrix} 0 & F_2 & F_3 \\ P_1 & 0 & 0 \\ 0 & P_2 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \end{pmatrix}_t \Leftrightarrow \vec{N}_{t+1} = \mathbf{M} \vec{N}_t$$

# Estimation des paramètres démographiques

La fécondité **individuelle** dans les populations végétales est difficile à estimer puisqu'on ne connaît pas la plante mère...

→ Généralement, elle est donnée par une moyenne par chaque quadrat

# Analyse de la matrice de transition

## Estimation des taux d'accroissement

- Le taux d'accroissement est donné par la plus grande valeur  $\lambda$  qui vérifie

$$M N = \lambda \cdot N$$

- Lambda est une mesure de la variation du nombre d'individus dans la population pendant un pas de temps considéré, tel que
  - $\lambda = 1 \rightarrow$  la taille de la population est stable
  - $\lambda > 1 \rightarrow$  la taille augmente
  - $\lambda < 1 \rightarrow$  la taille déclin



La connaissance du Lambda n'informe pas sur les mécanismes et ne donne pas de piste de gestion.



# Analyse de la matrice de transition

## Analyses de perturbation

Que se passe-t-il si on modifie un ou plusieurs paramètres démographiques ?

Pour augmenter les effectifs, vaut-il mieux :

- augmenter la survie adulte ?
- augmenter la survie des jeunes ?
- augmenter la fécondité ?



# Analyse de la matrice de transition

## Analyses de perturbation

- Ces analyses sont souvent plus utiles que les paramètres eux-mêmes car elles donnent un poids aux différentes transitions.
- Les deux principales analyses de perturbation sont les analyses de **sensibilité** et **d'élasticité**.

$$\text{Sensibilité} = \frac{\partial \lambda}{\partial a_{ij}}$$

Un petit changement en  
 $a_{ij}$  amène à un changement  
de  $\lambda$ .

$$\text{Elasticité} = \frac{\partial \lambda}{\partial a_{ij}} \frac{a_{ij}}{\lambda}$$

Mesure la sensibilité relative.

# Analyse de la matrice de transition

## Analyses de perturbation

- Les **espèces longévives** sont plus sensibles à des changements de **survie adulte**.
- Les **espèces à courte durée de vie** sont plus sensibles à des changements sur la **fécondité**.

# Analyse de la matrice de transition

## Notion de Stochasticité

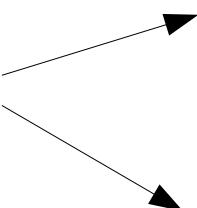
Deux sources de variation stochastique

- Démographique
- Environnementale

Comment faire ?

A chaque pas de temps, matrice de transition différente  $M_t$

$$N_{t+1} = M_t N_t$$



**Tirer au hasard une matrice  $M_t$**

**Faire varier certains paramètres de  $M$  aléatoirement**



# Analyse de la matrice de transition

## Notion de Stochasticité

- Supposons que la fécondité varie aléatoirement au cours du temp.
- Cette variation conduit à une matrice de transition stochastique  $M_t$  qui varie au cours du temps

### Exemple

$$M_t = \begin{pmatrix} 0 & 1 \times h(t) & 5 \times h(t) \\ 0.3 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0 \end{pmatrix}$$

où  $h(t)$  traduit la façon dont la fécondité varie en fonction de bonnes et mauvaises années

# Analyse de la matrice de transition

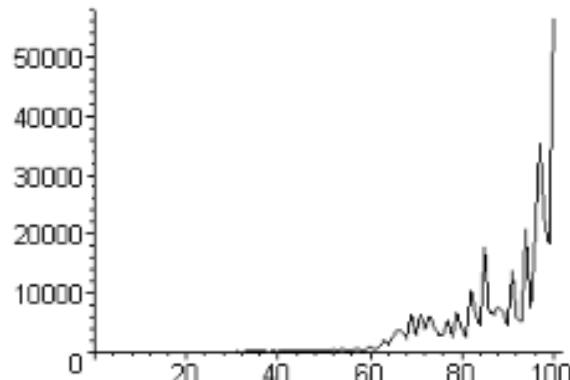
## Notion de Stochasticité

Du fait que ce processus aléatoire d'enchaînement des bonnes et mauvaises années, à chaque pas de temps, la matrice M change.

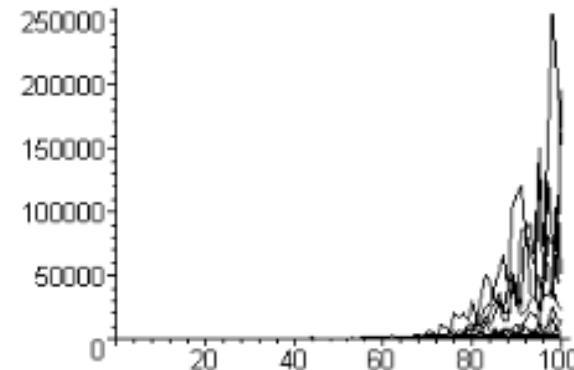
→ Prévoir le devenir des pop ?

→ Simulations stochastiques

Une réalisation du processus stochastique



50 réalisations



*Effet d'une variation stochastique sur l'évolution de la taille de la pop au cours du temps pour une et 50 réalisations du processus stochastique.*



# Analyse de la matrice de transition

## Analyse de viabilité des populations (PVA)

- Utilisation des matrices de transition pour estimer le **risque d'extinction** de la population à différentes échéances de temps (10, 20, 50, 100 ans) en fonction de plusieurs **scénarios de gestion**.

Un modèles PVA **déterministes**: taux vitaux (survie, fécondité...) constants, mesurés pour une seule population close

Les paramètres démographiques peuvent varier :

- Avec la taille de la population.
- Avec les fluctuations / pressions environnementales
  - ➔ Stochasticité...



# Table de survie

- Une table de survie est une construction qui permet de suivre minutieusement le destin d'une population.
- Elle permet d'étudier le nombre de décès, les probabilités de survie et l'espérance de vie selon l'âge et le sexe.
- Utile pour des populations fermées et quand les âges/stades sont facilement différenciables.

# Table de survie

- **6 paramètres par table de survie:**
  - Classe d'âge
  - Nombre de survivants dans la classe d'âge  $a_x$
  - % de la cohorte ayant survécu jusqu'à cette classe d'âge  $I_x$
  - Descendants produits par chaque classe d'âge  $F_x$
  - Nbr moyen de descendants par adulte survivant  $m_x = F_x / a_x$
  - Nbr de descendants par individu initial pour chaque classe  $I_x m_x$
- $\Sigma I_x m_x = R = \text{taux de reproduction} = \Sigma F_x / a_0$



# Table de survie

## Exemple de table de survie d'une population en croissance *Phlox drumondii*, plante annuelle

AGE INTERVAL (DAYS) $x-x'$	NUMBER SURVIVING TO DAY X $a_x$	PROPORTION OF ORIGINAL COHORT SURVIVING TO DAY X $I_x$	SEEDS PRODUCED IN EACH STAGE $F_x$	SEEDS PRODUCED PER SURVIVING INDIVIDUAL IN EACH STAGE $m_x$	SEEDS PRODUCED PER ORIGINAL INDIVIDUAL IN EACH STAGE $I_x m_x$
0-63	996	1.000	0.0	0.00	0.00
63-124	668	0.671	0.0	0.00	0.00
124-184	295	0.296	0.0	0.00	0.00
184-215	190	0.191	0.0	0.00	0.00
215-264	176	0.177	0.0	0.00	0.00
264-278	172	0.173	0.0	0.00	0.00
278-292	167	0.168	0.0	0.00	0.00
292-306	159	0.160	53.0	0.33	0.05
306-320	154	0.155	485.0	3.13	0.49
320-334	147	0.148	802.7	5.42	0.80
334-348	105	0.105	972.7	9.26	0.97
348-362	22	0.022	94.8	4.31	0.10
362-	0	0.000	0.0	0.00	0.00
Total			2408.2		2.41

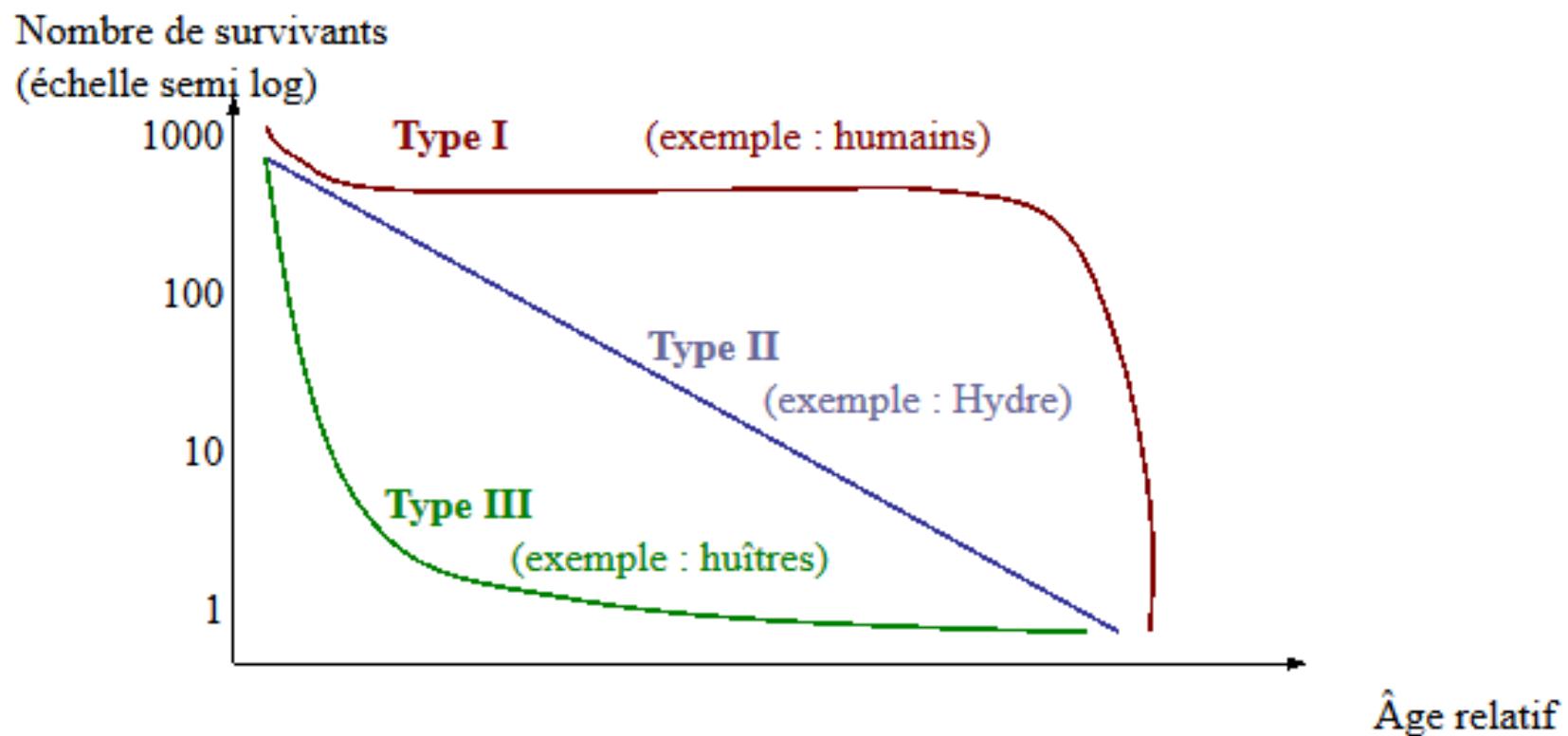
$$R_0 = \sum I_x m_x = \frac{\sum F_x}{a_0} = 2.41.$$

$$R = \sum I_x m_x = \sum F_x / a_0 = 2.41$$



# Courbe de survie

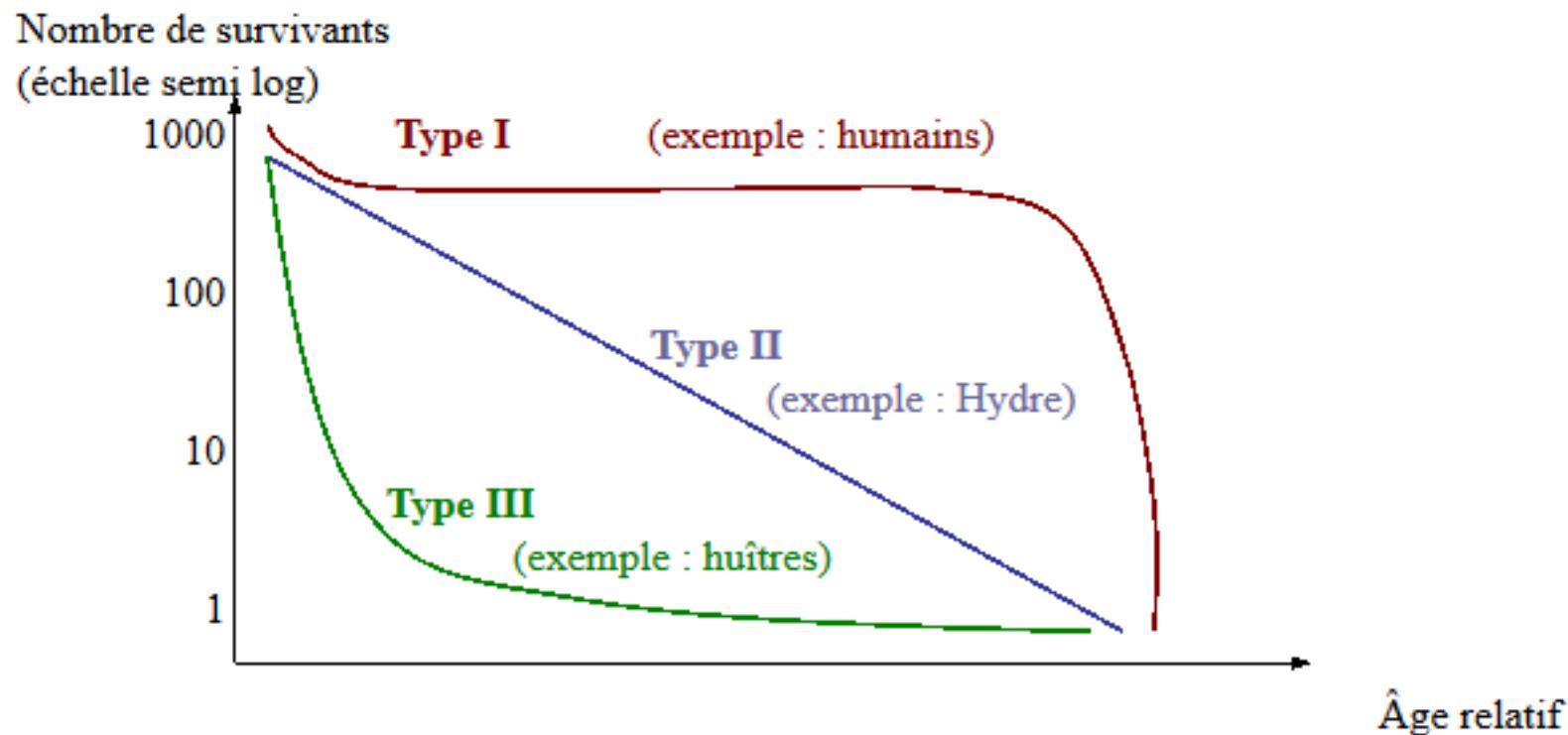
- Une courbe de survie correspond à la proportion des individus encore en vie à différentes périodes.
- Il existe 3 types de tracés :



