

**Projet FTH 2001
Septembre 2001**

Dynamique de la régénération de l'Angélique en forêt de Paracou

**Caractérisation de la réponse démographique de la régénération
de l'espèce 14 ans après l'exploitation forestière.**

**Jérémie CRESPIN, mastère en Sciences Forestières
Isabelle NORMAND, GREF-promotion 2001
Philippe WURTZ**

Encadrant : Sebastien JESEL

Introduction

L'étude réalisée porte sur l'écologie et la dynamique de la régénération de l'Angélique sur le dispositif expérimental de Paracou, situé à quelques kilomètres de Sinnamary. Cette étude s'insère dans le travail de thèse de Sébastien Jesel sur l'autécologie de l'espèce.

Une semaine sur le dispositif d'étude nous a permis de collecter des données sur la survie et la croissance des jeunes angéliques précédemment cartographiées et mesurées, ainsi que des données sur l'éclairement dans un milieu non perturbé.

Nous avons ensuite analysé ces données pour valider des hypothèses concernant la survie et la croissance des plants d'Angélique dans différents milieux, en fonction de l'éclairement et des perturbations liées à l'exploitation forestière (débardage, abattage).

1 Présentation du matériel d'étude

L' Angélique : *Dicorynia Guianensis* est un arbre de la famille des Caesalpiniaceae. L'étude porte essentiellement sur les jeunes stades de vie de l'espèce : du stade plantule à celui d'individus de quelques mètres de hauteur.

1.1 Critères de reconnaissance

- Grand arbre émergent à tronc généralement bien conformé.
- Base du tronc parfois munie de deux ou trois contreforts arrondis plus ou moins développés, de couleur orangé, avec des lenticelles.
- Ecorce externe, brun rougeâtre, s'exfoliant en plaques très minces de forme irrégulière.
- Feuilles composées imparipennées à folioles subopposés. Folioles facilement reconnaissables à terre avec le pétiole perpendiculaire au limbe séchant.
- Bourgeon aplati brun rougeâtre.
- Gousse très caractéristique, contenant une à cinq graines plates et présentant une dormance. Les graines sont disséminées à faible distance des adultes.

1.2 Choix de l'espèce étudiée

L'Angélique est une espèce fréquente et localement abondante en Guyane. Une des caractéristiques de l'essence, sur le dispositif de Paracou, est sa répartition géographique en agrégats. Elle a une forte importance économique car c'est la première essence exploitée pour le bois d'œuvre (ce qui représente plus de la moitié des grumes commercialisables en Guyane).

C'est une espèce tolérante à l'ombre et de croissance lente. Les fûts sont bien conformés. C'est un bois qui constitue un bon compromis technologique : assez durable, polyvalent (utilisé en charpente et en menuiserie) ; il ne présente pas de défaut majeur.

2 Problématique du sujet

Nous avons cherché, pendant cette étude, à répondre principalement à trois questions :

- L'étude précédemment menée sur la régénération de l'Angélique a distingué différents stades de développement selon des critères morphologiques. Quelle est la réalité écophysologique et démographique de ces stades ?
- Comment l'Angélique répond-elle démographiquement à l'exploitation ? Notamment les premières cohortes de régénération qui se sont installées sur les pistes de débardage ont-elles un avenir ?
- Quelle est l'influence de l'ouverture du milieu et de l'éclairement sur la régénération de l'Angélique dans une parcelle non perturbée ?

3 Protocole d'étude

Le travail de terrain a constitué en un suivi, en mortalité et pour partie en croissance, d'individus précédemment décrits. En plus, dans une parcelle témoin, le relevé des plantules nouvellement germées, ainsi qu'une estimation du degré d'ouverture du milieu ont été réalisés.

3.1 Les parcelles étudiées

Le travail effectué porte sur deux parcelles du dispositif de Paracou, d'une superficie de 9 ha, de dimension 300 m x 300 m. La présence d'une bande tampon de 25 m de largeur réduit la surface d'étude à 6,25 ha.

La **parcelle 9** a été exploitée il y a 14 ans, ce qui se traduit par la présence d'anciennes pistes de débardage, aujourd'hui partiellement refermées. Trois agrégats d'Angélique (appelés par la suite 9.1, 9.2, 9.3) ont été suivis sur cette parcelle, chacun d'eux étant traversé par un réseau de pistes qui couvre 15 à 20 % de leur surface.

La **parcelle 11** n'a jamais été exploitée, elle constitue pour ce travail une parcelle témoin. Un agrégat a été étudié.

La superficie moyenne d'un agrégat est de 0.54 ha.

