

UNIVERSITE PARIS VII

THESE

de

DOCTORAT de 3ème CYCLE

PRESENTEE PAR

CHEVILLOTTE Hervé

Spécialité : BIOMATHEMATIQUES

\* \* \* \* \*

Sujet :

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA DYNAMIQUE DE CROISSANCE  
DE *Quercus sessiflora* SALISB., EN RELATION AVEC DIFFERENTS  
TRAITEMENTS CHIMIQUES EN FORET DE FONTAINEBLEAU.

PRESENTEE LE 1<sup>er</sup> juillet 1986 DEVANT LA COMMISSION D'EXAMEN :

MM A.J. VALLERON

J. VIEIRA DA SILVA

J.P. CANCELA DA FONSECA

Président

Examineur

Examineur

## R e m e r c i e m e n t s ,

Avant tout, je tiens à remercier M. CANCELA DA FONSECA qui a été le directeur et l'animateur de ce travail et M. VALLERON qui en a permis la réalisation.

Je remercie également, Serge HAZOUT et M. DEJARDIN pour leurs aides et leurs conseils précieux, M. FAILLE pour son soutien et son concours sur le terrain, M. BELLEFLEUR pour avoir mis gracieusement à ma disposition son appareillage scientifique et informatique.

Je tiens à souligner toute ma reconnaissance, à l'aide particulière et technique du personnel des laboratoires d'analyses chimiques de l'ORSTOM à BONDY, à M. HEBERT tout particulièrement, à Mme ANICET et à tous ceux qui m'ont apporté leur soutien pratique et moral et sans qui ce travail n'aurait pu s'achever.

De plus, je remercie M. TENDRON qui m'a autorisé à effectuer des mesures et des prélèvements sur une parcelle expérimentale, en Forêt de Fontainebleau.

## S O M M A I R E

1 -	<b><u>INTRODUCTION</u></b>	p. 1
2 -	<b><u>ZONE D 'ETUDES ET METHODES</u></b>	p. 3
2 - 1	Situation géographique	p. 3
2 - 2	Situation géologique et topographique	p. 3
2 - 3	Profil pédologique de la parcelle 329.	p. 3
2 - 4	Choix de la station	p. 7
2 - 5	Préparation de la station	p. 8
2 - 6	Traitements chimiques : Atrazine et Simazine	p. 8
2 - 7	Dispositif expérimental	p. 9
3 -	<b><u>MESURES ET ANALYSE DES DONNEES ABIOTIQUES</u></b>	p. 12
3 - 1	Durée et périodicité des mesures	p. 12
3 - 2	Données climatiques	p. 13
3 - 3	Rayonnement solaire	p. 15
3 - 4	Données du sol	p. 20
3 - 4 - 1	Azote	p. 20
3 - 4 - 2	Teneur en eau	p. 23
3 - 4 - 3	Température	p. 25
4 -	<b><u>MESURES ET ANALYSE DES RESULTATS SUR <i>Quercus sessiliflora</i> SALISB</u></b>	p. 30
4 - 1	Germination sur l'année végétative 1982	p. 30
4 - 2	Evolution de la population des plantules de 1982 à 1983	p. 32
4 - 3	Démographie sur la population des feuilles 1982	p. 35

4 - 4	Photosynthèse	p. 39
4 - 5	Analyse statistique sur les accroissements des tiges	p. 43
4 - 6	Etude de régressions sur les mesures foliaires	p. 45
4 - 7	Biométrie de la croissance foliaire de <u>Quercus sessiliflora</u> SALISB.	p. 58
4 - 7 - 1	Choix de la fonction de croissance	p. 58
4 - 7 - 2	Mesures in situ des feuilles	p. 61
4 - 7 - 3	Estimation des valeurs de départ des paramètres : Méthode de HADLEY	p. 63
4 - 7 - 4	Estimation des paramètres de la fonction de RICHARDS	p. 65
4 - 7 - 5	Analyse des résultats obtenus par la méthode de MARQUARDT	p. 71
4 - 7 - 6	Etude des profils de croissance foliaire	p. 91
4 - 8	Analyse des données du système aérien à la fin de la 2 <sup>ème</sup> année de végétation	p. 98
5 -	<u>DISCUSSION ET CONCLUSIONS</u>	p. 104

#### ANNEXE

#### BIBLIOGRAPHIE

## 1 - INTRODUCTION

Le genre Quercus fait l'objet depuis ces quinze dernières années de nombreuses études dont beaucoup sont consacrées à la biologie et à la biochimie de la germination (Vozzo & Young, 1975 ; Lamond, 1978 ; Vozzo, 1978 ; Levert & Lamond, 1979, 1980 ; Vuillemin, 1982 ; Levert, 1977 ; Croizeau & Roguet, 1976) ; d'autres auteurs se sont plus particulièrement préoccupés des problèmes liés à la photosynthèse ( Ducrey, 1981 ; Zarnowski, 1974 , 1975 ; Hinckley & al, 1978 ; Penka & al, 1971), dans des conditions de croissance normale ou dans le cas de modifications physiologiques et biologiques apportées par la pollution atmosphérique (Ricks & al., 1971; Ricks et Williams, 1974, 1975) ou bien encore d'infections fongiques (Hewitt & Ayres, 1975 ; Edwards & Ayres, 1982).

Le chêne étant une espèce à croissance lente, sa régénération en milieu forestier est restée pendant longtemps le seul fait de la "nature" , des espèces à croissance plus rapide lui étant préférées (Osvald, 1981). Mais depuis quelques années, on assiste de la part des organismes forestiers (Office National des Forêts), à une volonté de régénérer de grandes surfaces forestières en feuillus et notamment en chêne, en Forêt de Fontainebleau. A cet effet, un certain nombre de techniques de régénération (Chevillotte et Cancela da Fonseca, 1984) sont pratiquées : naturelle, naturelle assistée, semis en ligne et plus récemment

avec l'utilisation complémentaire de produits chimiques normalement utilisés en agriculture : les herbicides.

Ces expériences étant encore au stade empirique, il nous est apparu intéressant d'étudier la potentialité de régénération de l'espèce Quercus sessiliflora Salisb, dans des conditions de culture agronomique.

L'utilisation des modèles dans l'étude des comportements des systèmes écologiques forestiers est largement répandue depuis quelques années.

Nous distinguons les modèles généraux qui prétendent intégrer plusieurs processus associés à la croissance des arbres dans le sens d'une représentation des mécanismes biologiques (Auclair & Cottam, 1971; Dixon, Luxmoore & Begovich, 1978; Aikman & Watkinson, 1980; Hari & Kellomäki, 1981; Jarvis, 1981; Landsberg, 1981) et les modèles spécifiques qui s'attachent à un seul aspect de la croissance (Brougham, 1962; Venus & Causton, 1979, 1981; Zelavski & Lech, 1980; Zelavski, 1981). Ces derniers ont l'avantage par rapport aux modèles généraux de "coller" très souvent avec les données expérimentales.

Ce travail se donne donc comme but de connaître les modifications induites sur la dynamique de croissance du chêne sessile par l'emploi in situ, des herbicides, en faisant appel à des techniques simples d'analyses statistiques et à un modèle de croissance appliqué à l'entité foliaire.

## 2 - ZONE D'ETUDE ET METHODES

### 2 - 1 Situation géographique

L'étude a été réalisée dans le massif forestier de Fontainebleau, situé en région parisienne, dans la partie du Gâtinais. Cette forêt de 25 000 ha de superficie est délimitée au Nord par la ville de Melun, à l'Est par Morêt, au Sud par Nemours et à l'Ouest par Milly. La Seine la borde sur sa partie Nord et Est.

### 2 - 2 Situation géologique et topographique

La parcelle où fut réalisée l'étude porte le numéro 329. Elle est localisée à mi-chemin entre Fontaine-le-Port au Nord et Samois s/Seine au Sud à environ 500 m de la Seine. Son altitude est comprise entre 60 et 70 m.

Le sol est formé d'alluvions anciennes : sables et graviers siliceux reposant sur des Marnes vertes du Stampien inférieur (épaisseur environ 3 m).

### 2 - 3 Profil pédologique de la parcelle 329

Les relevés à la tarière sur la parcelle 329 et le creusement d'une fosse en zone naturelle, voisine de la parcelle, ont permis de mettre en évidence les caractéristiques d'un sol lessivé podzolique (Figure 1).