# Courbe de survie

- **Type I : Courbe convexe**

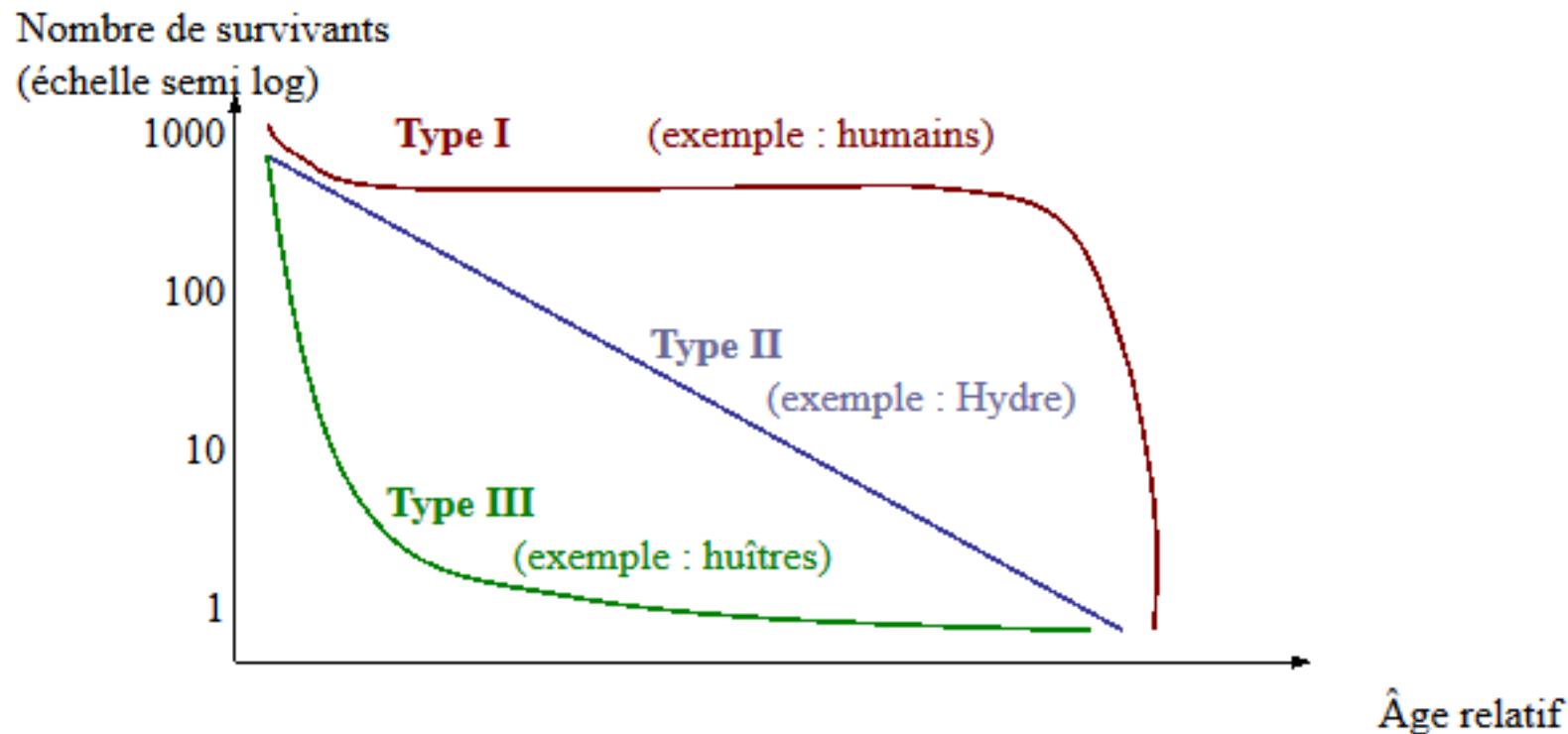
Il reflète une mortalité faible durant les jeunes stades et élevée chez les individus âgés.



# Courbe de survie

- **Type II : Droite**

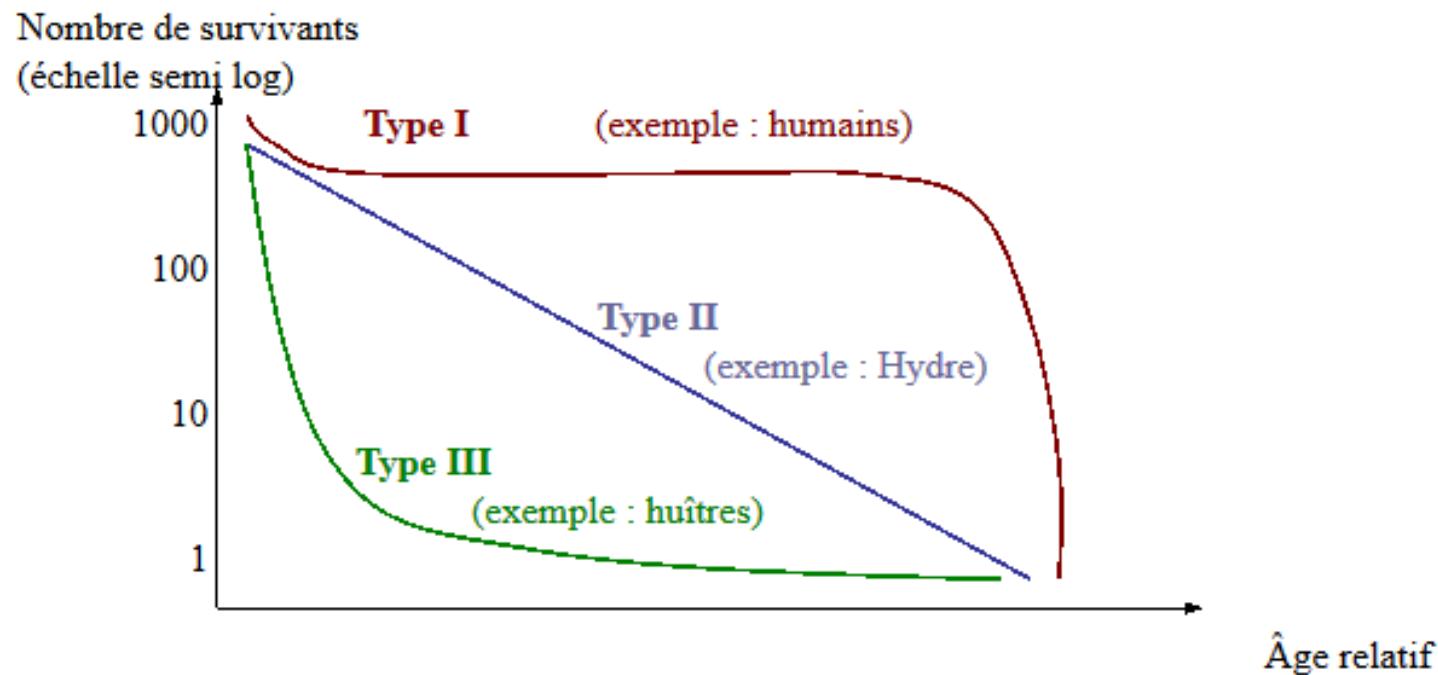
Le taux de mortalité est constant tout au long de l'âge .



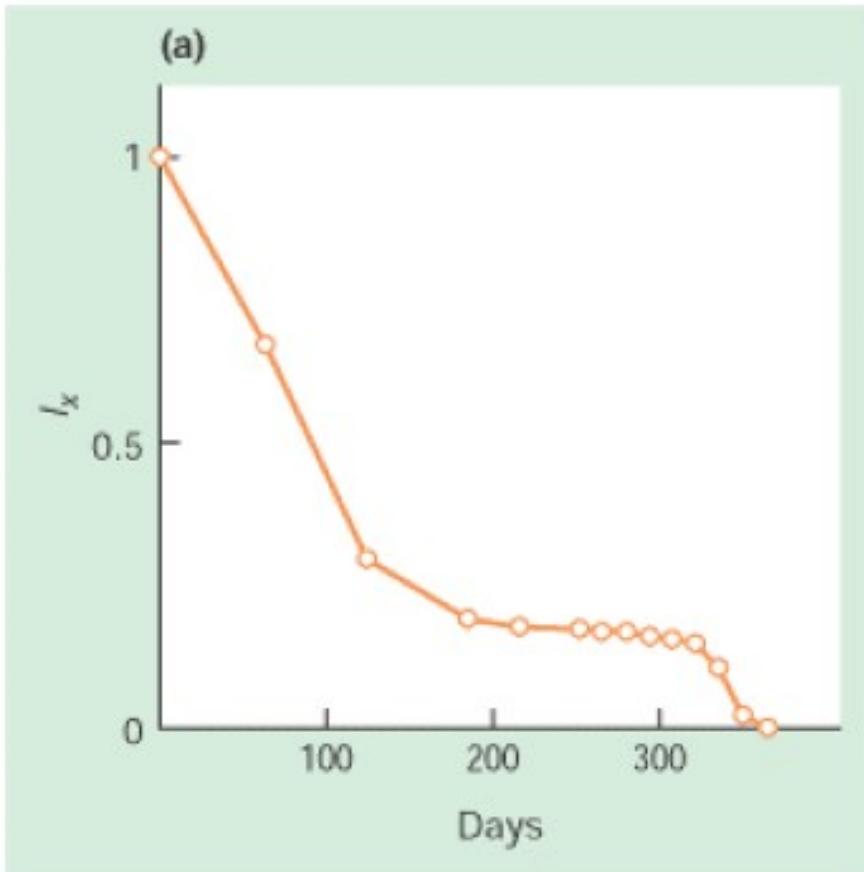
# Courbe de survie

- **Type III : Courbe concave**

- Il reflète une forte mortalité durant les jeunes stades et un fort taux de survie chez les individus qui ont atteint l'âge adulte.
- La descendance est nombreuse mais vulnérable.



# Courbe de survie



Exemple de courbe de survie  
chez *Phox drumondii*



# Courbe de survie

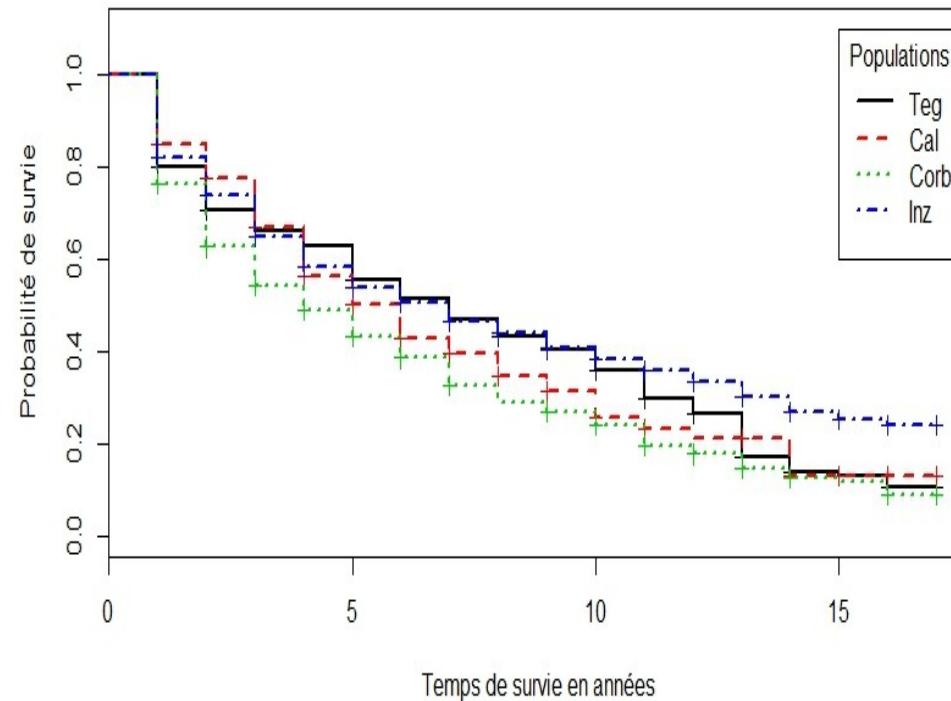
## Méthode de Kaplan Meier

- C'est une approche probabiliste pour décrire la dynamique de survenue des décès au fil du temps.
  - ➔ Une estimation non paramétrique de la courbe de survie.
  - ➔ L'estimateur est asymptotiquement sans biais.
- Cette méthode permet aussi de comparer des courbes de survie entre plusieurs populations.

# Courbe de survie

## Méthode de Kaplan Meier

Estimation de fonction de survie  $S(t)=P(T>t)$



Formule mathématique :

$$\hat{S}_k = P(T \geq t_k / T \geq t_{k-1}) P(T \geq t_{k-1} / T \geq t_{k-2}) \dots P(T \geq t_1 / T \geq t_0) = \prod_{1 \leq i \leq k-1} (1 - \hat{h}_i), \text{ Avec } \hat{h}_i = d_i / (n_i - w_i)$$

# Gestion des populations

Maintenant que l'on dispose des valeurs de survie, de fécondité et que l'on a étudié le devenir de la population et éventuellement mis en évidence un problème, il faut proposer des **solutions de gestion** !



# Gestion des populations

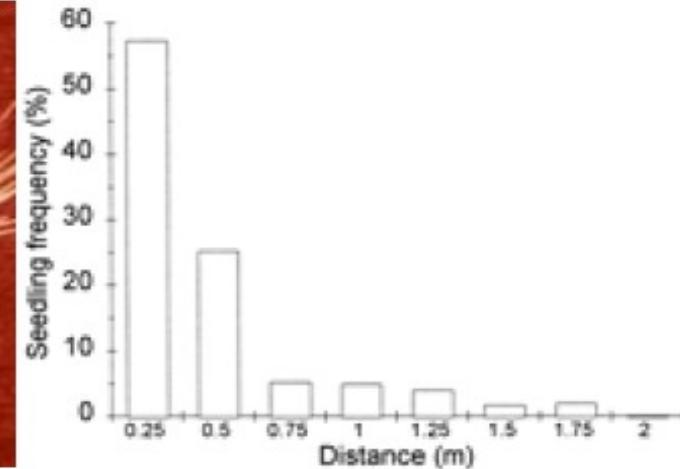
**Principe** : étudier la contribution des taux vitaux sur la variance de lambda (fécondité pour différentes classes d'âge, survie des différentes classe d'âge, etc)

**But** : déterminer sur quel paramètre l'action sera la plus efficace.

# Gestion des populations

## La nature est en risque...

- Erosion de la biodiversité...
- Environ 11% des espèces végétales au monde sont menacées d'extinction.
  - Pop de petite taille et isolées géographiquement dans le paysage suite à la fragmentation de leurs habitats
  - Des espèces à faible capacité de dispersion et de colonisation.



*Centaurea corymbosa* (centaurée de la clape) (Colas et al. 1997, 2001)

# Gestion des populations

Espèces menacées d'extinction avec une faible capacité de colonisation liée à leur niche écologique restreinte



Deux espèces endémiques de la vallée de Seine Violette de Rouen et la Biscutelle de Neustrie



# Gestion des populations

## Effet de stochasticité

- L'effectif des populations en déclin, des processus stochastiques d'ordre démographique, génétique ou environnemental peuvent la piéger dans une spirale vers l'extinction...
  - ➔ Diminution de la fitness des populations (nombre de descendants viables)
  - ➔ Diminution de la fertilité
    - le succès reproducteur
    - le pouvoir germinatif



# Gestion des populations

## Mesures de conservation et/ou pratiques de restauration

Que faire des petites populations isolées géographiquement

→ Le renforcement des effectifs des populations, une pratique de restauration récente



# Gestion des populations

## Fermeture des milieux

2002-06, DEA et Thèse (2006 UMII, Max Debussche et John Thompson, CEFE) ANR ABIME  
2006-10, poursuite de la collaboration + projet conservation OE et CB Corse

Région méditerranéenne : fermeture des milieux par les ligneux suite à la déprise agricole, conséquences sur les espèces rares et endémiques (géophytes de milieux ouverts) ?