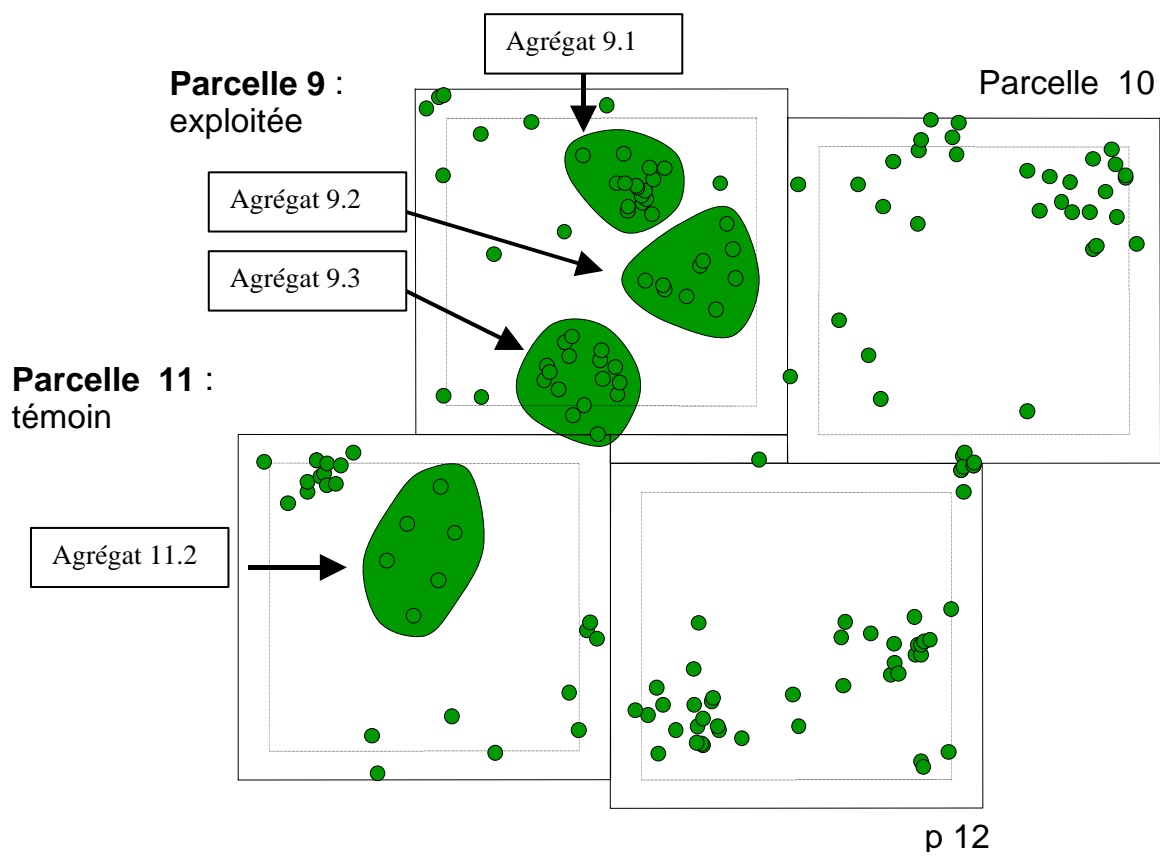


Figure 1: Plan des parcelles et des agrégats étudiés

Les points de la figure 1 représentent les Angéliques adultes (diamètre supérieur à 30 cm)

3.2 La classification de la régénération en stades de développement

Sur la base de critères morphologiques et architecturaux tous les jeunes plants d'Angélique suivis dans les différents agrégats sont caractérisés par un stade de développement. Les différents stades sont définis de la façon suivante :

Stade G : stade où les cotylédons sont encore présents ;

Stade 1 : émission des deux premières feuilles opposées ;

Stade 1+ : émission d'une troisième feuille ;

Stade 1++ : émission d'une quatrième, voire d'une cinquième feuille ;

Stade 2 : perte des deux premières feuilles opposées ;

Stade 3 : émission de la première feuille subdivisée en folioles, dont le nombre est inférieur à 4 ;

Stade 4 : nombre de folioles supérieur à 4, hauteur inférieure à 1 mètre ;

Stade 5 : hauteur supérieure à 1 mètre, diamètre au collet inférieur à 1,3 cm ;

Stade 6 : diamètre au collet supérieur à 1,3 cm.

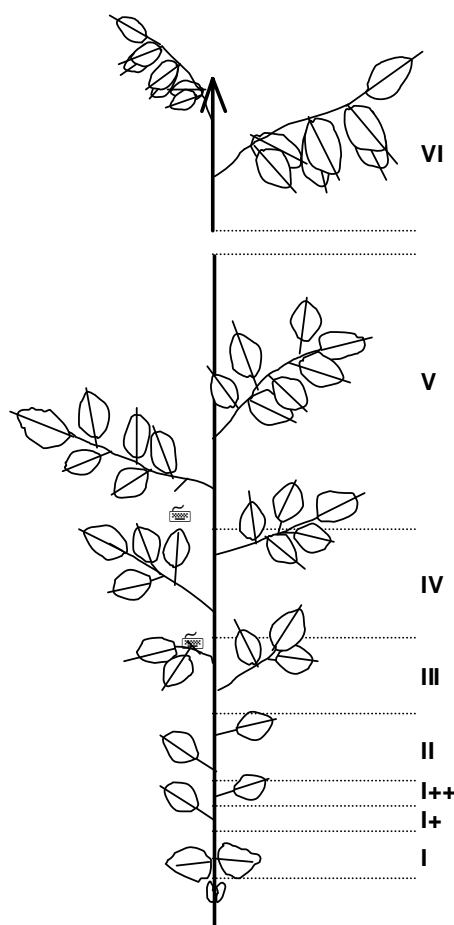


Figure 2 : Classification morphologique des stades de développement

3.3 Le suivi antérieur

Un protocole d'inventaire spatialisé de la régénération des 4 agrégats précédemment cités a été mis en place en avril-mai 1999 dans la parcelle 9 et en octobre 1999 pour la parcelle témoin.

Pour tester l'influence de l'exploitation dans la parcelle 9, la surface des trois agrégats 9.1, 9.2 et 9.3 a été divisé en trois zones :

- les pistes de débardage,
- les bords de piste,
- le sous-bois non perturbé par le passage des engins de débardage.

La totalité de la régénération présente sur les pistes et sur leurs bordures a été inventoriée par placettes de 2 m sur 4. Dans le sous-bois, un échantillon de placettes de même taille a été choisi de façon à restituer la même distribution de distances aux adultes semenciers, ceci afin de s'affranchir du biais dû à la distance de dispersion des graines par rapport aux semenciers et de ne tester que l'effet du milieu. Dans chaque placette ont été repérés et étiquetés les plantules et les juvéniles d'Angélique.

Le relevé des paramètres suivants a été effectué :

- stade,
- nombre de feuilles,
- état (cassé et repoussé ou non, état sanitaire global),

Certains individus (30 % par milieu et choisis de façon à avoir une représentation des différentes densités de régénération rencontrées), ont été décrits plus précisément pour pouvoir analyser la croissance. Les paramètres suivants ont alors été mesurés :

- hauteur,
- diamètre,
- phyllotaxie (c'est à dire la description de l'insertion et du type de feuille).

L'agrégat 11.2 a été cartographié de la façon suivante : 300 placettes de 2 m sur 4 m ont été échantillonnées de façon à ce qu'elles restituent la même distribution de distances par rapport aux adultes que les agrégats étudiés dans la parcelle 9. Les plantules et les juvéniles des placettes ont été repérés et étiquetés. Le stade, le nombre de feuilles ainsi que l'état sanitaire ont été relevés.

3.4 Le travail réalisé cette année

Notre travail a consisté à retrouver les plants d'Angélique étiquetés en 1999 dans les parcelles 9 et 11 et à noter leurs nouvelles caractéristiques.

Dans l'agrégat 9.1, sur piste et bord de piste ont été relevés la survie des plants, le stade, la hauteur, le diamètre et la phyllotaxie.

Dans l'agrégat 9.2 et 9.3, sur piste, bord de piste et sous-bois ont été relevés la survie des plants, le stade, le type de feuille, le nombre de feuilles, l'état sanitaire et la présence éventuelle d'une tige cassée-rejetée. Sur les placettes où les individus avaient été mesurés, une remesure a été réalisée de la hauteur, du diamètre, avec précision de l'insertion des feuilles, notation de la présence de rejets ou d'axes secondaires.