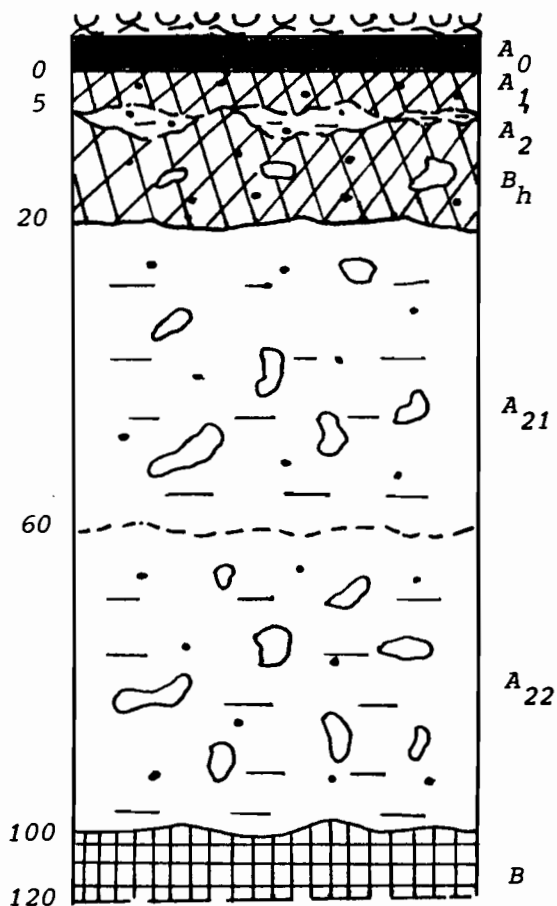





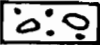



Figure 1 : Profil du sol de la parcelle 329

- 
AoL : Litière fraîche de l'année (L)
- 
AoF : Litière mal décomposée de l'année antérieure (F)
- 
AoH : Couche humifiée
- 
Horizon humifère particulière
- 
Horizon lessivé, limoneux
- 
Horizon cendreuse, cailloux
- 
Argile, Fer ferrique. Accumulation.



Ao = Couche H, constituant un dysmoder de 2 à 5 cm en zone naturelle. Cette couche est inexistante ou très mince sur la parcelle 329.

A1 (2-5cm) = horizon gris noir humifère, nombreuses racines, transition nette, tâches de podzolisation sous A1 (A'2 sur la figure 1).

Bh (5-20cm) = horizon d'accumulation de matière organique, de couleur chocolat avec transition graduelle.

A21 (20-60cm) = horizon clair, sableux et cailloux siliceux.

A22 (60-100cm) = horizon beige clair, sableux et cailloux siliceux.

B (100-120cm) = horizon ocre rouille.

Les analyses chimiques courantes sur la matière organique et le complexe adsorbant ainsi qu'une analyse totale ont été faites sur un relevé des horizons (A1 à B) de la parcelle 329 (Annexes 1A & 1B). On remarquera, que les 2 éléments qui caractérisent l'état du complexe adsorbant : la capacité totale d'échange (T) et le taux de saturation en cation métal ( $100 S/T = V\%$ ) sont très faibles.

### 2 - 3 - 1 PH de la parcelle

Le tableau 1 donne des valeurs ponctuelles sur le PH des différents horizons de la parcelle 329 (relevé de Mai 1983). Ces valeurs sont variables en fonction du temps car nous sommes en présence d'un milieu mal tamponné = sol sableux acide.

A1	Bh	A21	A22	B
4,50	4,30	5,10	5,10	5,20

Tableau 1 : Valeurs des PH par horizon de la parcelle 329.

### 2 - 3 - 2 Le rapport Carbone / Azote

Le rapport C/N est le meilleur critère permettant de caractériser l'humus (Duchaufour, 1965). Au mois de Mai 1983, soit un an et demi après les travaux mécaniques et chimiques réalisés sur la parcelle 329, nous avons procédé à des mesures sur le milieu "L + F" du rapport C/N. Les quantités de carbone total et d'azote total, exprimées en % de sol sec à l'air, ont été obtenues par coulométrie et par la méthode de Kjeldahl. Le tableau 2 des valeurs du rapport C/N par type de traitement (Figure 2) ne met pas en évidence pour le niveau "L + F" de différences significatives quel que soit le traitement appliqué.

Traitements	Témoins	Atrazine	Simazine
Rapport C/N	31,6	26,2	24,3
au	24,2	25,7	23,2
niveau "L+F"	26,5	28,8	19,3

Tableau 2 : Rapport C/N par type de traitement

D'après Duchaufour et Mangenot (1957), au dessus d'un C/N =25, la minéralisation est lente et ne produit qu'une faible quantité d'azote minéral. Les valeurs obtenues pour les témoins et l'atrazine semblent indiquer un processus très lent de transformation des débris végétaux, composés essentiellement de feuilles de chêne, mais aussi de quelques morceaux de bois dont l'origine est sans doute liée à des espèces acidifiantes (présence de résineux avant la mise en culture

de la parcelle 329). Ces résultats sont donc à considérer avec un certain recul car nous devrions avoir un humus de type mor et un horizon A<sub>0</sub> très net et épais pour les témoins ou l'atrazine, ce qui n'est pas le cas. D'autres mesures du C/N sur l'horizon A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> et B nous confirment que nous avons un sol biologiquement actif, sol lessivé avec un humus de type moder (Tableau 3).

Horizons	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B
C/N	16,92 ± 1,85 *	11,8	11,9

Tableau 3 : Rapport C/N sur les horizons A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> et B de la parcelle 329.

\* Intervalle de confiance à 95 %

#### 2 - 4 Choix de la station

Les relevés et les mesures de croissance ont été réalisés sur la parcelle 329 pour diverses raisons dont :

- topographie régulière de la station : terrasse ;
- essais de régénération du chêne sur sols relativement pauvres, avec traitement préalable aux herbicides.

## 2 - 5 Préparation de la station

Avant de procéder à la plantation des glands en ligne, l'O.N.F. a débarrassé la parcelle 329 de toute sa végétation arbustive, coupé tous les arbres autres que le chêne et laissé sur pied quelques semenciers dont la hauteur est comprise entre 20 et 25 mètres, ainsi que quelques bosquets de chêne de 15 - 20 ans. La strate herbacée a été détruite par un labourage de toute la surface sur une profondeur de 25 cm. Les semis ont été faits en automne 1981, dont une partie a été traitée spécifiquement aux herbicides : simazine et atrazine sur une superficie de 0,5ha chacun. Nous noterons aussi, qu'une petite partie de la superficie de la parcelle a été mise en régénération naturelle assistée, c'est-à-dire qu'après la coupe, on sème des glands d'autres provenances, en complément de ceux issus des producteurs naturels et pendant quelques années, les ronces sont arrachées manuellement une fois par an.

## 2 - 6 Traitements chimiques : Simazine, Atrazine

La simazine et l'atrazine sont des herbicides qui appartiennent à la famille des triazines. Ces produits dérivés de la s-triazine, présentent tous un noyau hexagonal comprenant trois atomes de carbone et trois atomes d'azote.

Leur mode d'action est complexe. C'est principalement par absorption racinaire que les triazines pénètrent dans les plantes où elles inhibent la division cellulaire.

### Caractéristiques de l'atrazine

C'est un chloro-2 éthylamino-4 isopropylamino-6 triazine-1,3,5. Il est peu soluble dans l'eau (28 ppm), il est absorbé par les racines et en partie par les feuilles. Il est très efficace à l'égard des graminées adventices et nombreuses herbes dicotylédones, sa durée d'action est de 2 à 3 mois et plus. Il est très stable en conditions neutres et faiblement acide.

### Caractéristiques de la simazine

C'est un chloro-2 bis (éthylamino)- 4,6 triazine- 1,3,5. Il empêche l'assimilation du CO<sub>2</sub> et bloque la respiration de la plante qui utilise ses réserves nutritives. Efficace à l'égard de certaines graminées adventices et dicotylédones (herbes). Il est insoluble dans l'eau (5 ppm), persiste plusieurs mois dans le sol et est absorbé exclusivement par les racines. En général, ces deux herbicides sont utilisés pour traiter le maïs.