### Gestion expérimentale

Peut-on faire varier des paramètres lors d'actions sur l'habitat?



### Dynamique des populations

Quels paramètres démographiques affectent le taux d'accroissement des populations ?

### Composantes du cycle de vie

Quels paramètres démographiques varient et quelles sont leurs sources de variation?

# Gestion des populations

Exemple de suivi démographique et de gestion  
des populations végétales

*Centaurea corymbosa* Pourret (Asteracea)

(Centaurée de la Clape)



# Une histoire de centaurée...

1994...

Isabelle Olivieri	Bruno Colas
Hélène Fréville	Miquel Riba
Sheila Luijten	Florian Kirchner
Agnès Mignot	Olivier Hardy
Coralie Beltrame	Eric Imbert
Fabienne Justy	David Carbonell
Maria Mayol	Baptiste Testi
Ophélie Ronce	Santi. Gonzalez
Sandrine Maurice	Jonathan Dubois
Valérie Petat	
Lisa Favre	
Aurélie Genries	
Raja Braia	
Asma Hadjou Belaid ... 2017	



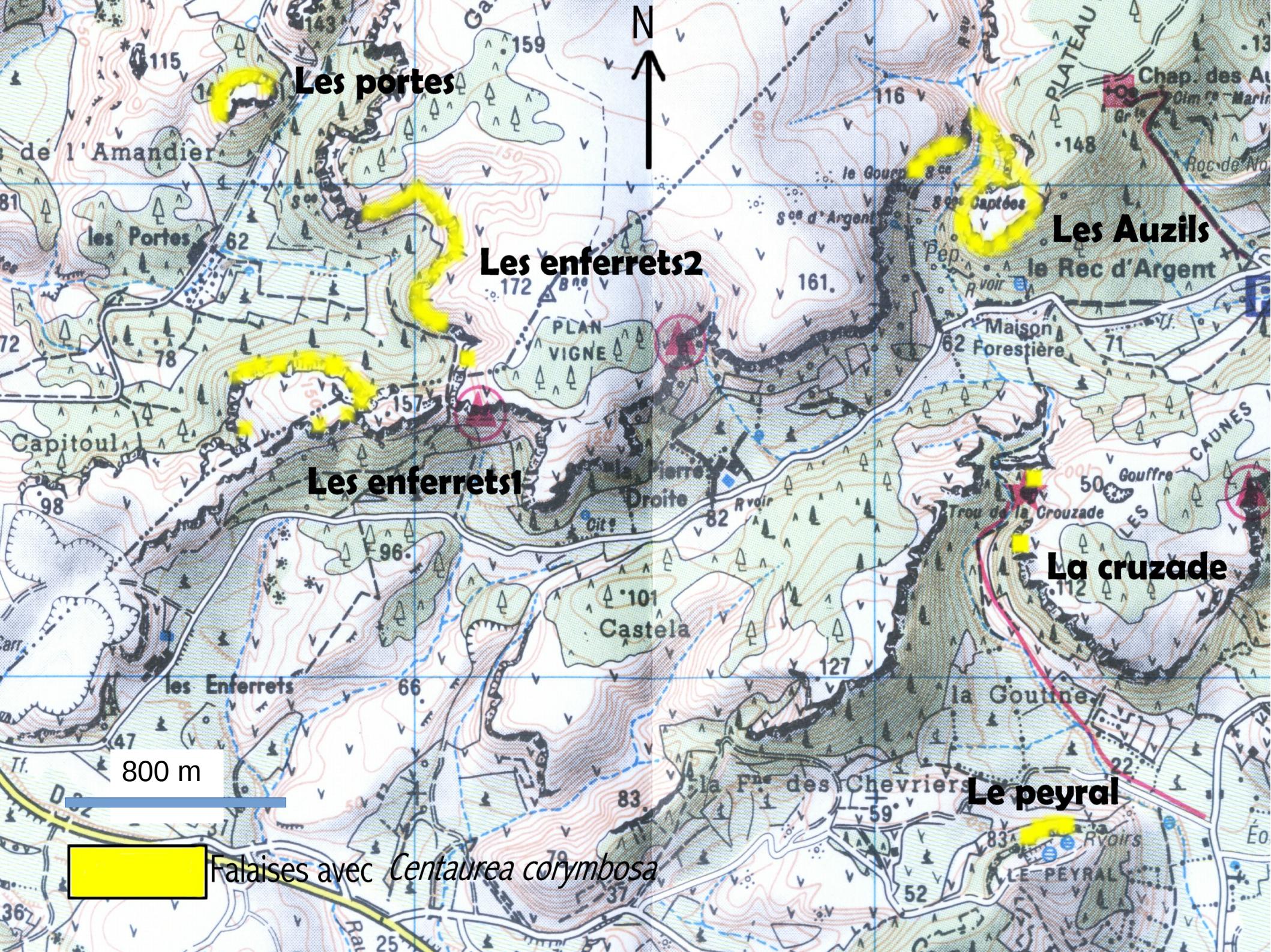
# Répartition géographique



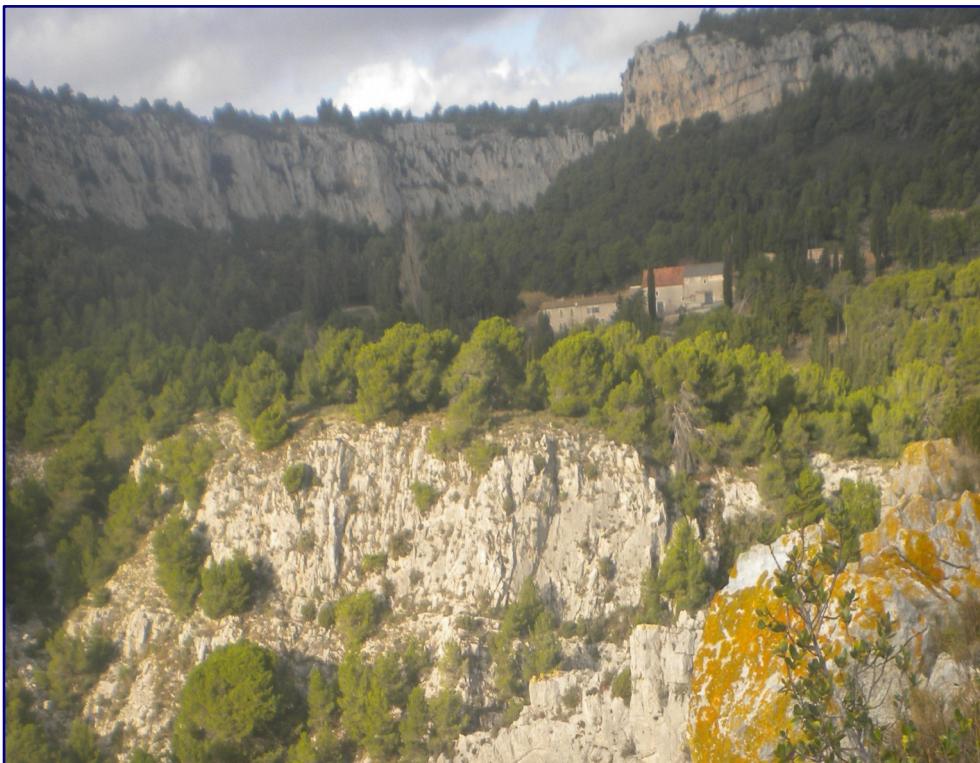
Uniquement **6 populations** connues qui se situent toutes sur le long des falaises du Massif de la Clape à l'Est de Narbonne

Massif de la Clape





# *Massife de la Clape*



# Mise en place du suivi démographique

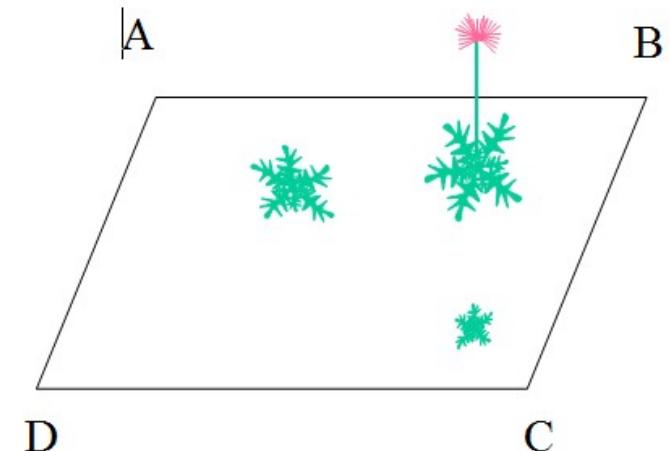
- Le suivi démographique est basé sur deux méthodes
  - Suivi des quadrats permanents
  - Comptage des plantes en fleurs
- Sorties sur le terrain **tous les 3 mois**  
(mars, juin, septembre et décembre)



# Mise en place du suivi démographique

## Placettes permanentes – Quadrats

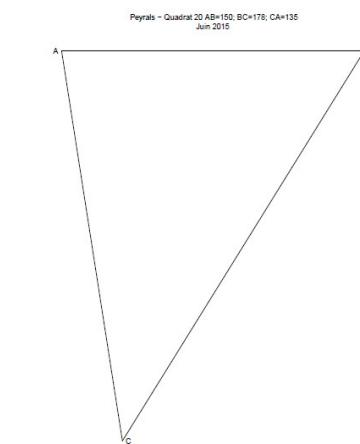
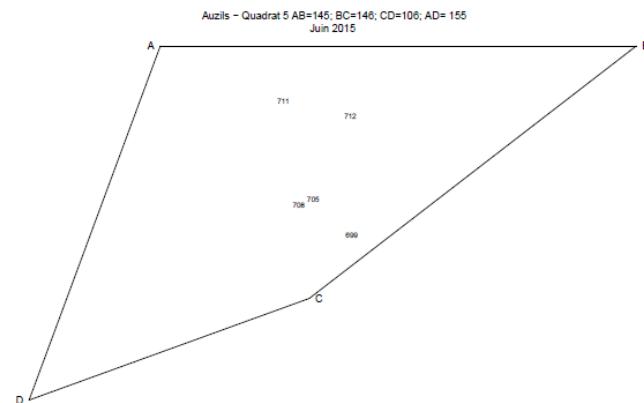
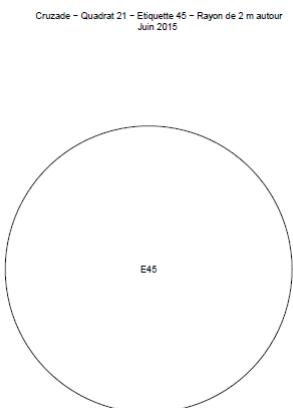
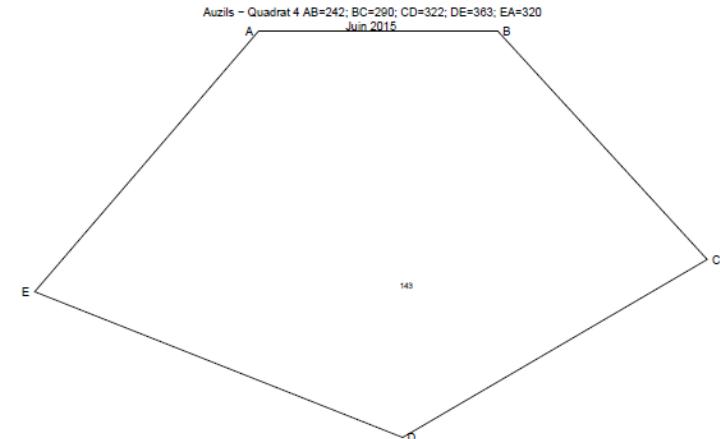
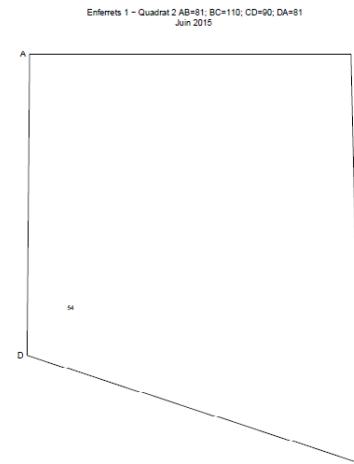
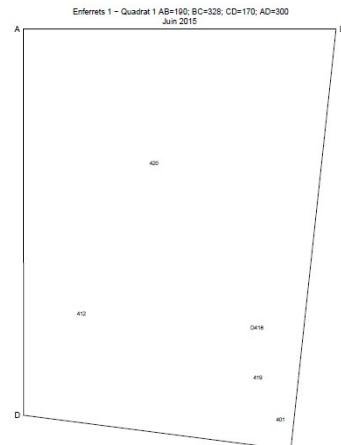
- Depuis 1994...
- 45 placettes ( $1-10m^2$ )
- sur les 6 populations naturelles



- Cette méthode repose sur des placettes marquées par des clous laissés en permanence sur le terrain
- Des emplacements vides (sans centaurée) sont également suivis pour permettre d'estimer la dynamique de colonisation intra-populations.
- Les quadrats ne sont pas forcément des carré !