Dans les quadrats de la parcelle 11 définis en 1999, ont été relevés la survie, le stade et le nombre de feuilles de tous les plants. De plus, il a été effectué un inventaire rapide des germinations de l'année. Enfin, nous avons mesuré le degré d'ouverture de la canopée en utilisant l'échelle de CLARK et CLARK, 1992.

4 Analyse des données

4.1 Survie dans les différents milieux créés par l'exploitation

Nous présentons ci-dessous, les différents taux de survie, sur la période 1999-2001, par milieu et par agrégat et tous agrégats confondus.

| Survie | Milieu | | | | | | | | | | | | Total |
|-------------|--------|-----|-----|-------|-------|-----|-----|-------|---------|-----|-------|--------|-------|
| | Bords | | | | Piste | | | | Ss-bois | | | Témoin | |
| Agregat | 9.1 | 9.2 | 9.3 | Total | 9.1 | 9.2 | 9.3 | Total | 9.2 | 9.3 | Total | 11.2 | |
| Présents 99 | 61 | 356 | 453 | 870 | 255 | 335 | 229 | 819 | 214 | 212 | 426 | 567 | 2682 |
| Morts 01 | 41 | 245 | 305 | 591 | 150 | 175 | 135 | 460 | 165 | 144 | 309 | 313 | 1673 |
| Présents 01 | 20 | 111 | 148 | 279 | 105 | 160 | 94 | 359 | 49 | 68 | 117 | 254 | 1009 |
| Tx survie | 33% | 31% | 33% | 32% | 41% | 48% | 41% | 44% | 23% | 32% | 27% | 45% | 38% |

Tableau 1 : Survie par stade et par agrégat sur la période 1999-2001

Le tableau suivant présente le nombre d'individus présents par stade en 1999 et par type de milieu. Ces données ont permis d'estimer les probabilités de transition d'un stade à un autre (qui sont présentées ci-après), pour certains stades les effectifs étant faibles (< 10) il convient de considérer ces résultats avec prudence.

| Stades 99 | Nb individus en 2001 | | | |
|-----------|----------------------|-------|-----------|--------|
| | Bords | Piste | Sous-bois | Témoin |
| 0.25 | 12 | 9 | 19 | 8 |
| 0.5 | 33 | 13 | 9 | |
| 1 | 286 | 193 | 151 | 107 |
| 1.5 | 110 | 108 | 52 | 68 |
| 1.75 | 21 | 39 | 34 | 56 |
| 2 | 256 | 219 | 101 | 255 |
| 3 | 61 | 70 | 19 | 24 |
| 4 | 49 | 81 | 20 | 13 |
| 5 | 31 | 75 | 8 | 16 |
| 6 | 10 | 7 | 13 | 12 |
| 7 | | | | 8 |
| (vide) | 1 | 5 | | |

Tableau 2 : Répartition des individus par stade et par type de milieu en 1999

Le tableau suivant présente les taux de mortalité par stade et par milieu, sur la période d'étude, à savoir avril 1999 à septembre 2001 pour les individus de la parcelle 9 et septembre 1999 à septembre 2001 pour les individus de la parcelle 11.

Le taux de mortalité par an, soit m , a été calculé en fonction du taux de mortalité sur la période t (exprimée en année), soit M , par la formule suivante :

$$m = 1 - \exp[\ln(1 - M)/t]$$

Il permet de s'affranchir des effets d'une durée d'étude différente (de quelques mois) pour comparer les taux de mortalité par milieux.

| Stades 99 | Mortalité sur la période 99-01 | | | | Mortalité par an | | | |
|-----------|--------------------------------|-------|---------|--------|------------------|-------|---------|--------|
| | Bords | Piste | Ss-bois | Témoin | Bords | Piste | Ss-bois | Témoin |
| 0.25 | 83% | 89% | 84% | 88% | 59% | 67% | 60% | 58% |
| 0.5 | 76% | 62% | 89% | | 51% | 38% | 67% | |
| 1 | 81% | 79% | 83% | 57% | 57% | 54% | 59% | 30% |
| 1.5 | 74% | 72% | 73% | 59% | 49% | 47% | 48% | 31% |
| 1.75 | 62% | 69% | 79% | 55% | 38% | 45% | 55% | 29% |
| 2 | 73% | 63% | 71% | 60% | 48% | 40% | 46% | 31% |
| 3 | 49% | 37% | 47% | 58% | 29% | 21% | 27% | 31% |
| 4 | 24% | 17% | 20% | 23% | 13% | 9% | 11% | 10% |
| 5 | | 8% | 25% | 13% | | 4% | 13% | 5% |
| 6 | 10% | | 54% | 17% | 5% | | 32% | 7% |
| 7 | | | | 13% | | | | 5% |

Tableau 3 : Taux de mortalité par stade et par milieu, sur la période 1999-2001 et par an.

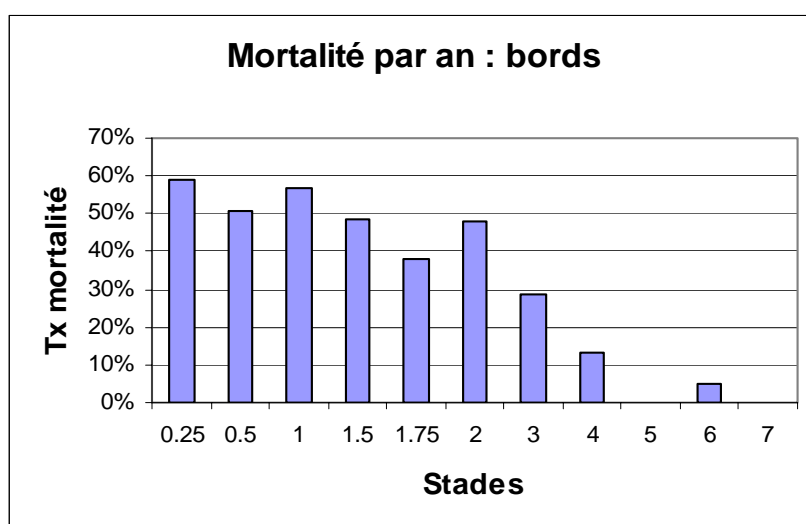


Figure 3 : Taux de mortalité par an sur les bordures selon les stades 1999.