### 2 - 7 Dispositif Expérimental

Le dispositif expérimental mis en place sur la zone d'étude de la parcelle 329 repose sur l'expérimentation en blocs aléatoires complets (Dagnélie, 1981) ou les objets retenus sont :

- les semis sur sol naturel
- les semis sur sol traité à l'atrazine
- les semis sur sol traité à la simazine.

Le nombre de parcelles expérimentales par bloc est donc égal au nombre d'objets, soient 3 parcelles. Le nombre de blocs retenus est égal à 3 pour des questions pratiques : la faisabilité des mesures de croissance en un temps déterminé : une même demi-journée pour l'ensemble des blocs.

La répartition des objets au sein des blocs est, dans le cas de cette expérience, pseudo-aléatoire dans la mesure où les traitements aux herbicides ont été effectués par l'O.N.F. sur des lignes de plantations voisines (2 à 3 lignes pour chaque herbicide) avec une bordure de 3 mètres de large entre les 2 zones traitées.

La randomisation des parcelles expérimentales s'est donc faite au sein de chaque zone traitée sur une ligne de plantation.

La dimension de chaque parcelle expérimentale résulte d'un compromis entre les principes théoriques et les contingences pratiques. De ce fait, ne sachant pas à priori, quelle quantité de glands était susceptible de germer au m<sup>2</sup> et l'expérimentation étant faite en forêt, la dimension de chaque parcelle a été choisie suffisamment grande (5 m<sup>2</sup>), afin d'obtenir des résultats représentatifs. La surface totale de mesures est donc de 45 m<sup>2</sup>.

Le dispositif mis en place est schématisé par la figure 2 et nous retiendrons les abréviations suivantes :

- S = Simazine
- A = Atrazine
- N = Naturel ou non traité.

La numérotation des placettes a été faite de droite à gauche, de même pour l'ordre d'apparition des plantules au sein de chaque placette.

Par ailleurs, cinq groupes de 4 pluviomètres ont été installés, aléatoirement, sur la surface d'étude.

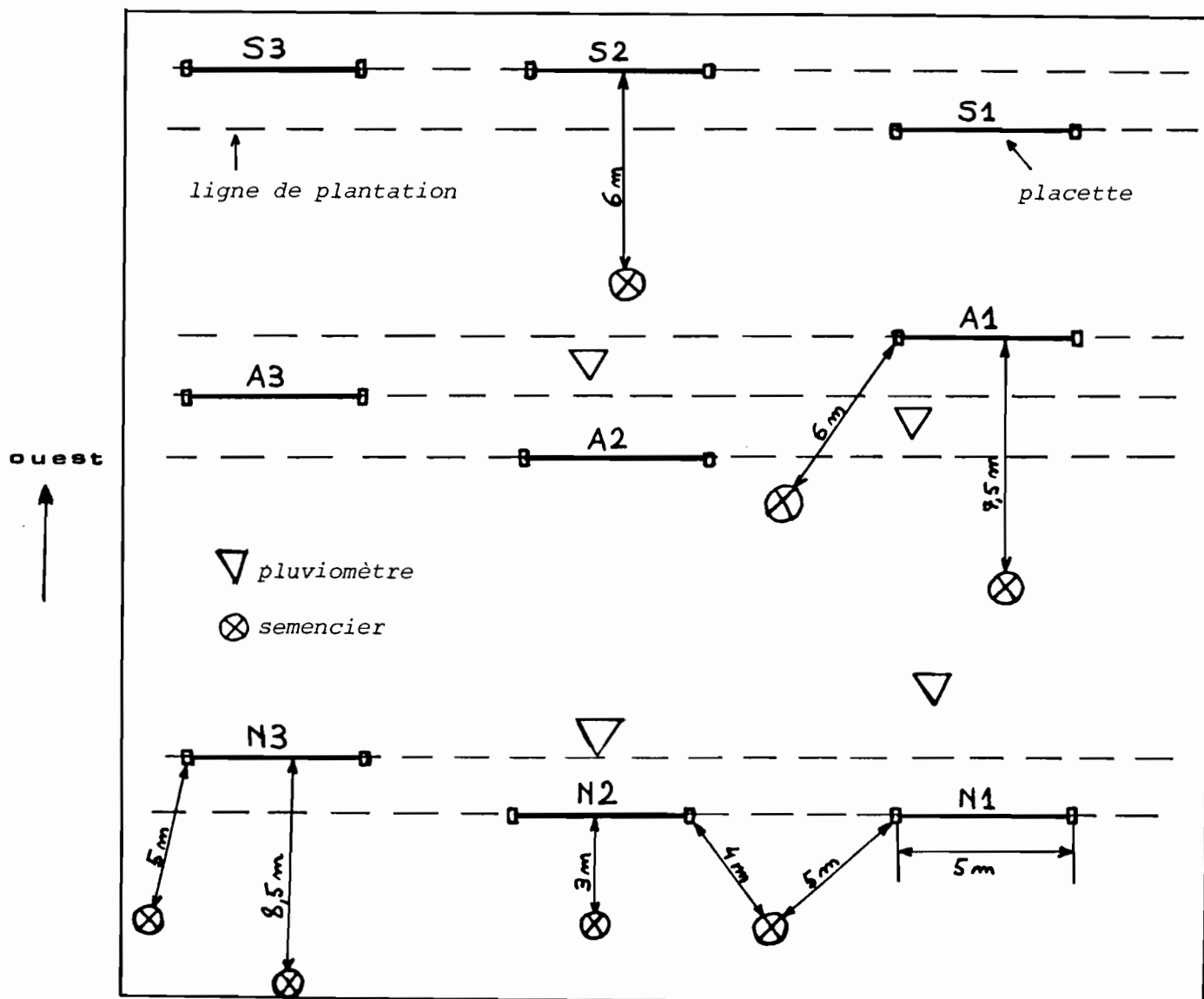


Figure 2 : Dispositif expérimental sur la parcelle 329 de la forêt de Fontainebleau et emplacement des placettes d'études, des pluviomètres et des arbres (80 - 100 ans).

### 3 - MESURES ET ANALYSE DES DONNEES ABIOTIQUES

Les mesures réalisées sur la surface expérimentale de la parcelle 329 ont porté sur les facteurs abiotiques :

- luminosité,
- pluviométrie,
- température de l'air et du sol ;

sur le facteur sol :

- teneur en azote et en eau,
- composition chimique et rapport C/N ;

sur le facteur croissance :

- hauteur des tiges des plantules,
- longueur et largeur des feuilles.

#### 3 - 1 Durée et Périodicité

L'essentiel des mesures a été réalisé sur la période végétative de l'année 1982 : Avril à Septembre avec un relevé des densités de plantules par parcelle sur l'année 1983.

Le relevé des pluviomètres et les prélèvements d'échantillons de sol ont été faits une fois par semaine, celui de la luminosité, des températures et des mesures de croissance, environ trois fois par semaine.



### 3 - 2 Les Données Climatiques

Localement, le climat est du type subocéanique séquanien avec une pluviosité supérieure à la moyenne (Lemée, 1978). Les figures 3 et 4 montrent respectivement l'état des précipitations en mm de pluie et des températures en degrés Celsius, pour la période allant de Mars 1982 à Septembre 1983. On notera que le début de la croissance des semis a été marqué par un très net déficit hydrique : moins de 10 mm de précipitations en Avril 1982 (tableau 4) et une humidité du sol de l'ordre de 12 % (Figure 8).

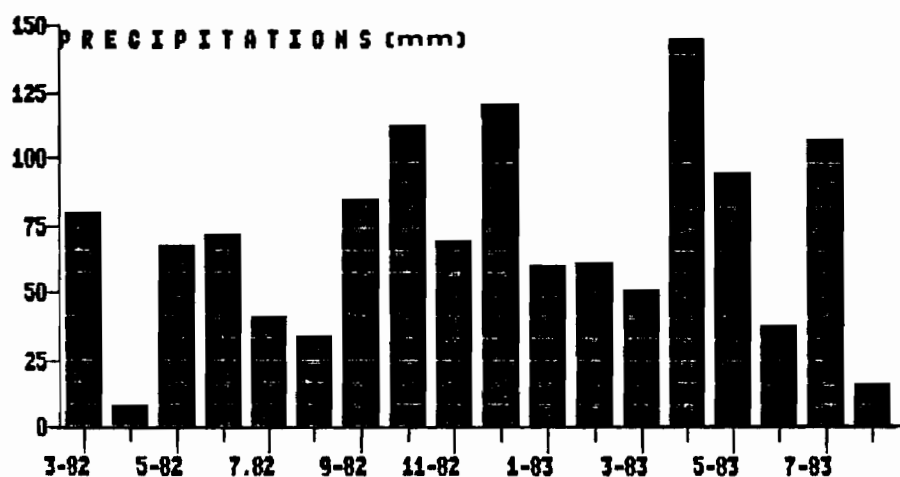


Figure 3 : Evolution des précipitations (mm) sur la parcelle 329.