# Mise en place du suivi démographique

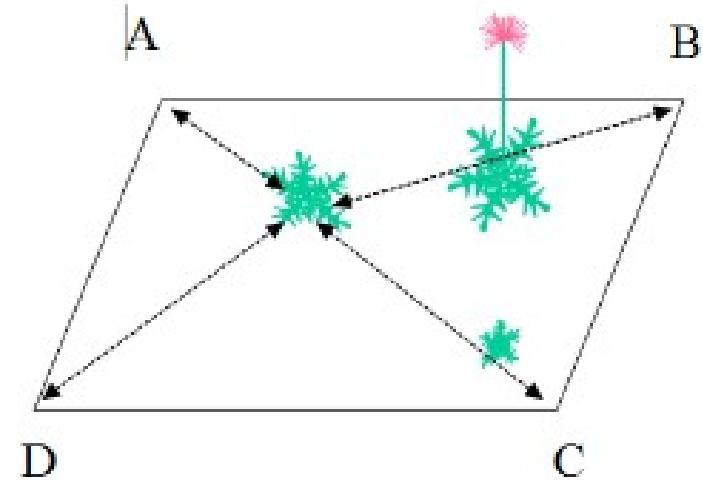
## Les différentes formes de quadrats



# Mise en place du suivi démographique

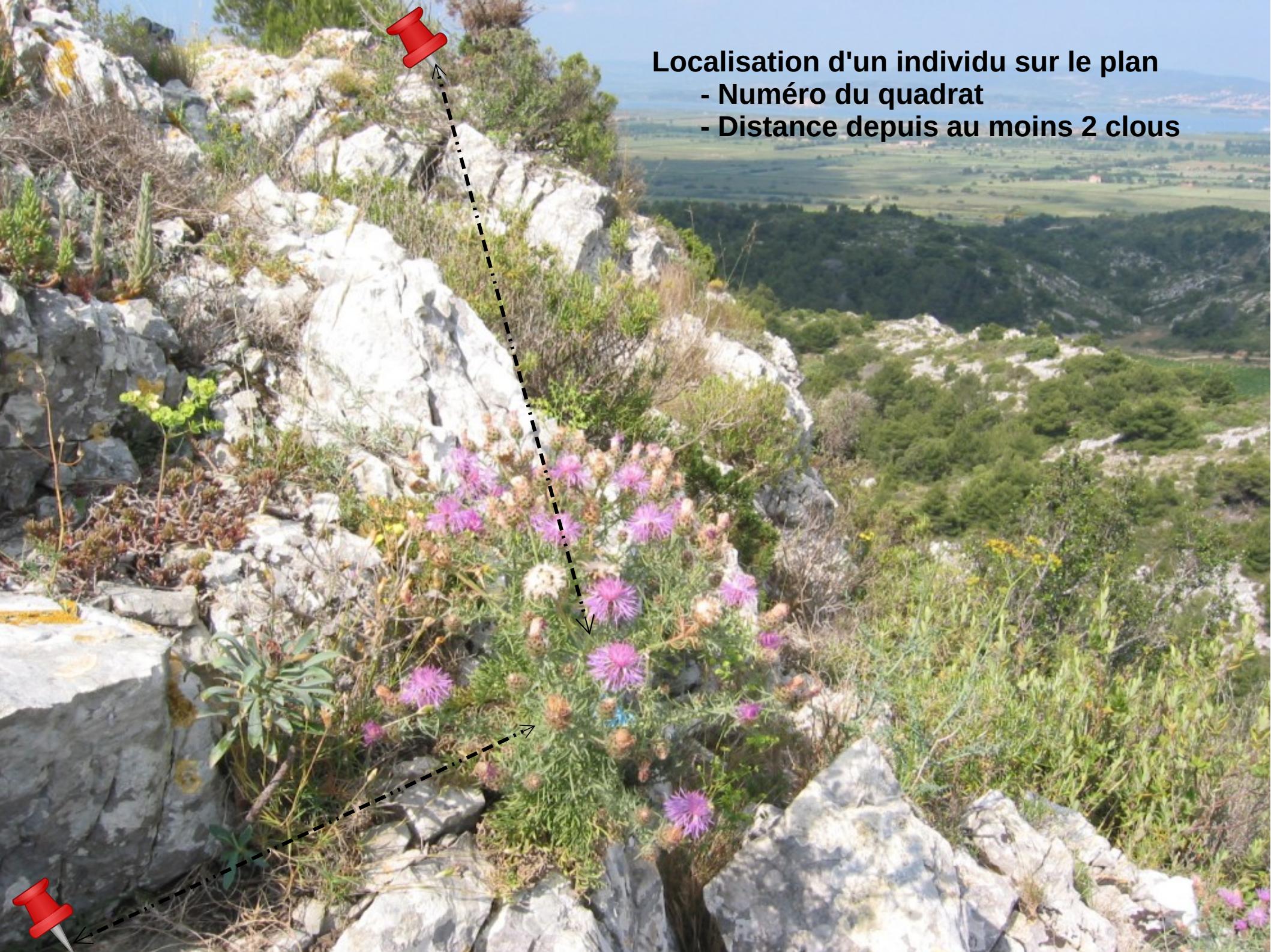
Avantage :

- \* suivi **individuel** de chaque plante



Chaque individu est cartographié

- Informations sur l'histoire (depuis la naissance jusqu'à la mort) de 6092 individus (fin 2015)



## Localisation d'un individu sur le plan

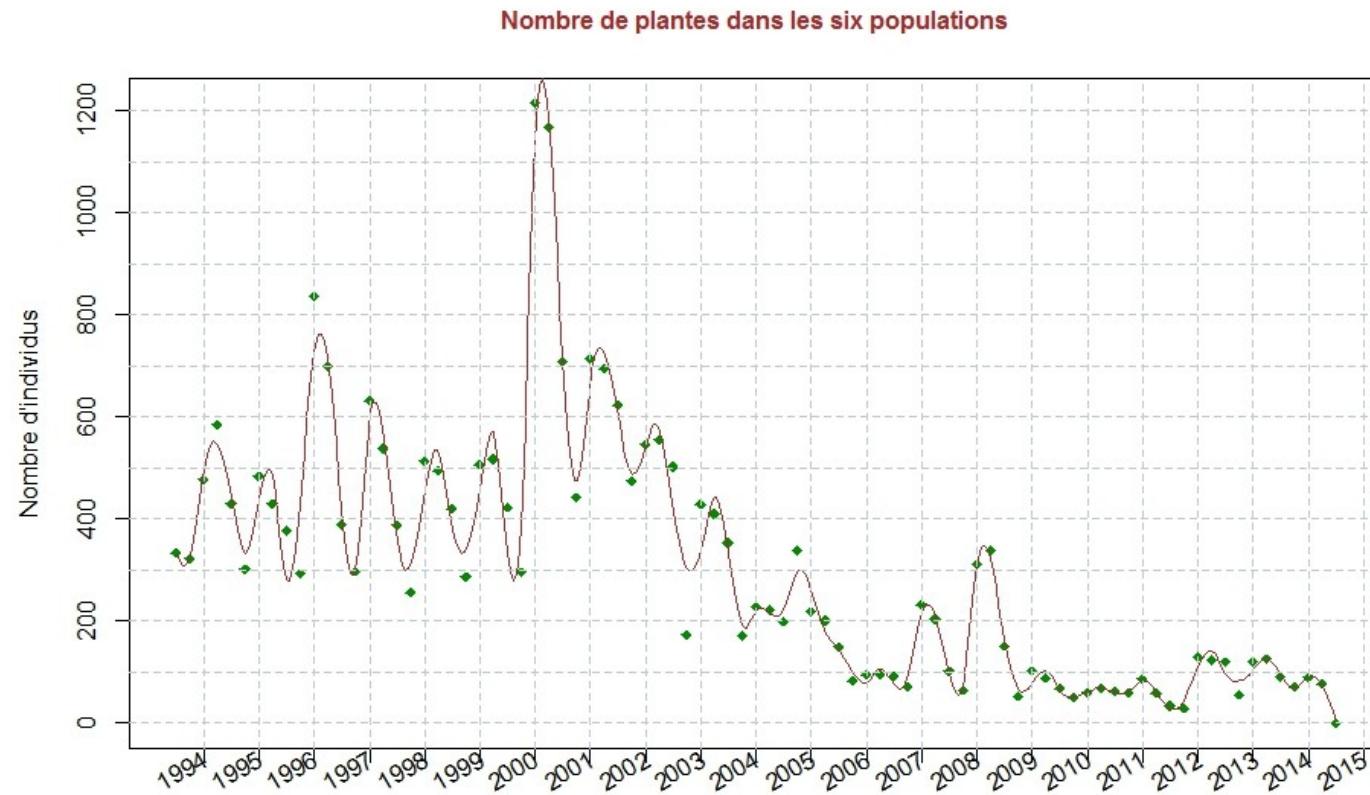
- Numéro du quadrat
- Distance depuis au moins 2 clous



**Mesure de la taille de chaque individu  
→ Moyenne des deux diamètres**

# Mise en place du suivi démographique

## Variation de nbr d'individus des populations de la Centaurée au cours du temps



# Mise en place du suivi démographique

## Méthode du comptage de plantes en fleurs

Données 1994-2016

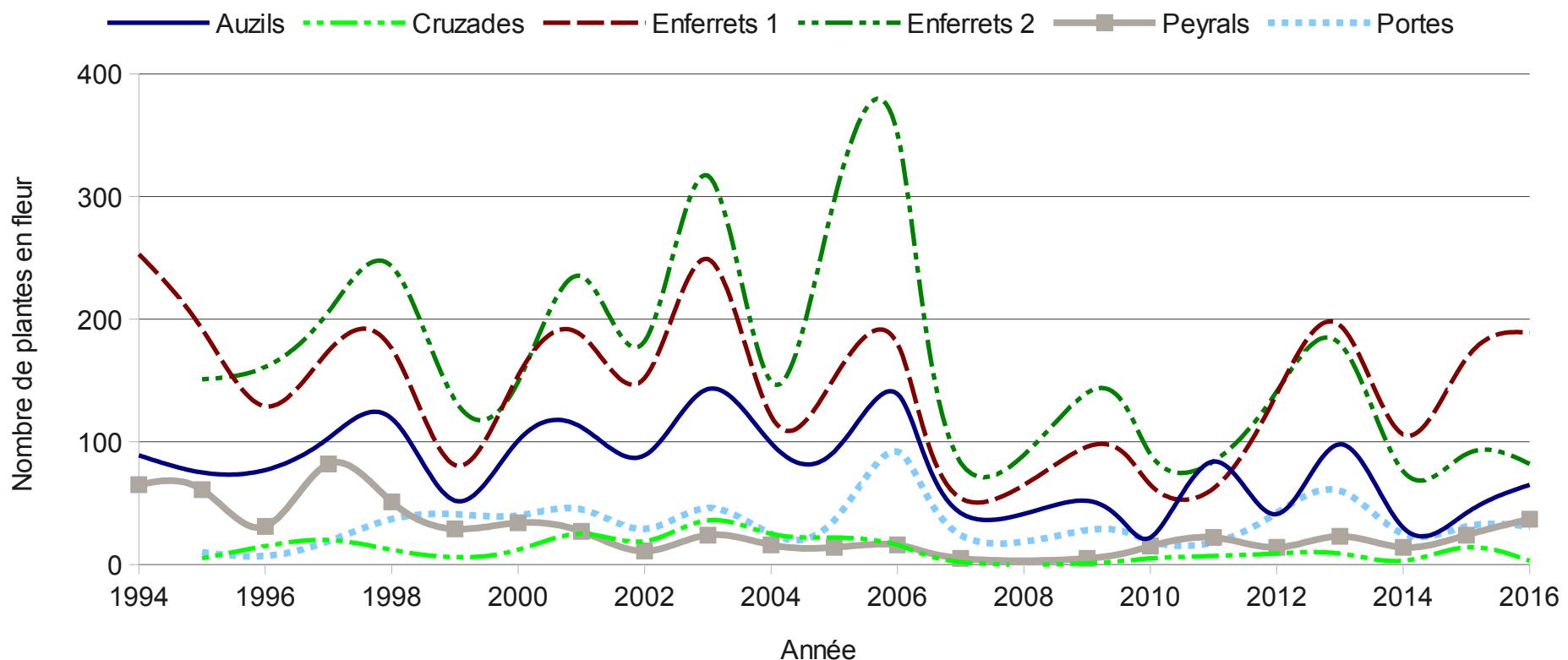
→ Moyenne géométrique 434 ind/an

### Protocole :

- Un parcours a été défini après les prospections initiales afin de couvrir au mieux la zone de répartition de la centaurée à l'intérieur du Massif.
- Les individus en fleur sont comptés à la jumelle le long de ce parcours.
- Cette méthode n'est pas exhaustive, mais elle rend bien compte de la tendance générale dans la fluctuation des effectifs.

# Mise en place du suivi démographique

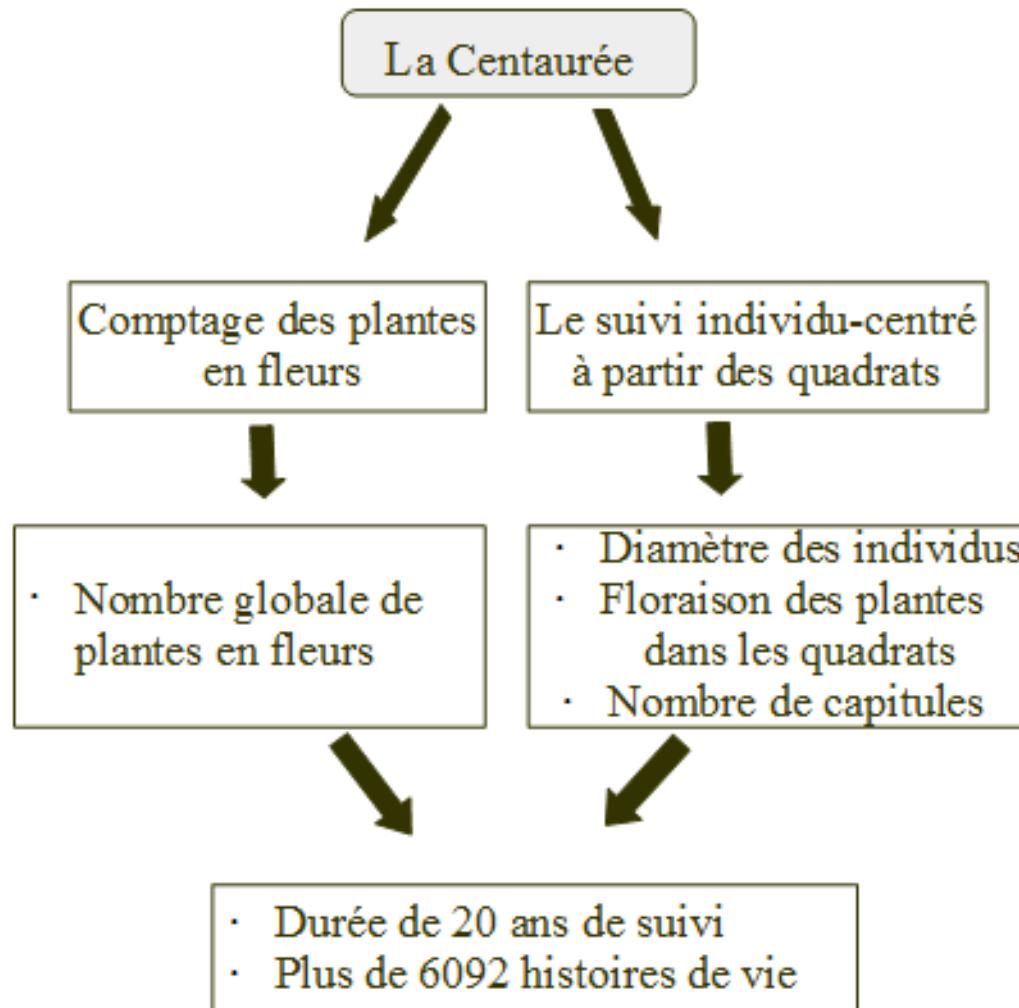
## Méthode du comptage de plantes en fleurs



Variation du nombre de plantes en fleurs depuis 1994 pour les 6 populations naturelles de *Centaurea corymbosa*