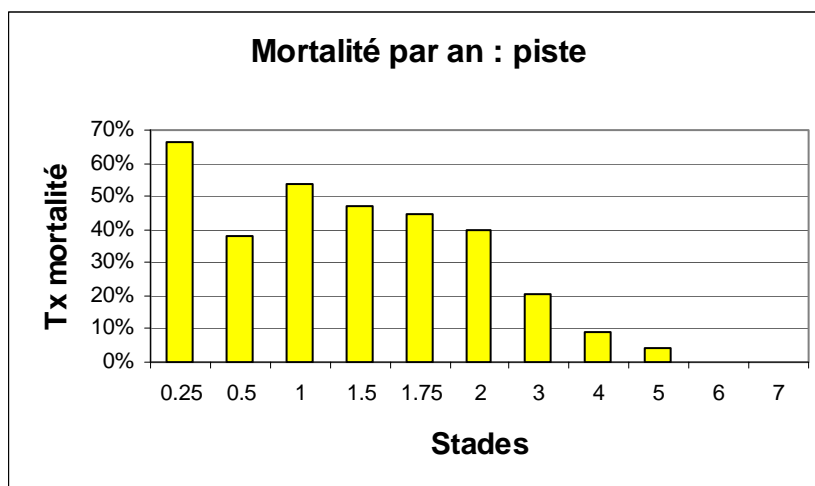


Figure 4 : Taux de mortalité par an sur les pistes selon les stades 1999.

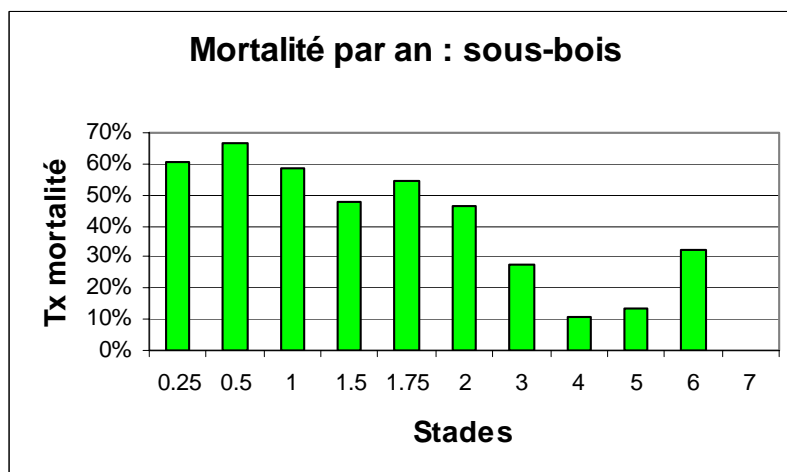


Figure 5 : Taux de mortalité par an dans le sous-bois selon les stades 1999.

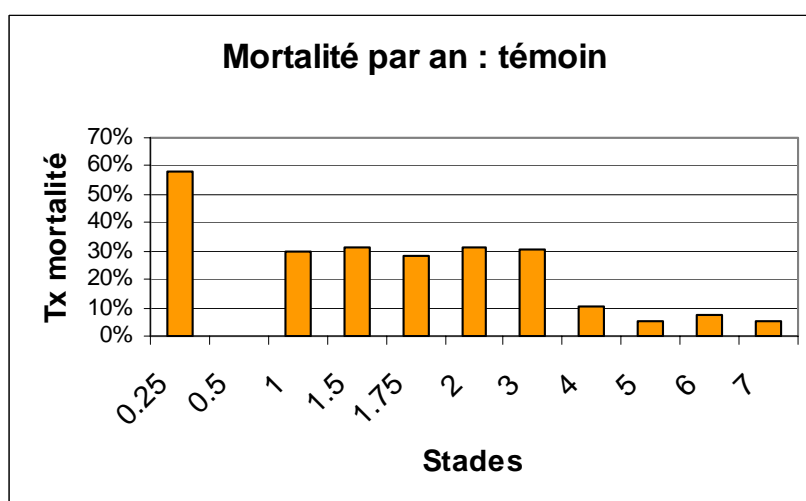


Figure 6 : Taux de mortalité par an sur la parcelle témoin selon les stades 1999.

Nous avons cherché à tester si les taux de mortalité dans les différents milieux de la parcelle exploitée sont significativement différents les uns des autres, en effectuant un test du χ^2 sur le tableau du nombre d'individus morts par stade et par milieu (deux degrés de liberté). Notre hypothèse nulle est : "la répartition des taux de mortalité n'est pas significativement différente suivant le milieu". Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous avec la probabilité que l'hypothèse soit vérifiée. Nous avons considéré le χ^2 comme significatif pour une probabilité inférieure ou égale à 0,05.

| Stades | chi 2 | Probabilité | Significativité |
|--------|------------|-------------|-----------------|
| 0.5 | 1.32058682 | 0.500-0.750 | NS |
| 1 | 0.92016955 | 0.500-0.750 | NS |
| 1.5 | 0.15758132 | 0.900-0.950 | NS |
| 1.75 | 2.07972801 | 0.250-0.500 | NS |
| 2 | 4.96926735 | 0.050-0.100 | NS |
| 3 | 3.17305392 | 0.100-0.250 | NS |
| 4 | 0.99080373 | 0.500-0.750 | NS |
| 5 | 6.41518868 | 0.025-0.05 | S |
| 6 | 6.24803768 | 0.025-0.05 | S |

Tableau 4 : Test du χ^2 pour chaque stade avec pour hypothèses H0 : "la répartition des taux de mortalité n'est pas significativement différente suivant le milieu".

Le tableau suivant présente les probabilités d'atteindre un stade donné par milieu. Le calcul a été effectué en utilisant le tableau avec les taux de mortalité par an, en faisant l'hypothèse qu'un individu présent au stade n à la date t est présent au stade n+1 à la date t+1. Cette hypothèse, bien que certainement fautive, permet de comparer entre les différents milieux, des probabilités d'atteindre un stade donné.

Nous avons souligné en jaune les probabilités au stade 4, considéré comme le premier stade des juvéniles.

| Stades | Proba de survie jusqu'au stade | | | |
|--------|--------------------------------|-------|-----------|--------|
| | Bords | Piste | Sous-bois | Témoin |
| 0.25 | 40.8% | 33.3% | 39.7% | 42.0% |
| 0.5 | 20.1% | 20.7% | 13.2% | 42.0% |
| 1 | 8.7% | 9.5% | 5.5% | 29.6% |
| 1.5 | 4.5% | 5.0% | 2.9% | 20.4% |
| 1.75 | 2.8% | 2.8% | 1.3% | 14.6% |
| 2 | 1.4% | 1.7% | 0.7% | 10.0% |
| 3 | 1.0% | 1.3% | 0.5% | 7.0% |
| 4 | 0.9% | 1.2% | 0.4% | 6.2% |
| 5 | | 1.2% | 0.4% | 5.9% |
| 6 | | | 0.3% | 5.5% |
| 7 | | | | 5.2% |

Tableau 5 : Probabilité d'atteindre un stade donné dans les différents milieux (sous l'hypothèse citée précédemment)

Nous présentons ci-après les quatre matrices de transition des stades 1999 vers les stades 2001 pour les quatre milieux différenciés. Le pourcentage indiqué en face de la ligne i et de la colonne j représente le pourcentage d'individu présent au stade i en 1999 qui est passé au stade j en 2001.