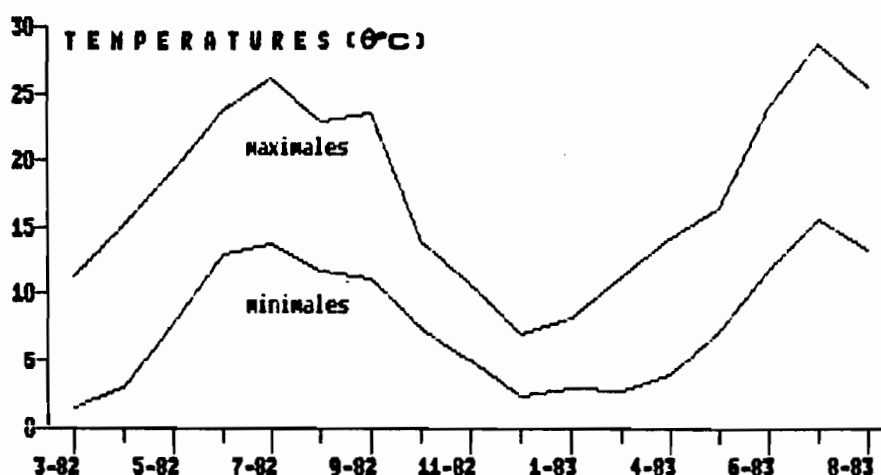


Figure 4 : Evolution des températures minimales et maximales sur la parcelle 329.

Année	1982											
Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Précip. ( mm )			79,7	8,7	67,8	72,4	40,9	34,3	85,0	113,2	70,1	121,2
θ°CMini			1,5	3,0	7,9	12,9	13,8	11,8	11,2	7,5	5,0	2,4
θ°CMaxi			11,3	15,2	19,3	23,8	26,3	22,9	23,5	13,9	10,7	7,0
Année	1983											
Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Précip. ( mm )	60,5	62,0	51,4	145,0	94,9	38,1	107,2	17,2				
θ°CMini	3,0	-0,9	2,8	4,0	7,3	11,8	15,6	13,3				
θ°CMaxi	8,3	5,4	11,4	14,1	16,4	24,0	28,8	25,7				

Tableau 4 : Total des précipitations et des températures moyennes, mini et maxi , de Mars 1982 à Août 1983.

### 3 - 3 Rayonnement solaire

La lumière solaire, par son action directe sur la photosynthèse et sur la croissance de la forêt, revêt un intérêt tout particulier. L'influence de l'éclairement sur la survie des semis de hêtre et de chêne, en Forêt de Fontainebleau, est soulignée par Lemée (1978) avec pour conséquence, à long terme, la substitution du hêtre essence d'ombre au chêne sessile dans les zones de régénération naturelle ( la Tillaie).

Afin de cerner au maximum les caractéristiques du rayonnement solaire sur le dispositif expérimental de semis en ligne de la parcelle 329, nous avons procédé à deux types de mesures.

#### a)- Rayonnement solaire moyen sur la période végétative de 1982

Les données ont été saisies avec un pyranomètre, qui est un tube en verre de 50 cm de long, renfermant des thermocouples en série dans le blanc et dans le noir.

Le pyranomètre relié à un Métrix mesure donc une différence de potentiel (d.d.p.), indépendante de la température. L'appareil a été étalonné de telle sorte qu'une d.d.p. de 22,5 mv corresponde à un rayonnement solaire de 950 w/m<sup>2</sup>.

L'analyse de variance (tableau 5) nous montre que les différences d'ensoleillement sont très significatives entre les placettes. La comparaison de la valeur  $F_{obs}$  avec les valeurs théoriques  $F_{0,95}$  et  $F_{0,999}$  :  $F_{0,95} = 2,00$  et  $F_{0,999} = 3,49$  conduit au rejet de l'hypothèse nulle, même au niveau 0,001.

On notera que l'éclairement n'est pas homogène au sein de chaque traitement puisque les placettes A1 et S2 ont un rayonnement solaire moyen qui ne diffère pas significativement (test de Newman et Keuls) de celui des témoins. Malgré tout, nous constatons que les semis témoins, qui restent en compétition avec les herbacées et les semenciers, reçoivent au sol seulement 48 % de la lumière disponible en coupe rase égale en moyenne à 474 v/m<sup>2</sup> et que les semis traités et soumis partiellement au recouvrement foliaire des semenciers reçoivent quant à eux 67 % de la lumière.

Variations	ddl	SCE	CM	Fobs					
Placettes	8	2467072	308384	8,686 **					
Jours	21	7506176	357436	10,067 **					
Interaction	168	5964768	35504						
Total	197	15938016							
Moyennes	N1	N2	N3	A1	A2	A3	S1	S2	S3
	200,5	214,2	265,1	324,9	479,9	485,5	450,6	310,6	480,3

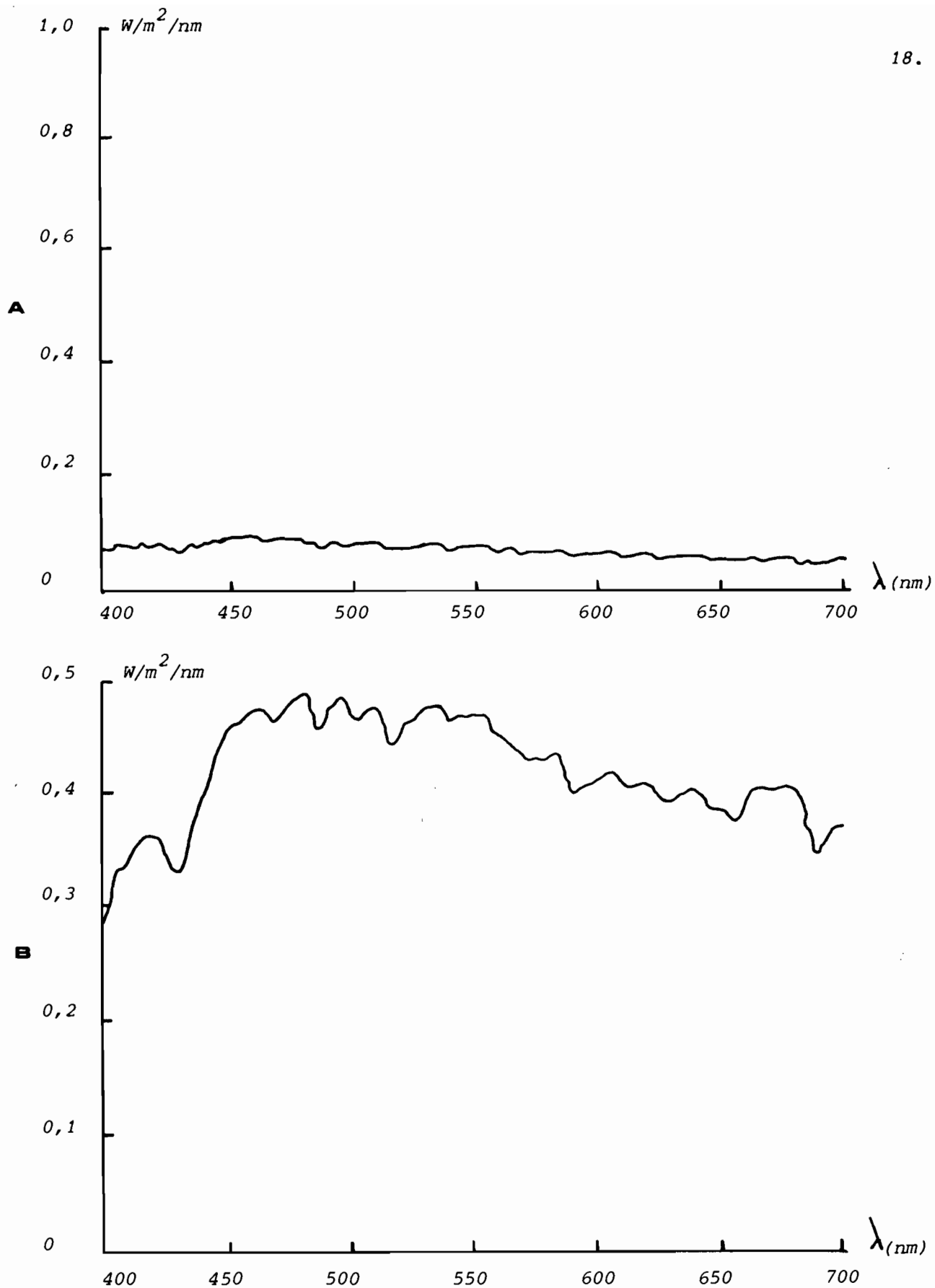
Tableau 5 : Analyse de variance sur les données  
du rayonnement solaire et moyennes observées

b) Distribution spectrale du rayonnement solaire  
sur le dispositif expérimental