# Mise en place du suivi démographique



# Caractéristiques biologiques



Plantules



Rosettes



Plantes en fleurs



**La pollinisation est assurée par des insectes**

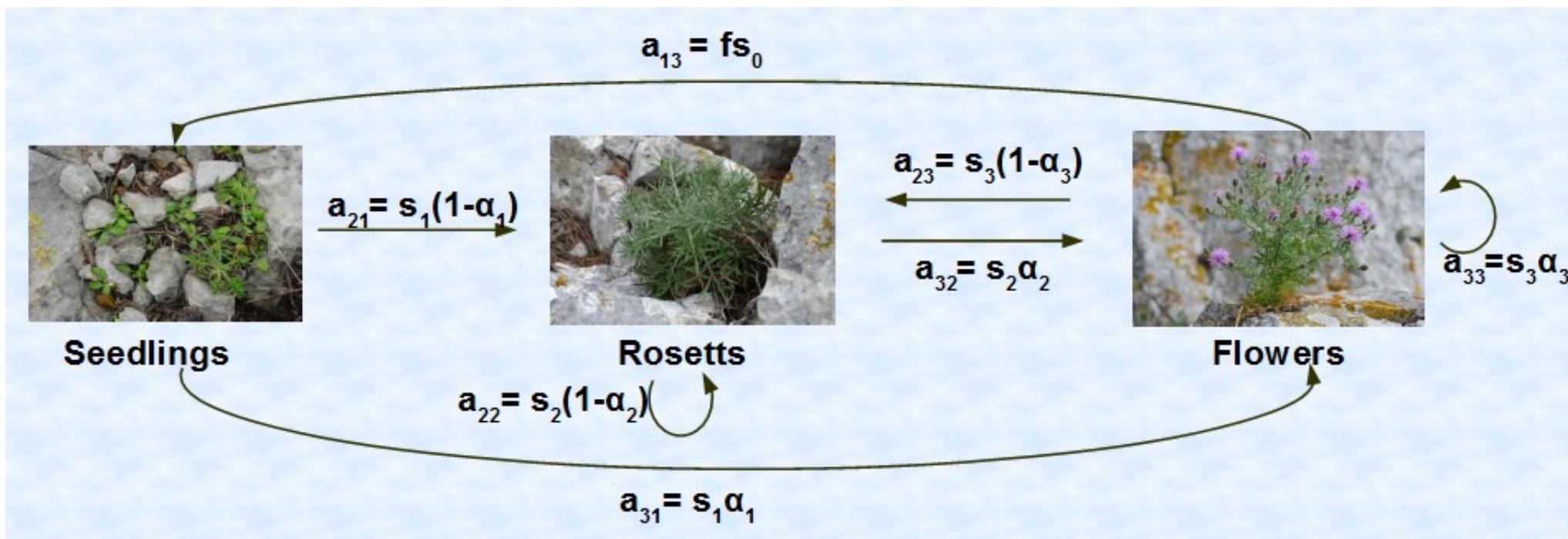


Les graines sont  
des Akènes



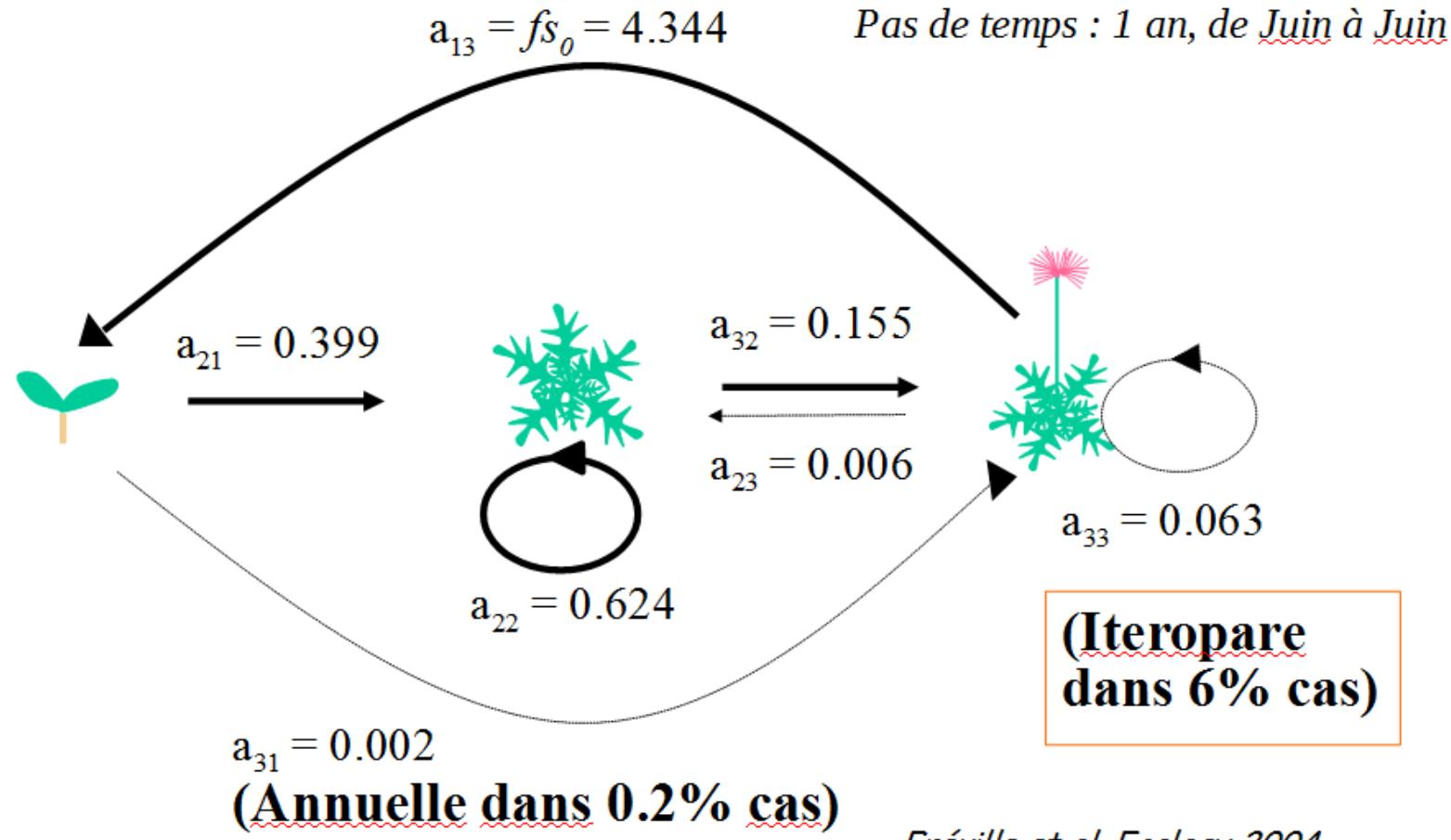
# Cycle de vie

- Les populations de cette espèce sont structurées en trois stades de vie :
  - Plantules : les plantes < 1 an
  - Rosettes : plantes > 1 an , sans fleurs
  - Plantes en fleurs



*Cycle de vie de la centaurée de la Clape. (Hadjou et al, 2016)*

# Cycle de vie



*Fréville et al. Ecology 2004*

# Modèle Matriciel

Le système d'équations mathématiques qui décrit la dynamique des ces populations est donné par:

$$\begin{cases} n_1(t+1) = a_{13} n_3(t) \\ n_2(t+1) = a_{21} n_1(t) + a_{22} n_2(t) + a_{23} n_3(t) \\ n_3(t+1) = a_{31} n_1(t) + a_{32} n_2(t) + a_{33} n_3(t) \end{cases}$$

D'où la forme matricielle

$$\begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \end{pmatrix}_{t+1} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \end{pmatrix}_t \quad \longleftrightarrow \quad \boxed{\mathbf{N}_{t+1} = \mathbf{A} \mathbf{N}_t}$$

Le taux d'accroissement asymptotique est donné par la plus grande valeur  $\lambda$  qui vérifie

$$\mathbf{A} \mathbf{N} = \lambda \mathbf{N}$$



# Paramètres démographiques

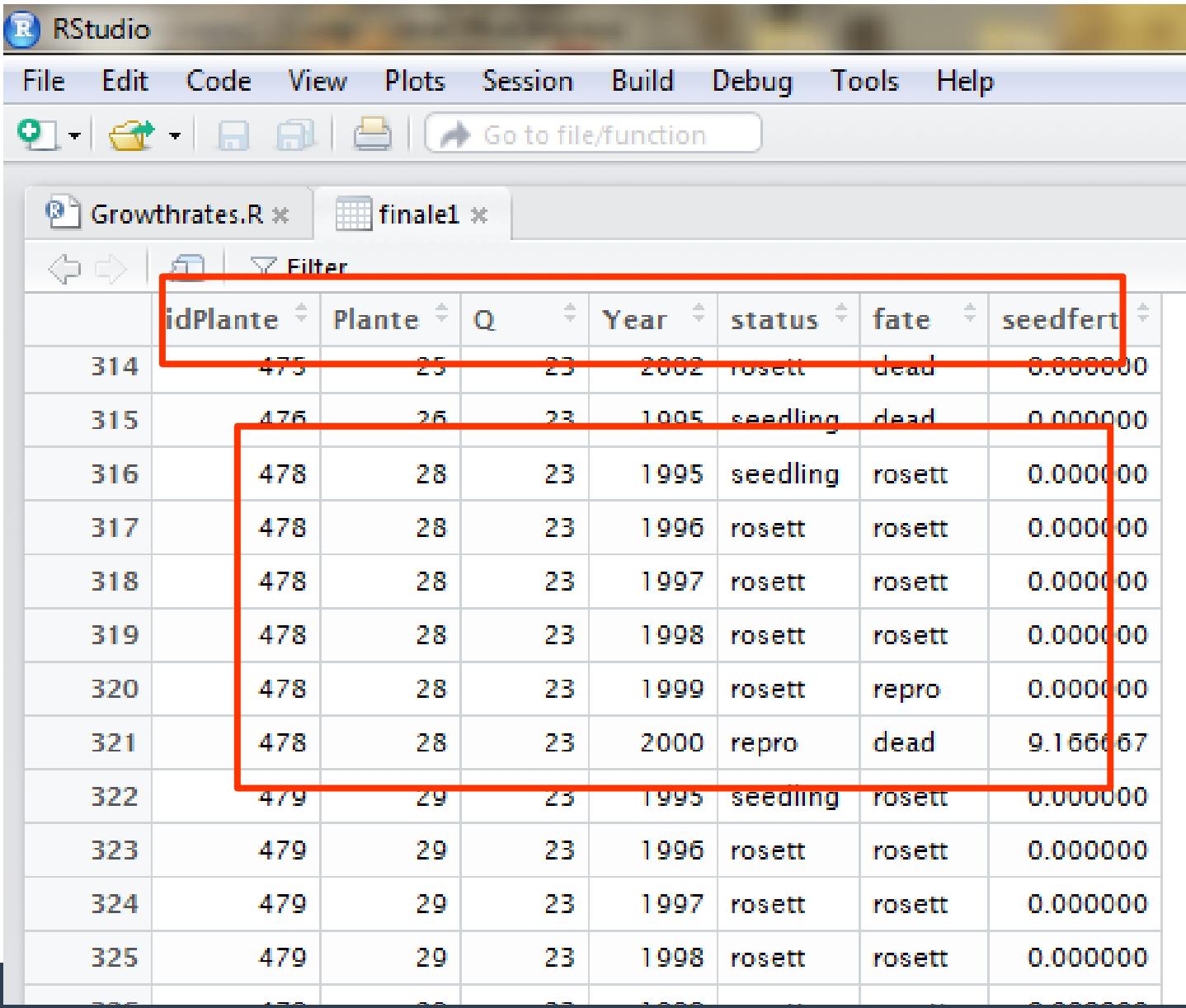
## Estimation des paramètres démographiques

- Fécondité  $fs_0$  : le rapport de nbr de plantules observées dans une cohorte par le nbr de plantes en fleurs.  
→ Estimée par quadrat
- Probabilités de transitions  $a_{ij}$  pour  $i > 1$  : c'est la probabilité qu'un individu passe d'un stade  $j$  au stade  $i$  à condition de survivre.

# Paramètres démographiques

## En pratique

Étape 1 : créer un script sous le logiciel R qui permet de donner un tableau regroupant l'**histoire de vie** de tous les individus depuis la naissance jusqu'à la mort...



The screenshot shows the RStudio interface with the title bar "RStudio". The menu bar includes File, Edit, Code, View, Plots, Session, Build, Debug, Tools, and Help. Below the menu is a toolbar with various icons. The main area displays a data grid titled "Growthrates.R \*". The grid has columns labeled "idPlante", "Plante", "Q", "Year", "status", "fate", and "seedfert". A red box highlights the first seven rows of the data, which all correspond to individual ID 478. The data shows the life history of individual 478 from 1995 to 2000, starting as a seedling, transitioning through rosette stages, and finally reproducing in 1999 before dying in 2000.

	idPlante	Plante	Q	Year	status	fate	seedfert
314	475	25	23	2002	rosett	dead	0.000000
315	476	26	23	1995	seedling	dead	0.000000
316	478	28	23	1995	seedling	rosett	0.000000
317	478	28	23	1996	rosett	rosett	0.000000
318	478	28	23	1997	rosett	rosett	0.000000
319	478	28	23	1998	rosett	rosett	0.000000
320	478	28	23	1999	rosett	repro	0.000000
321	478	28	23	2000	repro	dead	9.166667
322	479	29	23	1995	seedling	rosett	0.000000
323	479	29	23	1996	rosett	rosett	0.000000
324	479	29	23	1997	rosett	rosett	0.000000
325	479	29	23	1998	rosett	rosett	0.000000

# Paramètres démographiques

## En pratique

Étape 2 : La commande "projection.matrix" de package "popbio" permet d'estimer les paramètres de transitions et de donner la matrice de projection, en se basant sur le tableau déjà créé.

```
> library(popbio)
> A=projection.matrix(finale1,status,fate,seedfert,stages)
> A
```

	seedling	rosett	repro
seedling	0.0000000	0.0000000	3.58444444
rosett	0.4006734	0.5710383	0.06976744
repro	0.0000000	0.1038251	0.06976744

La taux d'accroissement est calculé à l'aide de la commande "lambda" du même package

```
> lambda(A)
[1] 0.8218892
```

# Paramètres démographiques

## En pratique

### Analyse de sensibilité

TABLE 1. Arithmetic mean values and coefficient of variation of (a) the upper-level vital rates,  $a_y$ , and (b) the lower-level vital rates,  $x_k$ , calculated over the 32 population-year matrices.

#### a) Upper level

Parameter	$a_y$								
	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$	$a_{21}$	$a_{22}$	$a_{23}$	$a_{31}$	$a_{32}$	$a_{33}$
Mean	0	0	5.905	0.368	0.639	0.025	0.001	0.152	0.051
CV	0	0	0.847	0.568	0.168	3.370	5.657	0.562	2.093
$s_y$	0.210	0.206	0.036	0.579	0.567	0.100	1.291	1.265	0.223

#### b) Lower level

Parameter	$x_k$								
	$f$	$s_0$	$s_1$	$s_2$	$s_3$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	
Mean	12.434	0.508	0.369	0.810	0.073	0.002	0.208	0.219	
CV	0.863	0.333	0.507	0.123	1.661	5.657	0.540	1.000	
$s_x$	0.018	0.451	0.581	0.712	0.127	0.263	0.565	0.009	

Notes: The sensitivities  $s_y$  of  $\lambda$  to the  $a_y$  and the  $x_k$  are calculated at the arithmetic mean matrix.