Nous avons ombré en foncé les forts taux de mortalité et en clair les forts pourcentages de survie.

| Bords | Stade 01 | | | | | | | | Total |
|----------|----------|----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| Stade 99 | 0 | 1 | 1.75 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| 0.25 | 83% | | 8% | 8% | | | | | 12 |
| 0.5 | 76% | | | 24% | | | | | 33 |
| 1 | 81% | | 1% | 17% | | | | | 286 |
| 1.5 | 74% | 1% | | 24% | 2% | | | | 110 |
| 1.75 | 62% | | | 38% | | | | | 21 |
| 2 | 73% | | | 25% | 2% | 1% | | | 256 |
| 3 | 49% | | | 10% | 38% | 3% | | | 61 |
| 4 | 24% | | | 6% | 12% | 55% | | 2% | 49 |
| 5 | | | | | 6% | 23% | 58% | 13% | 31 |
| 6 | 10% | | | | | | | 90% | 10 |
| 7 | | | | | | | | | |
| (vide) | 100% | | | | | | | | 1 |
| Total | 591 | 2 | 3 | 165 | 37 | 39 | 18 | 15 | 870 |

Tableau 6 : Table de transition entre stade, sur la période 1999-2001, pour le milieu bordure.

| Piste | Stade 01 | | | | | | | | Total |
|----------|----------|---|------|-----|-----|-----|-----|------|-------|
| Stade 99 | 0 | 1 | 1.75 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| 0.25 | 89% | | | 11% | | | | | 9 |
| 0.5 | 62% | | | 38% | | | | | 13 |
| 1 | 79% | | 2% | 19% | 1% | | | | 193 |
| 1.5 | 72% | | 1% | 27% | | | | | 108 |
| 1.75 | 69% | | 3% | 23% | 5% | | | | 39 |
| 2 | 63% | | | 30% | 5% | 1% | | | 219 |
| 3 | 37% | | | 11% | 36% | 16% | | | 70 |
| 4 | 17% | | | 1% | 23% | 54% | 4% | | 81 |
| 5 | 8% | | | 1% | 1% | 20% | 65% | 4% | 75 |
| 6 | | | | | | | | 100% | 7 |
| 7 | | | | | | | | | |
| (vide) | 60% | | | 20% | 20% | | | | 5 |
| Total | 461 | 0 | 6 | 156 | 61 | 72 | 53 | 10 | 819 |

Tableau 7 : Table de transition entre stade, sur la période 1999-2001, pour le milieu piste.

| Sous-bois | Stade 01 | | | | | | | | Total |
|-----------|----------|---|------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| Stade 99 | 0 | 1 | 1.75 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| 0.25 | 84% | | | 16% | | | | | 19 |
| 0.5 | 89% | | | 11% | | | | | 9 |
| 1 | 83% | | 2% | 15% | | | | | 151 |
| 1.5 | 73% | | 2% | 25% | | | | | 52 |
| 1.75 | 79% | | | 18% | 3% | | | | 34 |
| 2 | 71% | | | 26% | 3% | | | | 101 |
| 3 | 47% | | | 21% | 16% | 16% | | | 19 |
| 4 | 20% | | | 10% | 10% | 55% | 5% | | 20 |
| 5 | 25% | | | | | 13% | 63% | | 8 |
| 6 | 54% | | | | | | | 46% | 13 |
| 7 | | | | | | | | | |
| (vide) | | | | | | | | | |
| Total | 308 | 0 | 4 | 78 | 9 | 15 | 6 | 6 | 426 |

Tableau 8: Table de transition entre stade, sur la période 1999-2001, pour le milieu sous-bois.

| Témoin | Stade 01 | | | | | | | | | Total |
|----------|----------|---|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| Stade 99 | 0 | 1 | 1.75 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | |
| 0.25 | 88% | | | 13% | | | | | | 8 |
| 0.5 | | | | | | | | | | |
| 1 | 57% | | 2% | 40% | 1% | | | | | 107 |
| 1.5 | 59% | | | 35% | 6% | | | | | 68 |
| 1.75 | 55% | | | 45% | | | | | | 56 |
| 2 | 60% | | | 37% | 4% | | | | | 255 |
| 3 | 58% | | | | 29% | 4% | 8% | | | 24 |
| 4 | 23% | | | | | 77% | | | | 13 |
| 5 | 13% | | | | | 6% | 56% | 25% | | 16 |
| 6 | 17% | | | | | | | 83% | | 12 |
| 7 | 13% | | | | | | | | 88% | 8 |
| (vide) | | | | | | | | | | |
| Total | 313 | 0 | 2 | 187 | 21 | 12 | 11 | 14 | 7 | 567 |

Tableau 9 : Table de transition entre stade, sur la période 1999-2001, pour le milieu témoin.

4.2 Recherche des déterminants de la croissance

Nous avons cherché à utiliser la description en croissance (hauteur, diamètre, nombre de feuilles) pour mettre en évidence des caractéristiques physiologiques de chacun des stades de développement.

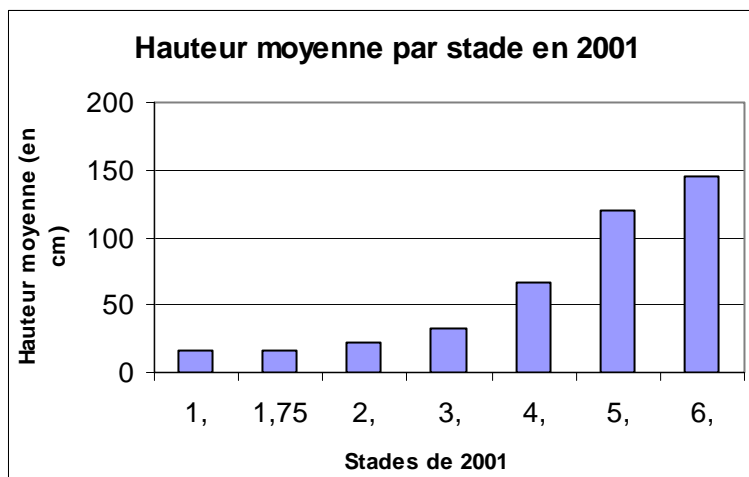


Figure 7 : Hauteur moyenne en cm, par stade 2001, pour les individus de la parcelle exploitée.