Nous avons pu disposer très ponctuellement d'un spectroradiomètre sophistiqué assisté d'un micro-ordinateur incorporé (L I - 1800 "Portable Research Spectroradiometer"), qui permet de lire le spectre solaire de 300 à 1100 nm, à des intervalles de 1 nm.

Les figures 5 et 6 nous montrent différents types de spectre mesurés par une matinée ensoleillée avec un ciel clair où l'on notera le très net écrasement du spectre sous couvert (ligneux + herbacées : Figure 5 A) par rapport au spectre de la coupe rase (Fig 5 B). Les figures 6 A et 6 B sont des situations intermédiaires sous couvert partiel des semenciers. Le tableau 6 indique les valeurs extrêmes enregistrées dans les longueurs d'onde pour chaque cas de figure.

Les mesures photosynthétiques in situ, n'ayant pas pu être réalisées, nous signalerons simplement au vu de ces résultats que les rendements de la transmission de l'énergie lumineuse, de la chlorophylle b (absorption à 480 nm) vers la chlorophylle a (siège des complexes photosynthétiques P 680 et P 700) semble meilleur dans le cas de coupe rase et de demi-découvert (placette S1).



**Figure 5** Distribution spectrale du rayonnement solaire total  
à 11 heures le 16 Août, par temps ensoleillé.

**A** = surface couverte (grands arbres)

**B** = surface découverte.

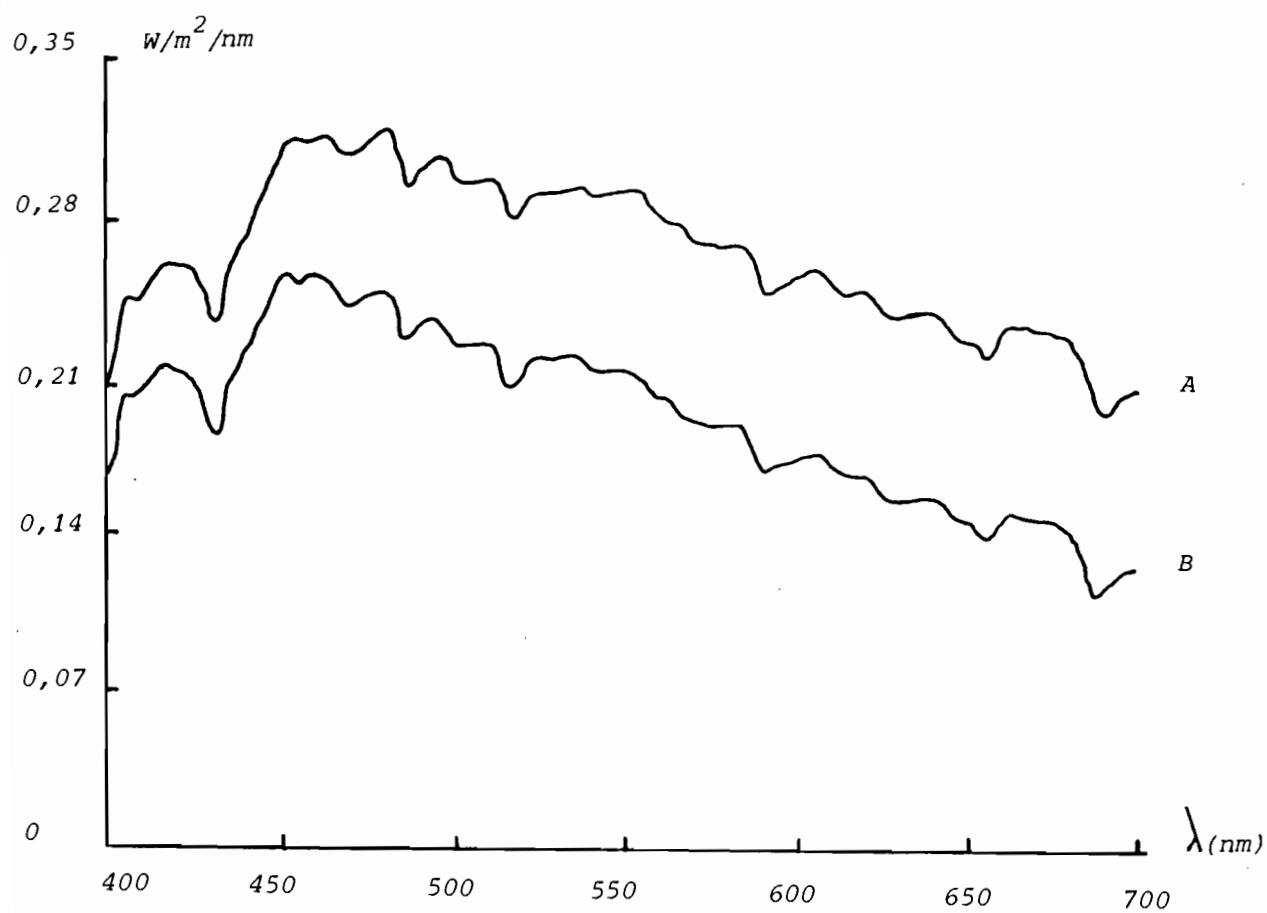


Figure 6 Distribution spectrale du rayonnement solaire total  
à 11 heures 10, le 16 Août, par temps ensoleillé.

A = placette S1

B = placette A2.

		longueur d'onde : $\lambda$	énergie par $\lambda$	énergie spectrale $\text{J} \cdot \text{e}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$
Sous couvert	Mini	690 nm	0,0428	95,5
	Maxi	452 nm	0,0927	
Découvert	Mini	400 nm	0,2907	583,2
	Maxi	481 nm	0,4924	
Semi-découvert : S1	Mini	690 nm	0,1928	362,4
	Maxi	481 nm	0,3199	
Semi-découvert : A2	Mini	690 nm	0,1315	271,0
	Maxi	451 nm	0,2552	

Tableau 6 : Extrema dans les longueurs d'onde  
du rayonnement solaire par temps clair et ensoleillé

3 - 4 Les données du sol

3 - 4 - 1 Azote

A doses normales, les herbicides sont sans action sur la microflore tellurique, à l'exception des bactéries nitrifiantes, des Azotobacter et de certaines races de Rhizobium qui peuvent être inhibés par certains composés.



Nous avons procédé à des prélèvements mensuels (Avril-Juillet 1982) de sol à l'aide d'un emporte-pièce de 5 cm de diamètre et de 9 cm de long, soit un volume de 177 cm<sup>3</sup> environ. Les prélèvements, au nombre de six sur la zone traitée (simazine et atrazine) ainsi que sur la zone naturelle (témoins) ont toujours été effectués sur l'horizon A1 et la partie supérieure de l'horizon Bh ; ces horizons couvrent normalement une bonne partie de l'enracinement de la première année de Quercus sessiliflora.

L'analyse de variance entre les traitements ne met pas en évidence de différences significatives entre les taux d'azote, bien qu'ils soient plus faibles en zone traitée qu'en zone témoin.

La figure 7 et le tableau 7 montrent que les taux d'azote des deux zones suivent une évolution sensiblement parallèle d'Avril à Juin et qu'à partir de Juillet, le taux moyen de la zone traitée a tendance à rattraper celui de la zone témoin.