(Fréville et al, 2004)

# Paramètres démographiques

## En pratique

### Analyse de contribution

$$V(\lambda) \approx \sum_{ij} \sum_{kl} C(ij, kl) s_{ij} s_{kl}$$

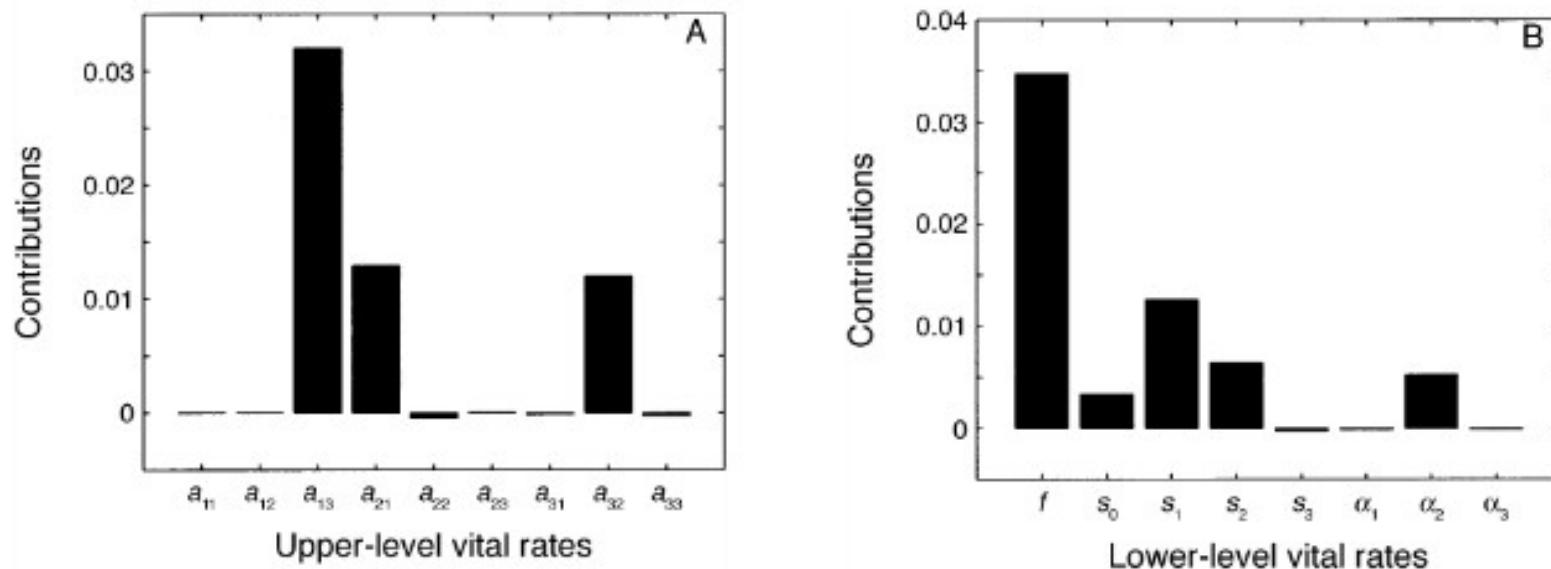


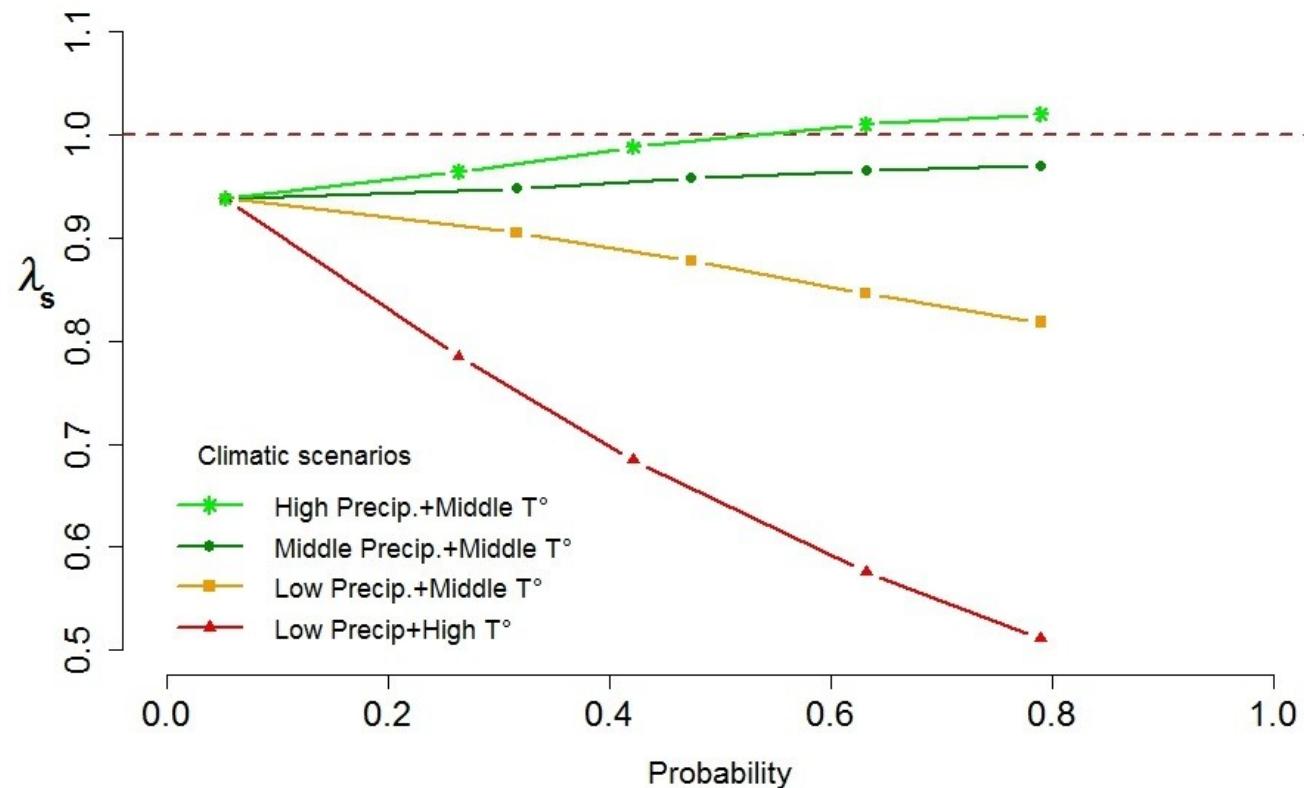
FIG. 2. Contribution of (A) each upper-level vital rate  $a_{ij}$  and (B) each lower-level vital rate  $x_s$  to the variance of  $\lambda$  observed among 32 year-population combinations.

(Fréville et al, 2004)

# Paramètres démographiques

## En pratique

### Projections stochastiques sous les changements environnementaux



(Hadjou B. et al,2016)

# Statut de protection

La centaurée de la Clape est inscrite comme une espèce **protégée** au niveau :

- National (liste nationale des espèces protégées sur l'ensemble du territoire français métropolitain)
- International ( convention de Berne (1979) et par la Directive Européenne Habitats-Faune-Flore)

Elle est classée comme **espèce vulnérable** par l'IUCN

# Statut de protection

Evolutionary Applications

Open Access

Evolutionary Applications ISSN 1752-4571

REVIEW AND SYNTHESES

## Why evolution matters for species conservation: perspectives from three case studies of plant metapopulations

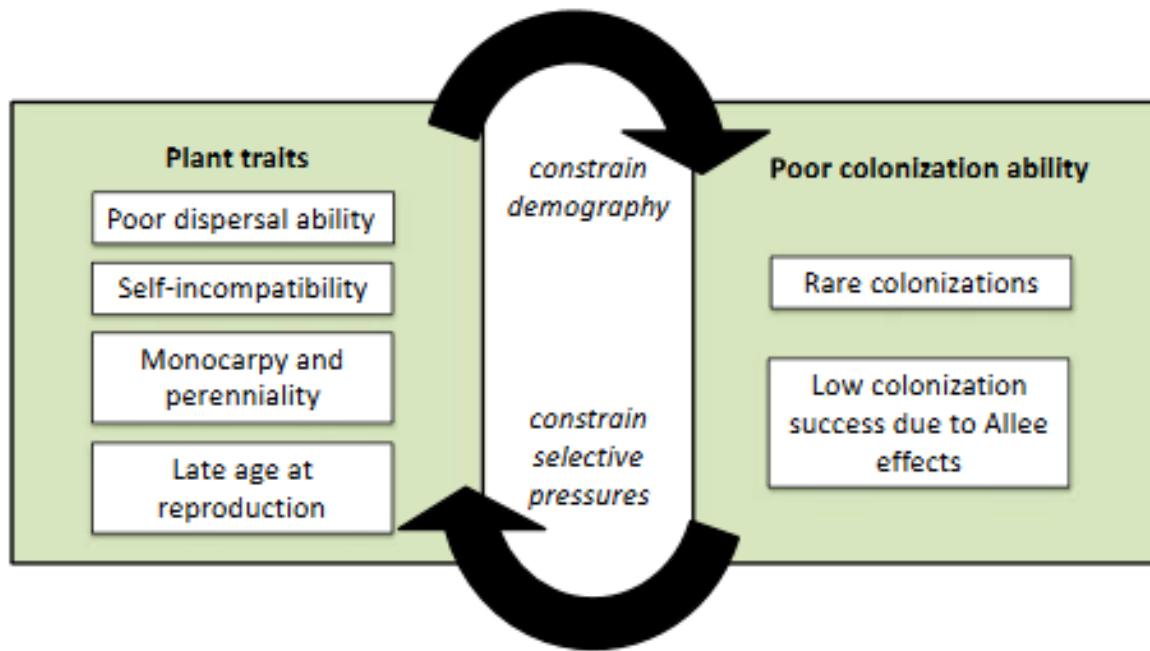
Isabelle Olivieri,<sup>1</sup> Jeanne Tonnabel,<sup>1,2</sup> Ophélie Ronce<sup>1</sup> and Agnès Mignot<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut des Sciences de l'Evolution, Université Montpellier, CNRS, IRD, EPHE, CC65, Place Eugène Bataillon, 34095, Montpellier cedex 5, France

<sup>2</sup> Department of Ecology and Evolution, Le Biophore, UNIL-SORGE, University of Lausanne, Lausanne, Switzerland

decades, illustrating extremes in metapopulation functioning. We show how the rare endemics *Centaurea corymbosa* (Clape Massif, France) and *Brassica insularis* in Corsica (France) may be caught in an evolutionary trap: disruption of metapopulation functioning due to lack of colonization of new sites may have counterselected traits such as dispersal ability or self-compatibility, making these species particularly vulnerable to any disturbance. The third case study concerns

# Statut de protection



**Figure 1** The extinction vortex of *C. corymbosa*. The plant traits, because they act on demography (arrow from left to right, top), induce a poor colonizing ability, which in return (other arrow) determines plant traits.

(Olivieri et al, 2016)

# Gestion des populations

- La Centaurée de la Clape, est donc une espèce protégée strictement endémique au massif de la Clape qui est présente **uniquement** sur six petites stations au sud du site.
- Sans intervention, la Centaurée de la Clape pourrait disparaître à court terme du massif de la Clape
- Face à ce dramatique constat, le Parc naturel régional de La Narbonnaise soutenu par la Région, le Département, l'Etat et l'Europe, compte inverser cette tendance malgré la complexité des actions à engager.

# Gestion des populations

## Stratégie des INTRODUCTIONS

Comment introduire des espèces ?

- **Création de nouvelles populations**
- **Renforcement des populations**

LES INTRODUCTIONS COMME MODE DE GESTION D'ESPÈCES  
VÉGÉTALES MENACÉES : LE CAS DE LA CENTAURÉE DE LA CLAPE

Bruno COLAS\*, Miquel RIBA\*\*, Hélène FRÉVILLE\*\*\*, Agnès MIGNOT\*\*\*,  
Eric IMBERT\*\*\*, Christophe PETIT\*\*\* & Isabelle OLIVIERI\*\*\*



# Gestion des populations

## Stratégie des INTRODUCTIONS

Comment introduire des espèces ?

Deux nouvelles populations ont été introduites sur  
la Clape en 1994

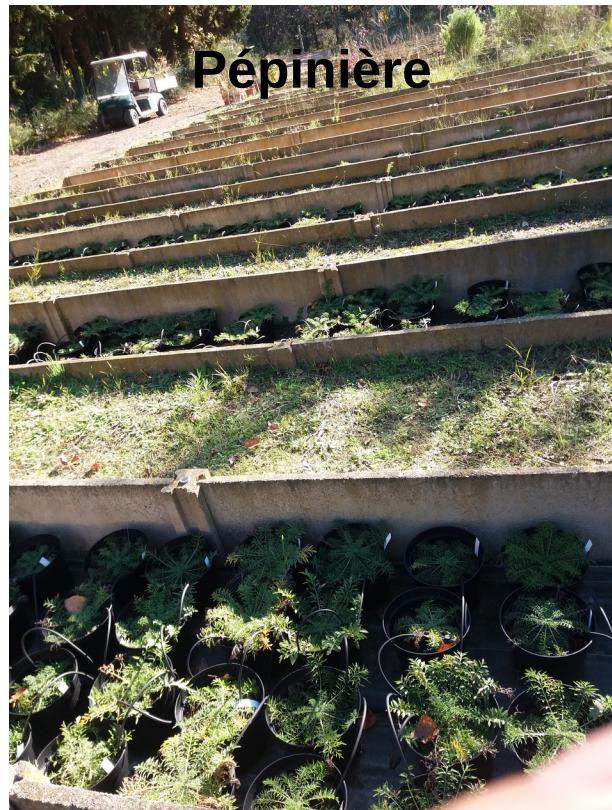
en plaçant des graines dans des  
fissures de rochers



# Gestion des populations

## Stratégie des INTRODUCTIONS

Comment introduire des espèces ?



Récupérer  
des graines



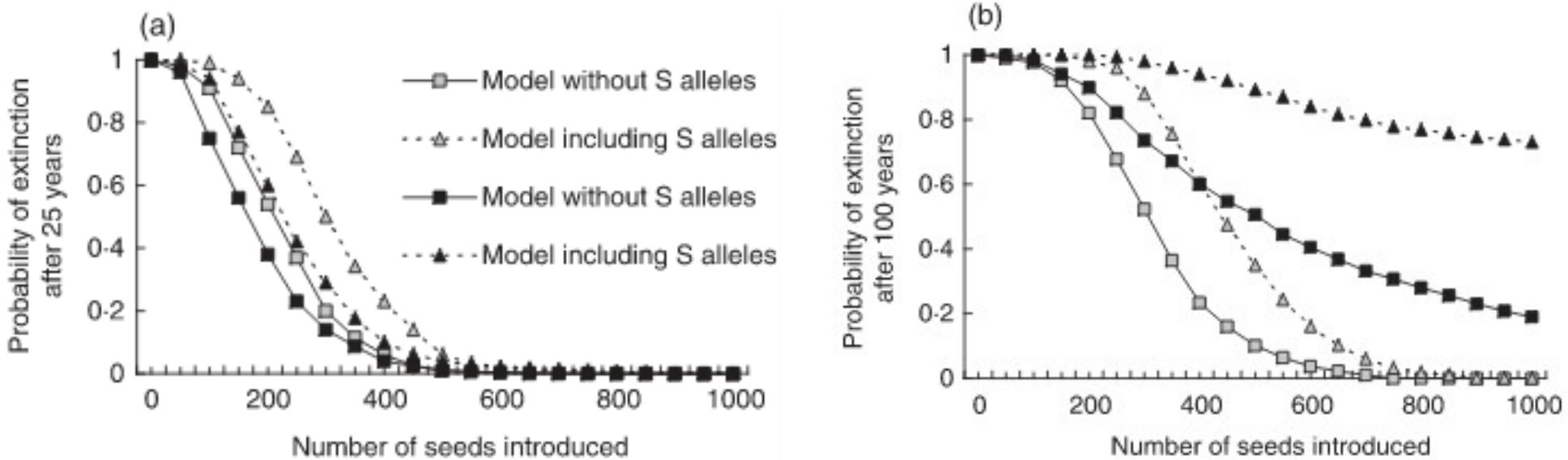
Placement des graines dans  
des fissures



# Gestion des populations

- Les introductions expérimentales déjà effectuées ont montré que
  - d'autres sites sont favorables sur ce massif
  - cette méthode simple était probablement la meilleure pour augmenter le nbr de populations de cette espèce et donc pour diminuer la probabilité de l'extinction...
- Les méthodes de gestion envisagées incluent le renforcement de chaque population à partir de graines provenant de l'ensemble des autres populations.
- La création de nouvelles populations dans d'autres sites du massif de la Clape est également envisagée en plaçant des graines dans des fissures de rochers.