En comparant les hauteurs et les diamètres en 1999 et en 2001, nous avons pu calculer des accroissements relatifs RGR (hauteur) et des RGR (diamètre).

Ces taux sont calculés de la façon suivante :

$$\text{RGR (X)} = [\log(X_f) - \log(X_i)] / (T_f - T_i)$$

où X est la variable mesurée, qui vaut X_i à l'instant initial T_i et X_f à l'instant final T_f .

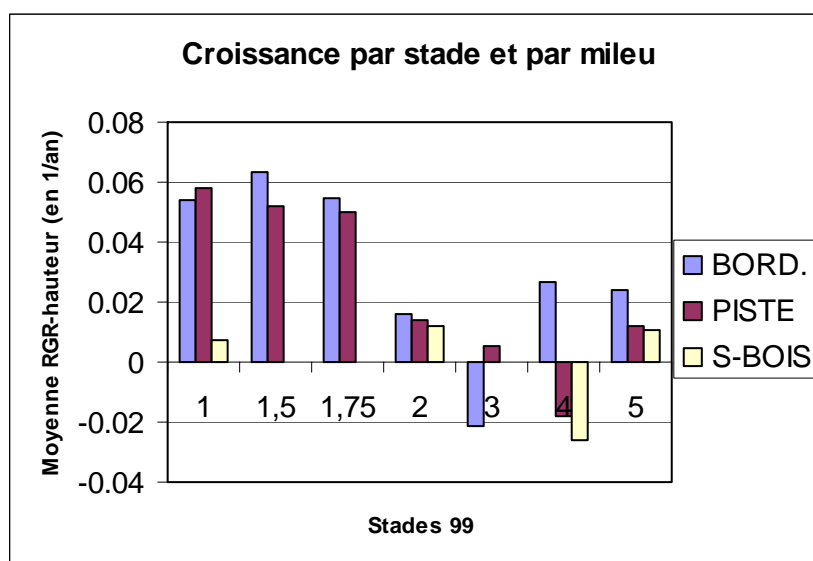


Figure 8 : croissance en hauteur par stade et par milieu pour les trois environnements de la parcelle exploitée.

Le tableau ci-dessous présente le nombre de feuille moyen en 2001 par stade et par milieu, ainsi que l'écart type. Pour chaque stade, nous avons ombré en foncé la valeur la plus forte selon le milieu et en clair la valeur la plus faible.

| Stade 01 | Nb feuilles 01 | Milieu | | | | Total |
|----------------|----------------|--------|-------|-----------|--------|-------|
| | | Bords | Piste | Sous-bois | Témoin | |
| 1.75 | Moy | 2.67 | 3.00 | 3.50 | 5.00 | 3.36 |
| | Ecartype | 1.53 | 1.00 | 1.00 | 4.24 | 1.69 |
| 2 | Moy | 3.74 | 3.65 | 3.47 | 3.89 | 3.74 |
| | Ecartype | 1.44 | 1.42 | 1.40 | 1.45 | 1.44 |
| 3 | Moy | 4.51 | 3.68 | 5.44 | 4.86 | 4.35 |
| | Ecartype | 2.21 | 1.73 | 1.42 | 1.01 | 1.85 |
| 4 | Moy | 4.55 | 5.64 | 5.60 | 5.75 | 5.29 |
| | Ecartype | 2.08 | 2.26 | 2.38 | 2.05 | 2.23 |
| 5 | Moy | 6.50 | 6.08 | 4.67 | 5.00 | 5.91 |
| | Ecartype | 1.95 | 3.08 | 1.86 | 1.95 | 2.64 |
| 6 | Moy | 21.33 | 21.14 | 20.00 | 11.00 | 15.62 |
| | Ecartype | 15.89 | 9.79 | 0.00 | 4.96 | 9.05 |
| 7 | Moy | | | | 17.67 | 17.67 |
| | Ecartype | | | | 19.66 | 19.66 |
| Total Moy | | 4.37 | 4.91 | 4.26 | 4.68 | 4.60 |
| Total Ecartype | | 2.98 | 3.85 | 2.75 | 3.36 | 3.34 |

Tableau 10 : Nombre moyen de feuilles par stade 2001 et par milieu.

4.3 Influence de l'éclairement

4.3.1 Sur la survie des plantules

L'estimation du degré d'ouverture de la canopée et de l'éclairement reçu a été effectué en utilisant une échelle de 1 à 4 divisée en demi-niveau. L'objectif était de rechercher les corrélations possibles entre taux de mortalité des plantules et qualité de l'éclairement.

La prise d'indices d'éclairement a été calibrée sur la classification établie par Clark & Clarken en 1992. Nous détaillons ci-après les caractéristiques des différentes classes.

- **Classe 1** : pas de lumière directe (couronne non éclairée directement, soit verticalement, soit latéralement) ;
- **Classe 1,5** : faible lumière latérale (couronne éclairée seulement d'un côté, pas ou peu de moyennes ou larges ouvertures dans la canopée) ;
- **Classe 2** : lumière latérale moyenne (couronne éclairée seulement d'un côté : plusieurs petites ouverture ou une ouverture moyenne dans la canopée) ;
- **Classe 2,5** : forte lumière latérale (couronne éclairée seulement d'un côté : exposée à au moins une ouverture de grande taille ou à des ouvertures de taille moyenne) ;
- **Classe 3** : présence de lumière verticale (10 à 90 % de la projection verticale de la couronne est exposée à un éclairage vertical) ;
- **Classe 4** : pleine lumière verticlae (> 90 % de la projection verticale de la couronne est exposée à un éclairage vertical) ;
- **Classe 5** : couronne complètement exposée à la lumière verticale et latérale dans un cône de 90 ° entourant la couronne.

| Eclairement | Nb individus |
|-------------|--------------|
| 1 | 27 |
| 1.5 | 102 |
| 2 | 69 |
| 2.5 | 46 |
| 3 | 38 |
| 4 | 4 |