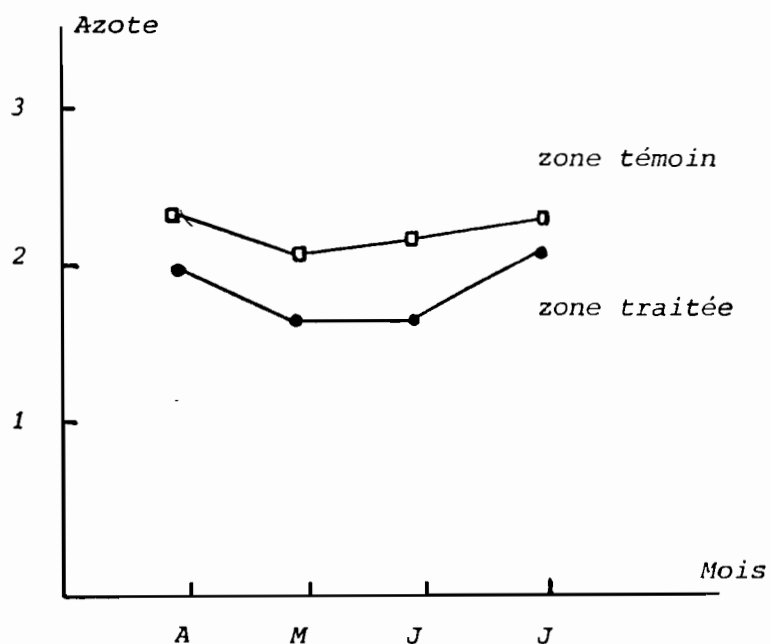


Figure 7 : Evolution du taux d'azote moyen du sol (9cm)  
sur l'aire d'étude de la parcelle 329.

Zones	Avril	Mai	Juin	Juillet
Témoins	2,380 ± 0,550 *	2,113 ± 0,353	2,186 ± 0,380	2,241 ± 0,378
Traités	2,003 ± 0,315	1,721 ± 0,0223	1,718 ± 0,206	2,126 ± 0,466

Tableau 7 : Taux d'azote moyen mensuel du sol de la parcelle 329.

\* Intervalle de confiance à 95 %

### 3 - 4 - 2 Teneur en eau

La teneur en eau moyenne ou humidité du sol, exprimée en pourcentage de la masse de sol sec, est représentée sur la figure 8, pour une période allant du 22 Avril 1982 au 11 Septembre 1982. Dix carottages du sol sur 9cm de profondeur ont été réalisés une fois par semaine sur chacune des zones : traitée et témoin (Tableau 8). La teneur en eau est exprimée par 
$$TE = \frac{PF - PS}{PS} \times 100$$
 où PF = Poids frais, PS = Poids sec.

L'évolution de la teneur en eau marque des différences significatives au seuil de 1 % , pour les prélèvements du 6 Mai, 20 Mai, et 3 Juin. La différence est due à une évaporation plus intense sur les sols traités aux herbicides que sur les sols témoins où la végétation herbacée est au début de sa croissance. On notera que pour le début de la période végétative, la teneur en eau des témoins rejoint celle des traités après 4 jours sans précipitations.

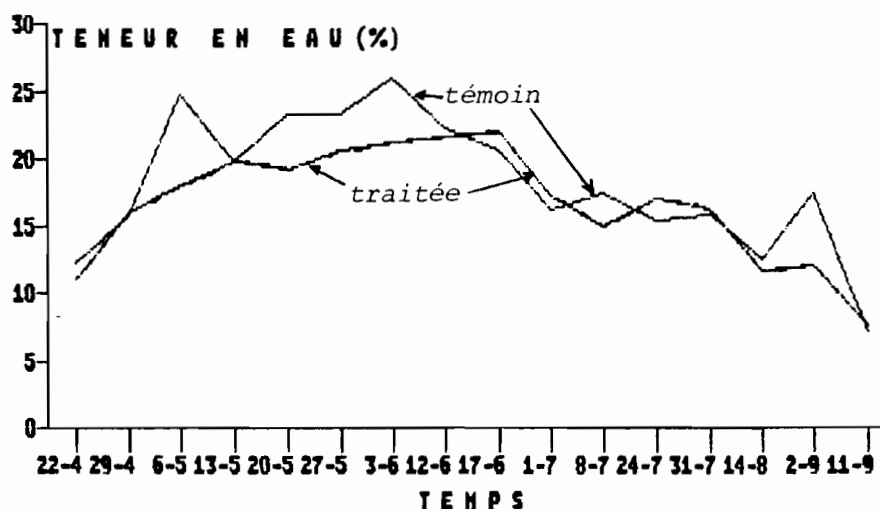


Figure 8 : Evolution de la teneur en eau du sol de la Parcelle 329 dans les horizons supérieurs en zone traitée et témoin

Dates	zone témoin	zone traitée
22 - 4	12,278 ± 1,135 *	11,059 ± 0,707
29 - 4	15,720 ± 1,685	16,090 ± 0,921
6 - 5	24,893 ± 2,029	17,960 ± 1,319
13 - 5	19,930 ± 1,980	19,800 ± 2,031
20 - 5	23,377 ± 1,824	19,310 ± 1,001
27 - 5	23,374 ± 2,660	20,750 ± 2,126
3 - 6	26,091 ± 2,847	21,417 ± 1,588
12 - 6	22,432 ± 2,836	21,707 ± 1,932
17 - 6	20,670 ± 2,500	22,190 ± 2,284
1 - 7	16,297 ± 1,972	17,319 ± 1,053
8 - 7	17,352 ± 1,556	15,002 ± 1,566
24 - 7	15,459 ± 2,180	17,083 ± 2,653
31 - 7	15,780 ± 1,964	16,213 ± 1,957
14 - 8	12,486 ± 1,204	11,659 ± 1,738
2 - 9	17,461 ± 1,232	12,238 ± 1,070
11 - 9	7,329 ± 0,564	7,698 ± 1,095

Tableau 8 Teneur en eau moyenne du sol de la parcelle 329.

\* Intervalle de confiance à 95 %.

Après le 12 Juin on ne trouve plus de différence significative, car les plantes herbacées assurent pratiquement à elles seules, toutes l'évapotranspiration des sols témoins. Il faut attendre le 2 Septembre pour retrouver une différence significative de la teneur en eau au seuil de 1 %, à un moment où le recouvrement foliaire des plantes herbacées, en fin de période végétative est maximum (100 %) et diminue par conséquent l'évaporation des sols. Il apparaît donc que les variations hydriques des couches supérieures du sol sont plus importants sur sol nu que sur sol couvert de graminées où celles-ci jouent inconstamment un rôle de tampon (Fardjah, 1978).

### 3 - 4 - 3 Température du sol

Le régime thermique du sol est d'une grande importance écologique par son contrôle sur l'activité des micro-organismes et sur la croissance de l'activité physiologique des racines (Lemée, 1978). Champagnat et Lamond (1980) montrent que chez Quercus pedunculata, on obtient des plantes vigoureuses à racines puissantes lorsque celles-ci se sont développées à 15°C. et les tiges à 22 °C, soit une température du sol égale à 68 % de celle de l'air.

Les mesures effectuées sur le terrain d'étude, à l'aide du thermomètre à sonde (Novo), sur une profondeur de 10 cm à partir

de la surface du sol, montrent que la température des sols nus où la diffusivité thermique est la plus importante (sols sableux) est en moyenne égale à 90 % de la température de l'air, alors que pour les témoins elle est de 74 % , par temps ensoleillé.

D'autre part, la température du sol en surface est directement proportionnelle au rayonnement solaire mesuré au-dessous du couvert végétal (Bellefleur et Larocque, 1983a).

Une analyse de variance (Tableau 9) , sur la période de Mai à Septembre, met en évidence des différences significatives de la température du sol entre les placettes.

Les figures 9 et 10 où sont repris à chaque fois les témoins, montrent le net détachement des placettes traitées (températures moyennes comprises entre 19,60 °C et 22,47 °C) par rapport aux non traitées, et surtout pour les placettes A2, A3, S2 et S3 qui sont les plus exposées. Il apparaît donc que la parcelle la plus "chaude" est la "simazine" , suivie par "l'atrazine" et les témoins. Globalement la différence des températures entre le témoin et les traitées est supérieure à 2 °C; avec 2,20 °C entre l'atrazine et le témoin et 2,71 °C entre la simazine et le témoin.