# Gestion des populations



**Fig. 2.** Influence of the number of introduced seeds on (a) 25-year and (b) 100-year extinction probabilities, with the six-site (grey symbols) and single-site (black symbols) strategies. Codominance model;  $A_0 = 20$ ;  $Tr_{\max} = 3$ .

(Kichner et al 2006)

# Gestion des populations

Autres exemples d'espèces végétales...



# *Brassica insularis*



- Endémique
- Pérenne
- Polycarpique
- Auto-incompatible

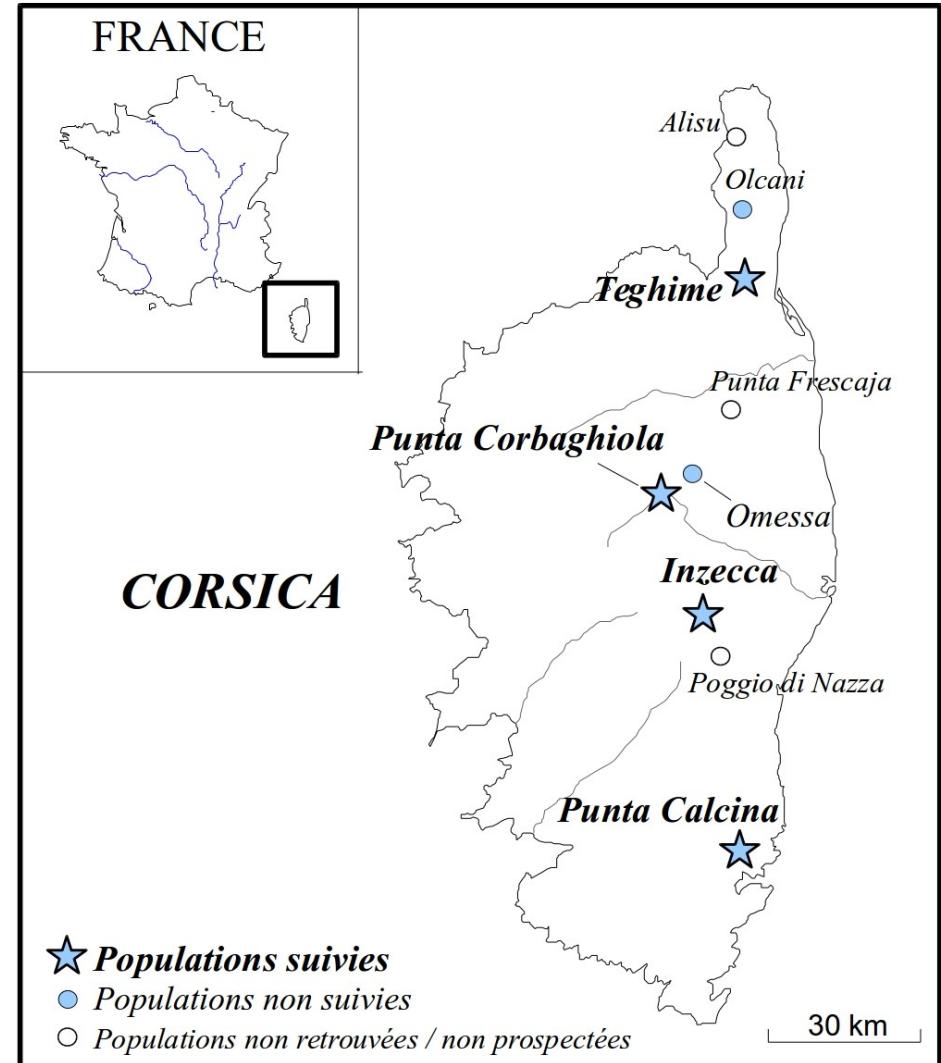


- Héliophile
- Chasmophytique



# Répartition géographique

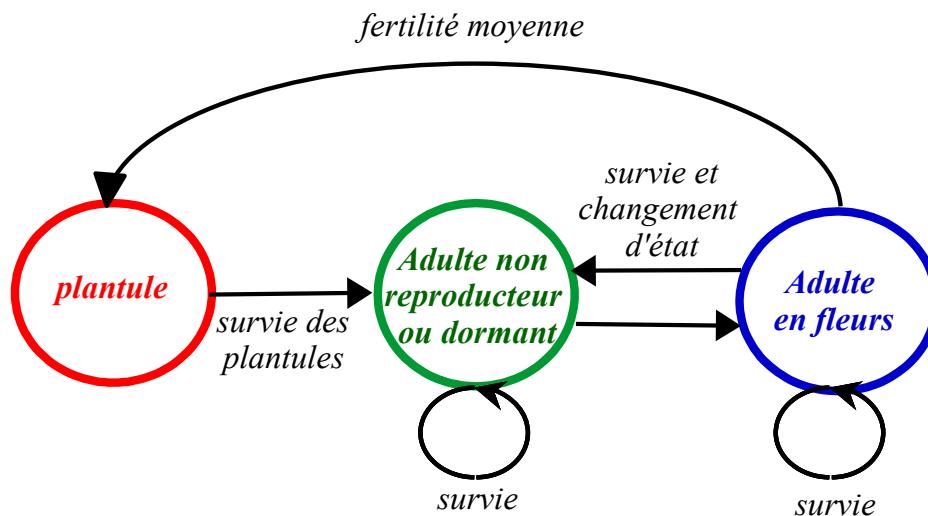
Les populations corses de *Brassica insularis* font l'objet d'un suivi démographique depuis 1999



Carte de distribution

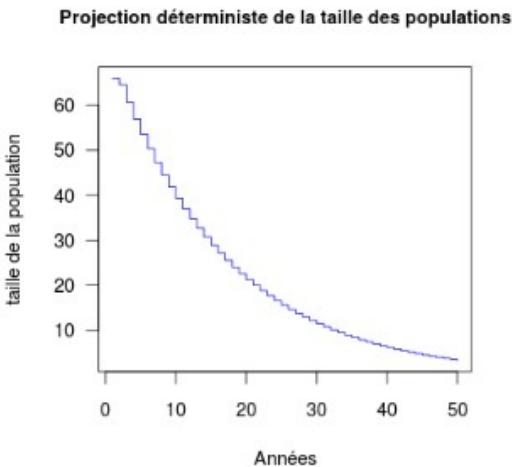
# Cycle de vie

- Le cycle de vie modélisé pour les études démographiques est constitué de trois stades de vie :
  - Plantule < 1 an
  - Adulte non fleuri ou dormant
  - Adulte en fleurs

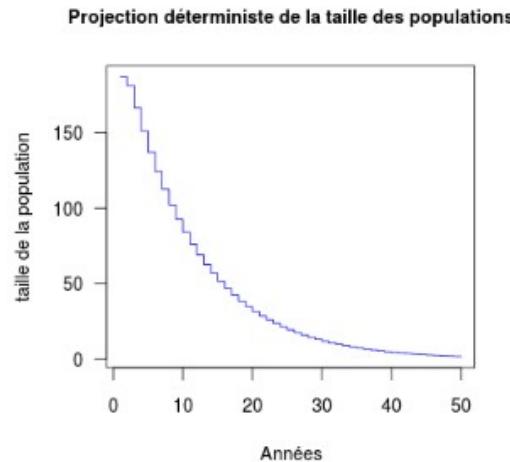


# Projections déterministes des populations

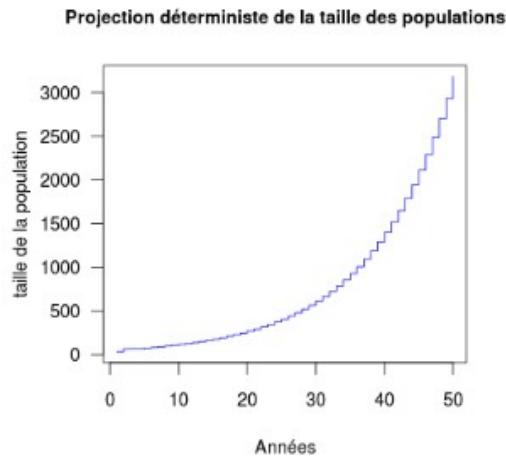
*Punta Calcina*



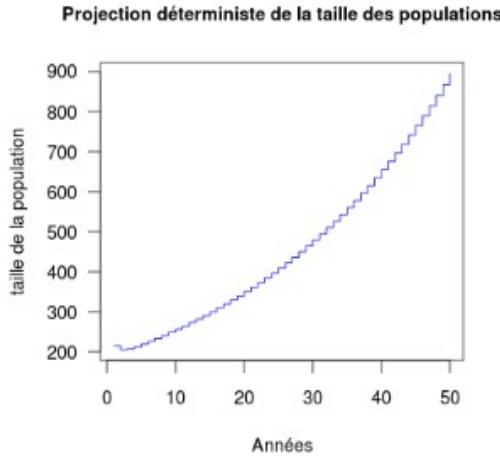
*Inzecca*



*Punta Corbaghiola*

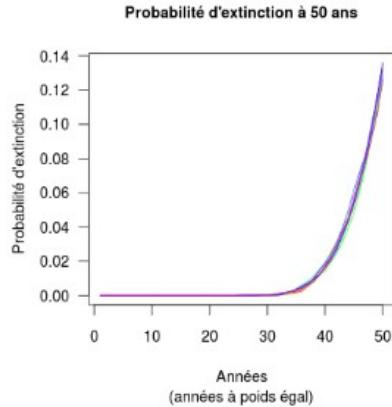


*Teghime*

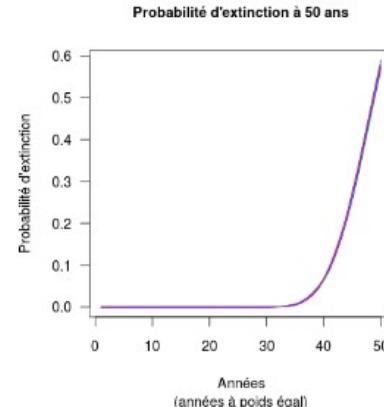


# Projections stochastiques des populations

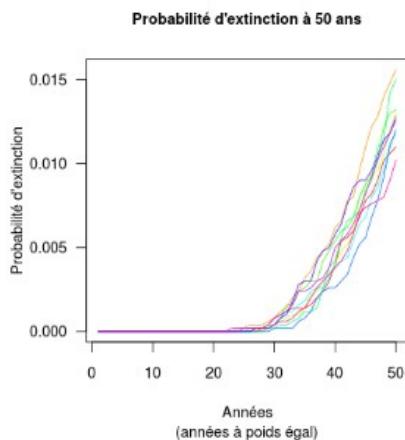
*Punta Calcina*



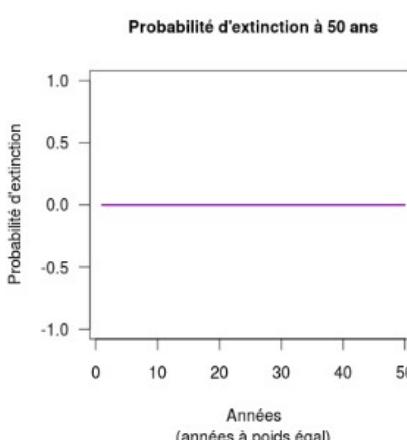
*Inzecca*



*Punta Corbaghiola*



*Teghime*



Projections stochastiques avec poids uniforme des années



# *Iris aphylla L.*

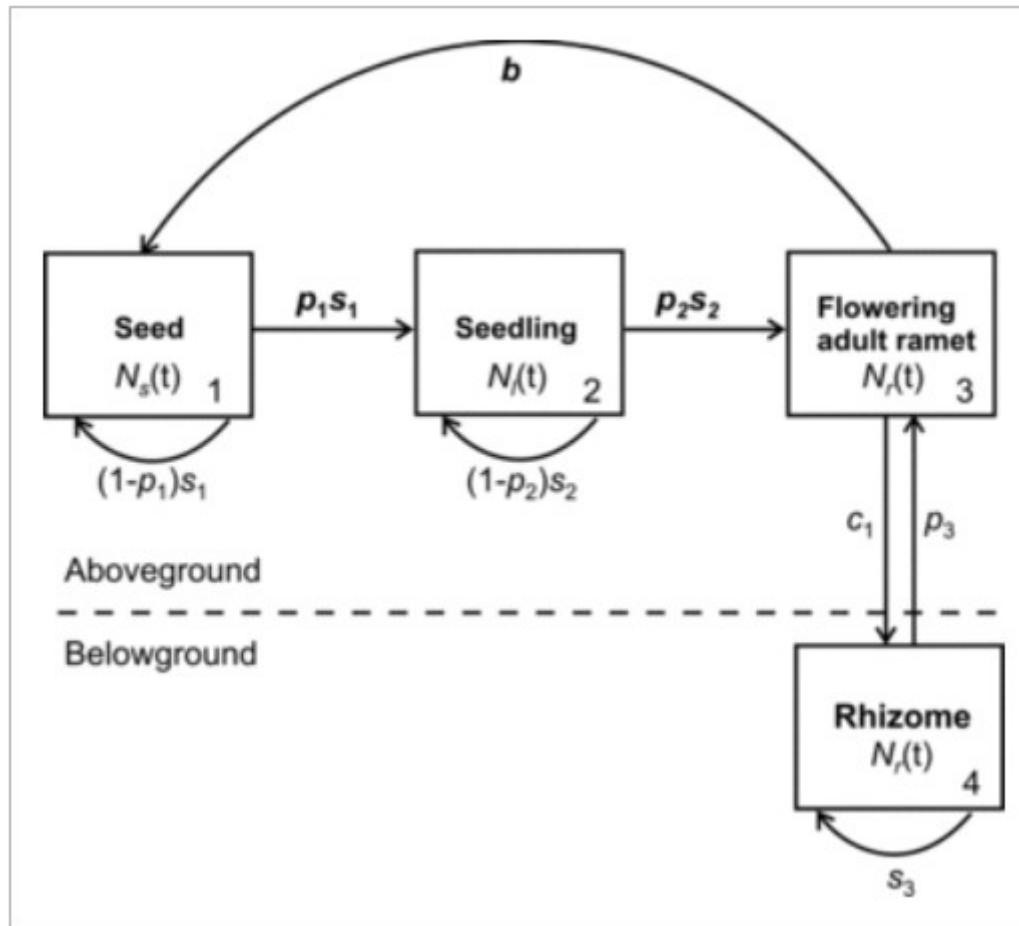
- **Cycle de vie**

- Le cycle de vie de cette espèce est composé de 4 stades de vie
- Le nbr d'individus dans chaque stade est donné par une fonction qui dépend de temps
- Les transitions entre les stades de vie sont annuelles



# **Iris aphylla L.**

- **Cycle de vie**



*Cycle de vie d'Iris aphylla L.*



# Iris aphylla L.

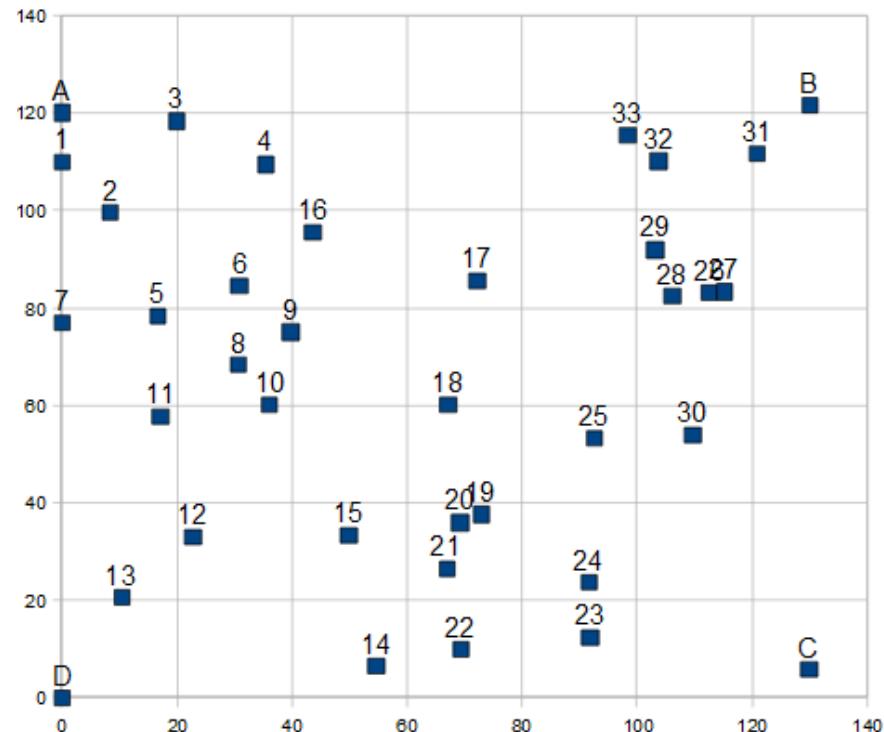
## Matrice de transition

- La combinaison des équations obtenues à partir de cycle de vie a abouti au modèle de population de **matrice non linéaire  $M$**

$$\begin{aligned} N(t+1) &= \begin{pmatrix} N_s(t+1) \\ N_l(t+1) \\ N_f(t+1) \\ N_r(t+1) \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} (1 - p_1 f(Z)) s_1 & 0 & b f(Z) & 0 \\ p_1 s_1 f(Z) & (1 - p_2) s_2 f(Z) & 0 & 0 \\ 0 & p_2 s_2 f(Z) & 0 & p_3 f(Z) \\ 0 & 0 & c_1 f(Z) & s_3 f(Z) \end{pmatrix} \\ &\times \begin{pmatrix} N_s(t) \\ N_l(t) \\ N_f(t) \\ N_r(t) \end{pmatrix} = M(N(t))N(t). \end{aligned}$$

# Deux plantes alpines : *Arabis alpina* & *Eryngium alpinum*

## Mise en place de suivi démographique



Suivi démographique d'*A.alpina* : cartographie d'un quadrat de la pop.