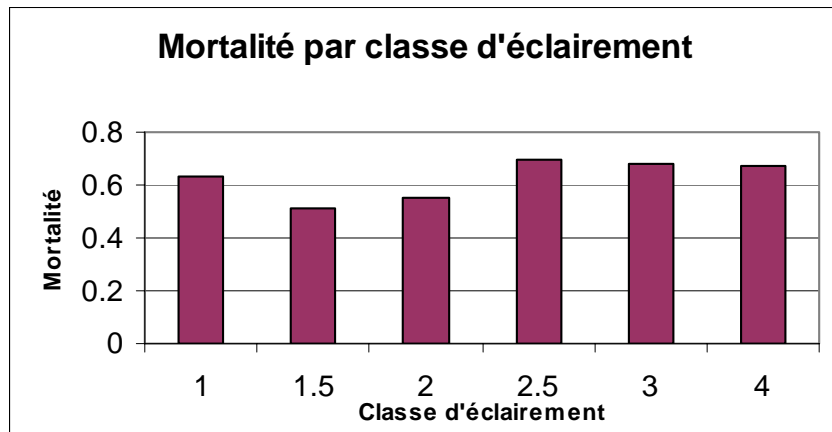


Figure 9 : Mortalité des plantules (jusqu'au stade 2) sur la parcelle témoin (11) en fonction des classes d'éclairement (1 : milieu très fermé à 4 milieu ouvert). Le tableau de gauche présente le nombre d'individus sur lequel ont été calculés les taux de mortalité.

4.3.2 Sur la croissance

Nous avons cherché à établir des corrélations entre les taux de croissance relatifs sur la période en hauteur et en diamètre calculés sur la hauteur et le diamètre des plants et l'environnement lumineux mesuré en 1999.

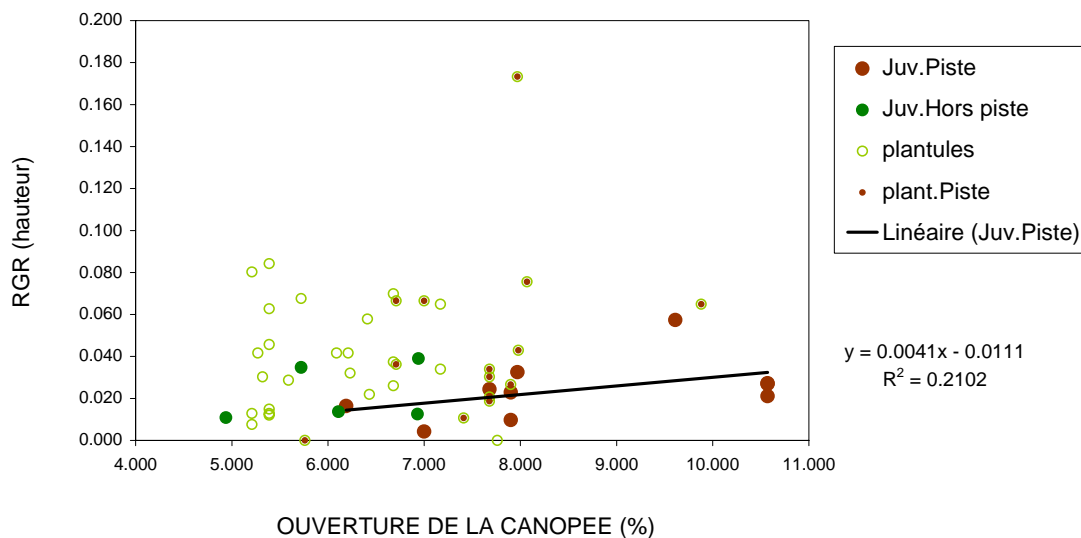


Figure 10 : Taux de croissance relatif en hauteur, en fonction de l'éclairement pour les individus des agrégats 9.2 et 9.3, en distinguant les plantules des juvéniles (stade > 3) et leur présence ou non sur la piste.

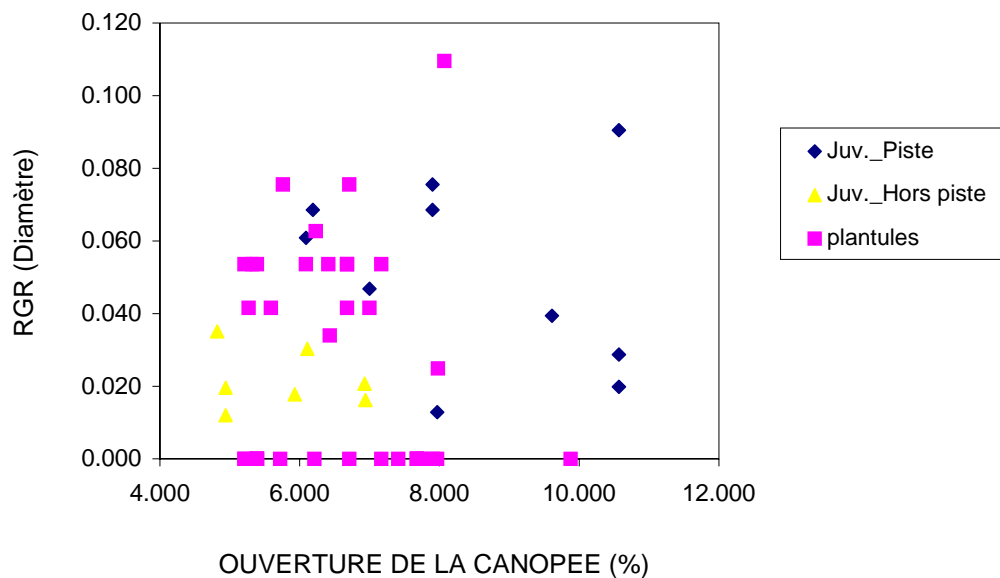


Figure 11 : Taux de croissance relatif en diamètre en fonction de l'éclairement pour les individus des agrégats 9.2 et 9.3, en distinguant les plantules des juvéniles (stade > 3) et leur présence ou non sur la piste.

5 Discussion

5.1 Survie dans les différents milieux

Le tableau 1, présentant la survie par stade et par agrégat dans les différents milieux sur la période 1999-2001, montre une faible différence des taux de survie par milieu selon l'agrégat, ce qui permet de comparer les taux de survie par milieu tous agrégats confondus.

La première conclusion est que le **taux de survie dans la parcelle témoin non perturbée est supérieur à celui dans la parcelle qui a subi une exploitation**.

La deuxième résultat visible est le **fort taux de survie sur piste** comparé aux deux autres milieux de la parcelle exploitée : bordures et sous-bois. Ce résultat est assez contre-intuitif dans la mesure où la piste est considérée comme un milieu, certes plus ouvert, mais dont les propriétés du sol sont altérées sur une durée assez longue. Il semble ici que le milieu piste ne soit pas spécialement défavorable à la survie des plantules et au développement des jeunes plants d'Angélique.