Variations	ddl			SCE	CM	F			
Traitements	8			266,96	33,37	5,572 **			
Résiduelle	126			754,61	5,99				
Total	134			1021,57					
Placettes	N1	N2	N3	A1	A2	A3	S1	S2	S3
Moyennes	19,09	18,48	18,91	19,60	21,21	22,25	21,46	20,67	22,47

Tableau 9 : Analyse de la variance sur les températures du sol  
entre les différents traitements.

Moyennes observées par placettes.

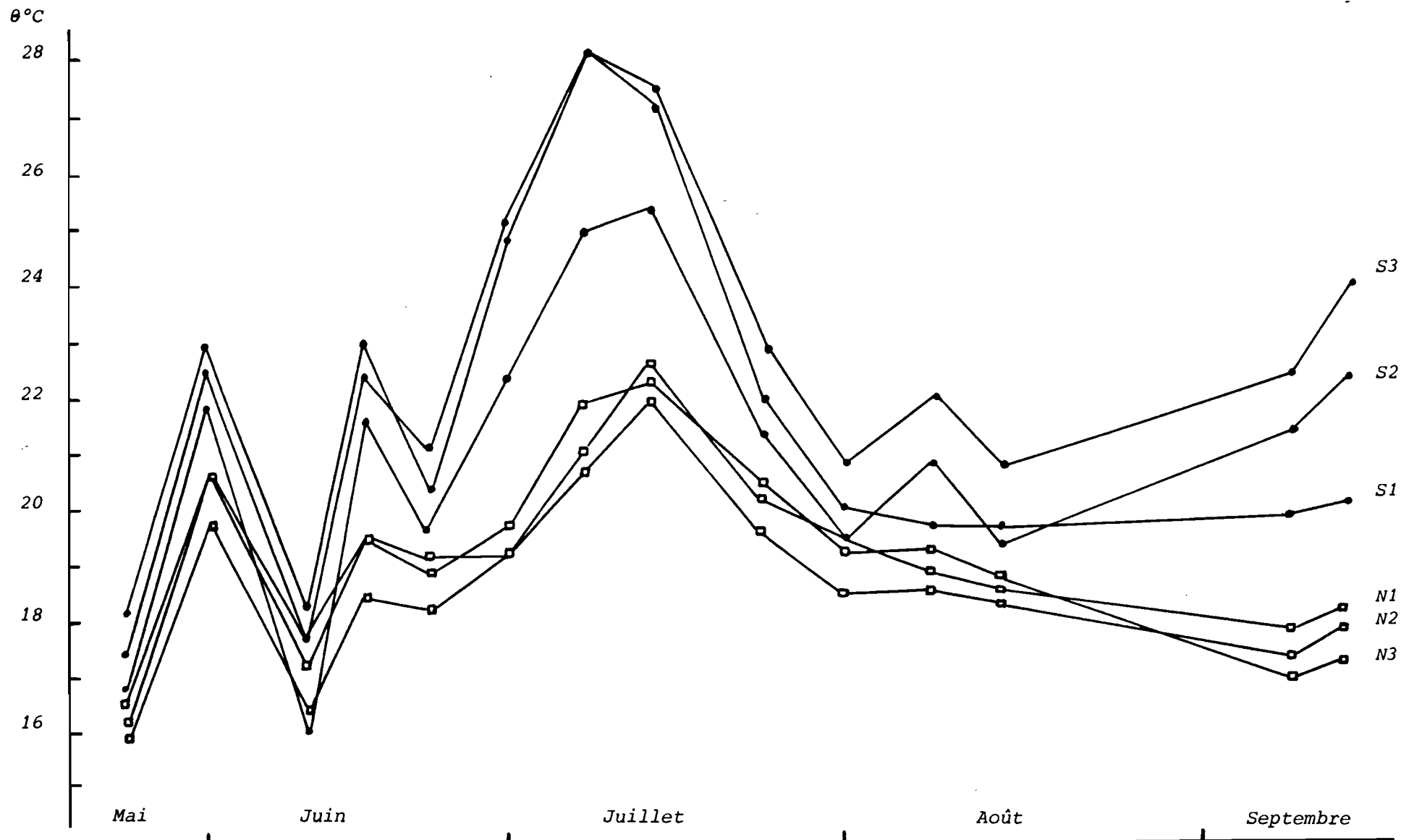


Figure 9 : Evolution de la température du sol pour les placettes traitées (S1, S2, S3) à la simazine et les témoins (N1, N2, N3).



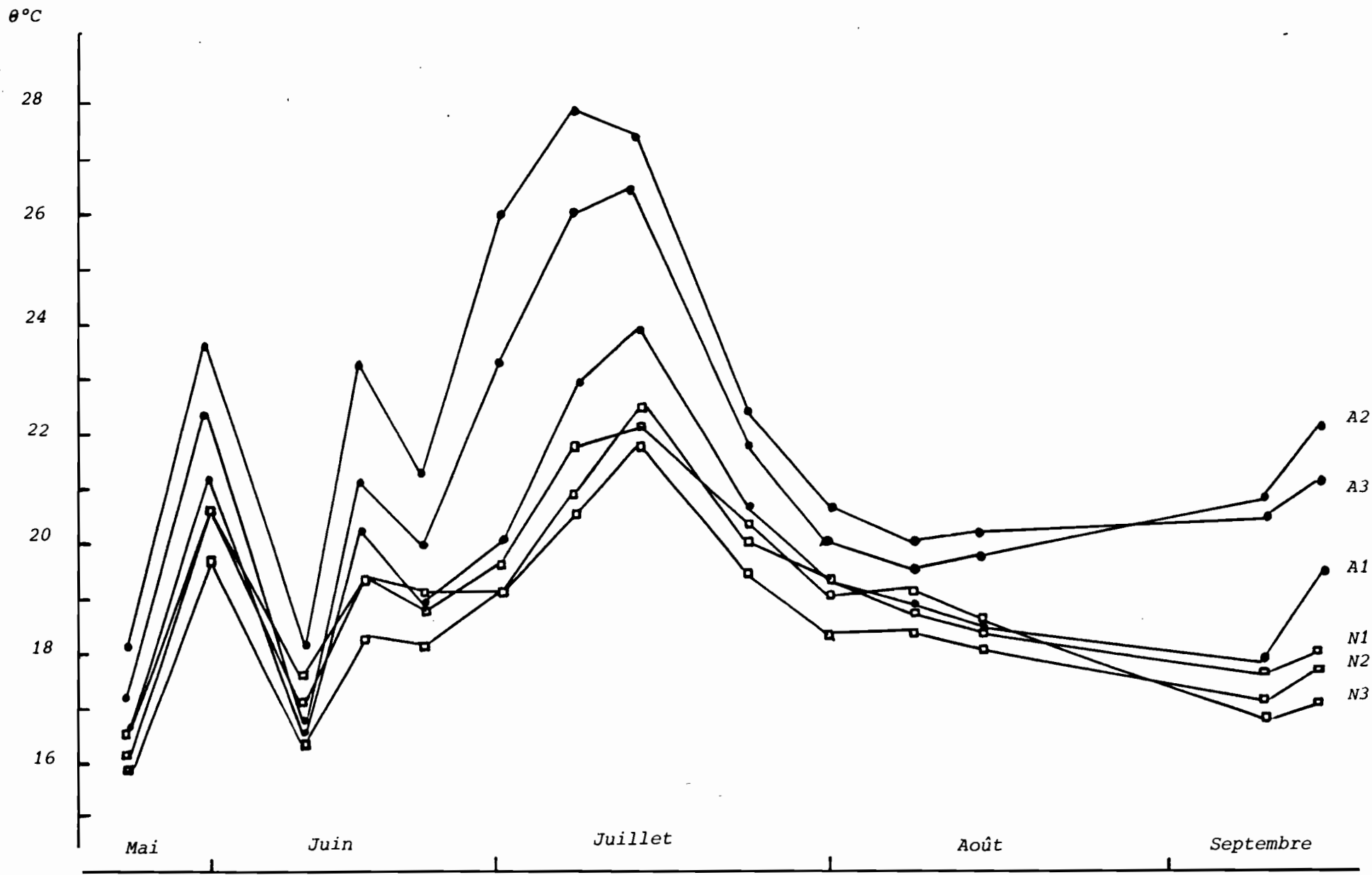


Figure 10 : Evolution de la température du sol pour les traitées (A1, A2, A3) à l'atrazine et les placettes témoins (N1, N2, N3).