Les lettres indiquent les points de délimitation

Les nombres indiquent les individus

# Deux plantes alpines : *Arabis alpina* & *Eryngium alpinum*

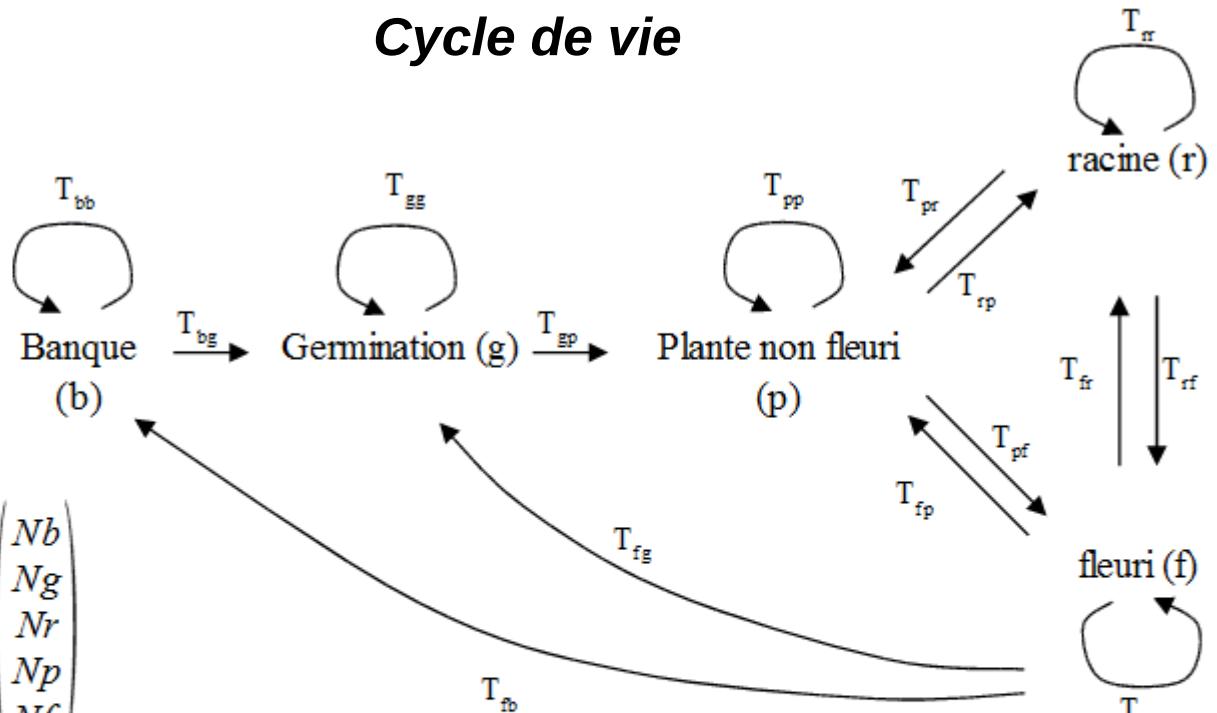


B.

$$\begin{pmatrix} Nb \\ Ng \\ Nr \\ Np \\ Nf \end{pmatrix}_{(t+1)} = \begin{pmatrix} T_{bb} & 0 & 0 & 0 & T_{fb} \\ T_{bg} & T_{gg} & 0 & 0 & T_{fg} \\ 0 & T_{gr} & T_{rr} & T_{pr} & T_{fr} \\ 0 & T_{gp} & T_{rp} & T_{pp} & T_{fp} \\ 0 & 0 & T_{rf} & T_{pf} & T_{ff} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} Nb \\ Ng \\ Nr \\ Np \\ Nf \end{pmatrix}_{(t)}$$

A.

## Cycle de vie



### Modèle d'étude démographique d'*Eryngium alpinum*.

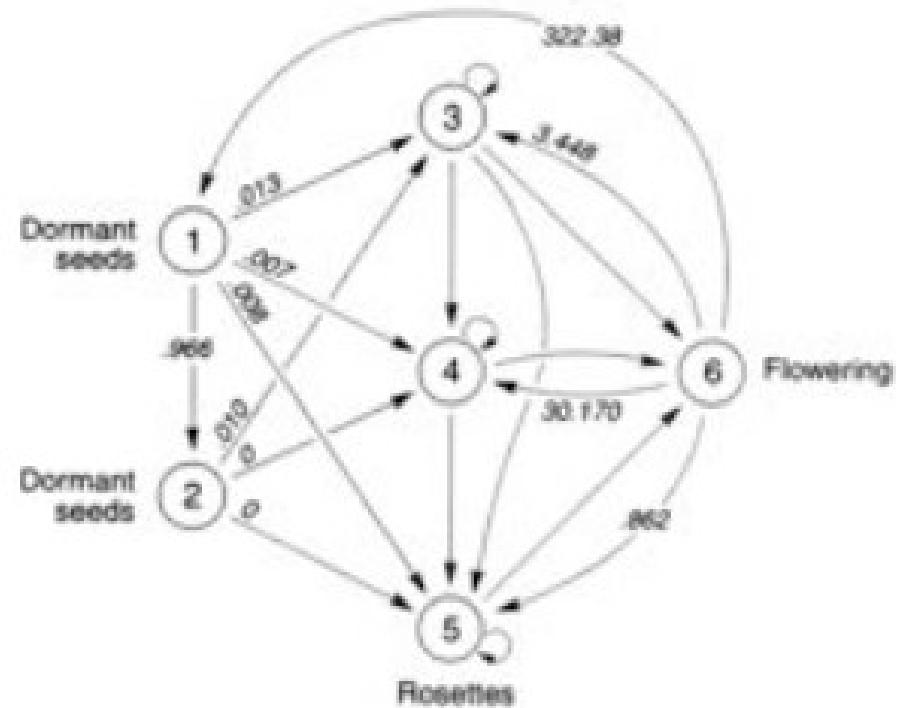
$T_{XY}$  : nombre d'individus du stade Y produit par individus du stade X.

A. Cycle de vie utilisé. B. Relation liant les vecteurs représentant la populations au temps t et t+1. La matrice est appelée matrice de transition.  $N_x$  : nombre d'individu du stade X dans la population. Le temps est en année.

# **Dipsacus sylvestris**

## Cycle de vie : complexité presque illimitée...

- 6 stades de vie
  - N1 : 1ere année de dormance
  - N2 : 2eme année de dormance
  - N3 : petites rosettes
  - N4 : rosettes moyennes
  - N5 : rosettes
  - N6 : plantes en fleurs



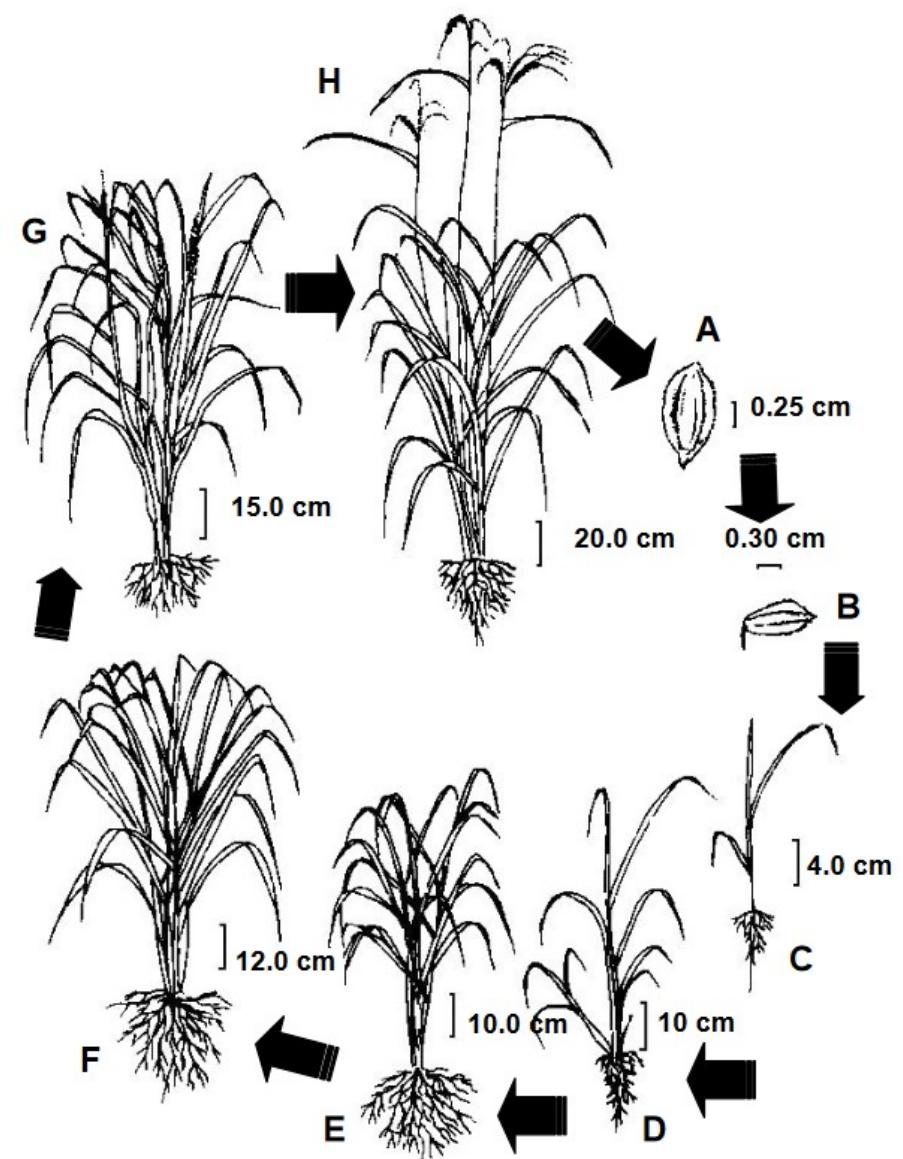
Le graphe de cycle de vie correspondant à  
*Dipsacus sylvestris*

# ORYZA SATIVA

Cycle de vie et caractéristiques morphologiques du Riz  
**ORYZA SATIVA** localement appelé **PADI ANGIN**

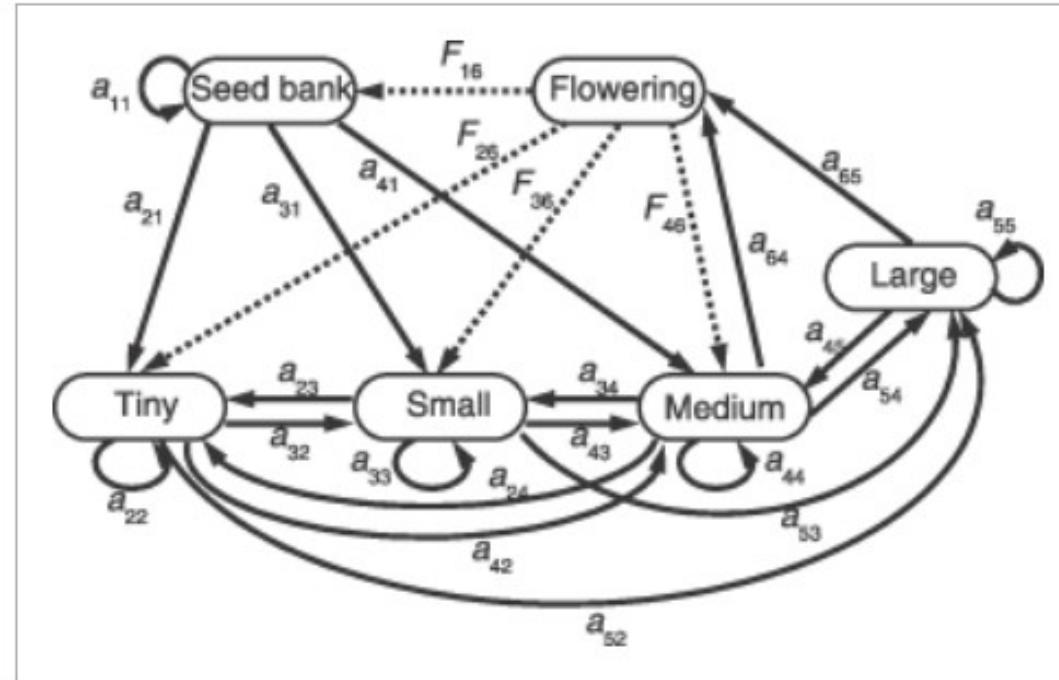


Zainal Abidin Abd Hamid et al.



**Figure 5:** Schematic representation of the life cycle of weedy rice (open panicle type). A = seed; B = pregerminated seed (3–8 DAS); C = 2–3 leaf-stage (7–10 DAS); D = 1–2 tillers stage (15–20 DAS); E = active tillering stage (25–30 DAS); F = maximum tillering/booting stage (40–50 DAS); G = heading stage (55–60 DAS); and H = flowering/maturation stage (60–95 DAS). A–E = Vegetative phase; E–F = reproductive phase; F–H = ripening phase.

# Digitalis purpurea



Sletvold et al 2007

Life-cycle diagram for *Digitalis purpurea*. Tiny, Small, Medium and Large are vegetative rosette stages.  $F_{ij}$  and  $a_{ij}$  are 'fecundity' and 'fate' transitions from stage  $j$  to stage  $i$  in 1-year time intervals. Arrows with broken line indicate fecundity transitions.

**Merci pour votre attention !**