Considérons, dans le tableau 3, les taux de mortalité par an et par stade pour les différents milieux.

Une première constatation, qui va dans le sens du résultat précédent, est la mortalité plus forte dans la parcelle exploitée que dans la parcelle témoin, aux plus jeunes stades du

développement (surtout les stades <3). Ce résultat est bien mis en valeur par le tableau 5 présentant la probabilité d'atteindre un stade donné : une plantule de la parcelle non perturbée à presque 6 fois plus de chance d'atteindre le stade 4 qu'une plantule de la parcelle exploitée. **L'exploitation semble donc avoir un impact global défavorable sur le développement dans le milieu.**

Un deuxième constat est la **faible décroissance du taux de mortalité avec l'augmentation du stade de développement**, en particulier sur la parcelle exploitée. En effet, même au stade 3, le taux de mortalité par an est d'environ 25 % sur les trois milieux, ce qui correspond à environ 45 % sur la période d'étude de 2 ans. Les taux de mortalité deviennent significativement plus faibles à partir du stade 4.

Concernant le taux de mortalité sur piste pour chaque stade de développement, nous constatons là encore une mortalité plus faible sur piste que dans les autres milieux de la parcelle exploitée, à l'exception des stades 0,25 (peu représenté) et 1,75. Nous pouvons donc conclure que **le milieu piste sur une parcelle exploitée est plus favorable à la survie des plantules à presque tous les stades du développement considérés.**

Les histogrammes des figures 3 à 5 (parcelle 9) ne mettent pas en évidence de différences notables sur la distribution des taux de mortalité par stade. Ce résultat est conforté par le résultat du test du χ^2 (tableau 4) qui est non significatif sauf pour les stades 5 et 6. Nous pouvons conclure que **le type de milieu de la parcelle exploitée n'influence pas significativement le taux de mortalité des plantules.**

Par contre, le profil de la figure 6, représentant les taux de mortalité par stade sur la parcelle témoin est intéressant. En effet, nous pouvons distinguer trois nouveaux stades correspondant chacun à des taux de mortalité constants :

| Nouveau stade | Stades concernés | Taux de mortalité |
|---------------|------------------|-------------------|
| A | 0,25 et 0,5 | 55 % |
| B | 1 à 3 inclus | 30 % |
| C | 4 et plus | 8 % |

La connaissance de ces taux de mortalité pourrait être utilisée pour prédire l'évolution démographique d'une parcelle non perturbée.

Les tables de transition d'un stade 1999 vers un stade 2001 (tableaux 6 à 9) peuvent elles aussi être utilisées pour modéliser l'évolution démographique d'une population dans chacun des milieux considérés. Notons juste que certains taux de transition, surtout aux stades élevés, demanderaient à être validés sur une cohorte d'individus plus grande.

5.2 Croissance

Le tableau 7 des hauteurs moyennes par stade semble justifier le fait que les stades correspondent bien à des phases d'exploration en hauteur différentes.

La croissance par stade et par milieu sur la figure 8 montre une forte croissance en hauteur aux jeunes stades (inférieur à 2) pour la piste et les bordures. A partir du stade 2, la croissance est nettement plus faible - on constate même des descentes de cîmes - et pas significativement différentes suivant les milieux.

Notre conclusion est donc que **la distinction en différents milieux dans la parcelle exploitée n'est pas pertinente pour la croissance en hauteur.**

Le nombre moyen de feuilles est bien une fonction croissante du stade et nous constatons un saut significatif dans le nombre de feuilles à partir du stade 6. Par contre, ce nombre n'est pas significativement différent suivant les milieux.

5.3 Influence de l'éclairement

La figure 9 présentant la mortalité par classe d'éclairement, sur la parcelle témoin, ne montre pas de réponse particulière pour la survie des plantules en fonction de l'ouverture du milieu. Un milieu assez fermé n'est pas plus défavorable à la survie des plantules qu'un milieu ouvert, ce qui peut être compatible avec le fait que l'essence est tolérante à l'ombre.

Nous en concluons que **la mortalité des jeunes plants n'est pas directement liée au degré d'ouverture du milieu.**

De même le taux de croissance relatif en hauteur et en diamètre dans la parcelle exploitée (figures 10 et 11) n'est pas directement corrélé à l'éclairement, que ce soit pour les plantules ou pour les juvéniles et sur piste ou en dehors de la piste.

Nous en concluons que **l'éclairement n'est pas un facteur discriminant de la croissance des plants d'Angélique.**

Il ressort de cette analyse que le facteur abiotique lumière n'influence pas directement la survie et la croissance des plants d'Angélique. Nous pouvons émettre l'hypothèse que d'autres facteurs biotiques ont un rôle prédominant sur la dynamique de la régénération de l'Angélique, comme l'influence des rongeurs ou les nécroses dues à des champignons...

Conclusion

Cette étude a permis, grâce à une campagne de mesure assez éprouvante, de récolter un nombre conséquent de données sur la survie et la croissance de l'Angélique dans une parcelle exploitée et dans une parcelle témoin.

L'analyse partielle de ces données met en évidence un résultat assez surprenant : à savoir que le milieu piste ne semble pas plus défavorable en terme de survie et de croissance que les milieux bordures et sous-bois de la parcelle exploitée. Ce résultat, assez contre-intuitif, est néanmoins à nuancer par le fait que la mortalité dans la parcelle perturbée et donc sur piste est toujours plus forte que dans la parcelle témoin non perturbée.

Ce résultat pourrait avoir un impact sur le mode d'exploitation. En effet, il pourrait être intéressant d'exploiter d'avantage une parcelle qu'il ne l'est fait actuellement, mais par ailleurs, ouvrir moins de parcelles pour ne pas affecter la dynamique de régénération de l'Angélique. L'hypothèse à vérifier serait alors qu'une parcelle peu exploitée est aussi favorable à la régénération des plants qu'une parcelle plus exploitée.

L'autre résultat important est que l'ouverture du milieu n'influence pas directement ni la survie, ni la croissance des plants d'Angélique. Nous émettons alors l'hypothèse que d'autres facteurs biotiques doivent jouer un rôle plus important que ce facteur physique.

Un certain nombre des données collectées n'ont pas été exploitées faute de temps. Il serait intéressant de reprendre des analyses sur le jeu de données, comme par exemple l'influence de la proximité des adultes ou de sortir des cartes de germination en fonction de la fructification.