4 - MESURES ET ANALYSE DES RESULTATS SUR QUERCUS SESSILIFLORA SALISB.4 - 1 Germination sur l'année végétative 1982

Le recensement des plantules sur la totalité du dispositif expérimental a été réalisé sur la période d'Avril à Septembre 1982 (Figure 11). La prise en compte des effectifs a été faite, au moment de l'apparition de la gemmule (environ 1 cm hors du sol). On observera des gemmules jusqu'à la fin du mois de Septembre (Tableau 10). L'inhibition tégumentaire paraît être à l'origine de l'irrégularité de la germination, certains glands ayant eu plus de difficultés que d'autres à surmonter l'imperméabilisation de la membrane entourant l'embryon où une pression insuffisante de la radicule sur le micropyle peut empêcher la reprise d'eau par l'embryon. (Champagnat et Lamond, 1980).

	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Total
N	4	13	8	2	1	2	30
A	0	22	13	45	2	1	43
S	0	13	14	4	2	2	35
Totaux	4	48	35	11	5	5	108

Tableau 10 : Effectifs des plantules par traitement

Afin de déterminer s'il existait une liaison entre le mois et le traitement, nous avons procédé à une analyse avec regroupement (tableau 11).

	Avril - Mai	Juin	Juillet - Septembre	$\Sigma$
N	17 (14,44)*	8 (9,72)	5 (5,83)	30
A	22 (20,70)	13 (13,93)	8 (8,36)	43
S	13 (16,85)	14 (11,34)	8 (6,80)	35
$\Sigma$	52	35	21	108

Tableau 11 : Germination 1982 - Table de contingence

\* effectif calculé.

La valeur du  $\chi^2$  (2,75 avec 4 ddl) ne permet pas de mettre en évidence une liaison significative.

On notera malgré tout que 48 % des germinations avec apparition de gemmule, se sont faites en Mai et que le retard observé en Avril est vraisemblablement dû au déficit hydrique et à des températures journalières moyennes inférieures à 12° C , conditions incompatibles avec la croissance de la racicule et de la gemmule.



Figure 11 : Recensement mensuel des germinations sur la période végétative de 1982.

4 - 2 Evolution de la population des plantules de 1982 à 1983

Le tableau 12 exprime l'évolution des effectifs jusqu'en Septembre 1983, donc jusqu'à la fin de la 2<sup>ème</sup> année de végétation. La première colonne rappelle, le nombre de plantules effectivement recensé pendant la première année.

	Effectif total 82	Effectif Sept. 82	Effectif Sept 83
N1	11	8 ( -3)	3 ( -5)
N2	10	8 ( -2)	6 ( -2)
N3	9	9	7 ( -2)
Sous-total	30	25 ( -5)	16 ( -9)
A1	13	10 ( -3)	8 ( -2)
A2	22	19 ( -3)	12 ( -7)
A3	8	5 ( -3)	2 ( -3)
Sous-total	43	34 ( -9)	22 ( -12)
S1	17	17	17
S2	10	10	10
S3	8	8	5 ( -3)
Sous-total	35	35	32 ( -3)
Totaux	108	94 ( -14)	70 ( -24)

Tableau 12 : Population des semis entre Sept.1982 et Sept. 1983

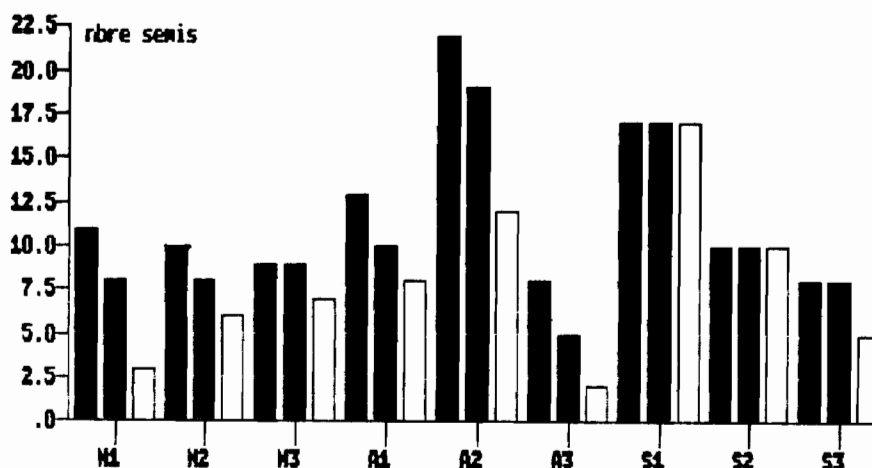


Figure 12 Evolution du nombre de semis de 1982 à 1983

Sur la figure 12, de gauche à droite et pour chaque placette

(N1 à S3), nous avons :

- l'effectif total 1982,
- l'effectif Septembre 1982,
- l'effectif Septembre 1983.

Les données du tableau 12 et sa représentation graphique (figure 12) montrent une nette différence entre le traitement à la simazine et les deux autres (témoins et atrazine) quant à la survie des plantules. En effet, à la fin de la 2<sup>ème</sup> année de végétation, l'ensemble des témoins a perdu 46 % de ses effectifs, les traités à l'atrazine : 48 % et les traités à la simazine 8 %. Cette dernière perte étant d'ailleurs imputable à la seule placette S3, dont les conditions d'ensoleillement et de température sont très proche des placettes A2 et A3 où les pertes restent élevées (45 % et 75 %).

Les causes de mortalité ne sont pas immédiatement identifiables, mais on peut malgré tout avancer que les pertes observées chez les témoins sont dues en grande partie à la compétition exercée par les herbacées et les arbres adultes (à moins de 5 m de N1 et de N2) ; compétition s'exerçant à la fois pour l'eau et la lumière.

Les travaux de Bellefleur et Larocque (1983b), sur la croissance d'espèces ligneuses en milieu ouvert et sous couvert forestier, montrent l'importance de l'effet d'ombre sur la croissance et la survie des semis. Par contre les fortes diminutions de densité observées sur les placettes A2 et A3 (ensoleillement maximum et absence totale de tout compétiteur herbacé ou ligneux) nous conduit à d'autres réflexions au sujet de cette espèce dite de lumière. Il apparaît qu'au delà d'un certain seuil d'intensité lumineuse, le développement des semis au cours des 2 et 3 premières années peut être fortement compromis. Les placettes S1 et S2 qui bénéficient de l'effet d'ombre des grands arbres pendant quelques heures de la journée, n'ont subi aucune perte.

4 - 3 Démographie sur la population des feuilles : 1982

Le calcul des naissances (B) et des décès (D) par type de traitement a été réalisé d'après un comptage mensuel des feuilles pour la période de Mai à Septembre 1982. (Tableau 13).

	Mai	Juin			Juillet			Août			Septembre		
	N <sub>t</sub>	N <sub>t+1</sub>	B	D	N <sub>t+2</sub>	B	D	N <sub>t+3</sub>	B	D	N <sub>t+4</sub>	B	D
N	43	119	76	0	138	19	0	128	0	10	81	0	47
A	43	243	200	0	347	104	0	384	37	0	182	0	202
S	37	198	161	0	417	219	0	469	52	0	217	0	252
Σ	123	560	437	0	902	342	0	981	89	10	480	0	501

Tableau 13 : Naissances et Décès sur la population des feuilles : témoins (N) et traités (A et S)

Ces résultats nous conduisent à exprimer le taux de natalité (Na) et le taux de mortalité (M) par type de traitement.

(Tableau 14).

$$N_a = \frac{\sum B}{(\sum N_t + \sum N_{t+1}) \cdot 0.5}$$

$$M = \frac{\sum D}{(\sum N_t + \sum N_{t+1}) \cdot 0.5}$$

		Mai - Juin	J - Juillet	J - Août	A - Septembre
N	Na	0,938	0,147	0	0
	M	0	0	0,075	0,449
A	Na	1,398	0,352	0,101	0
	M	0	0	0	0,713
S	Na	1,370	0,712	0,117	0
	M	0	0	0	0,734

Tableau 14 : Taux de natalité et de mortalité des feuilles  
par type de traitement

L'examen des tableaux 13 et 14 fait apparaître que les semis traités ont un taux de production foliaire supérieur aux témoins = 1,5 fois pour les périodes de Mai - Juin et de Juillet - Août et plus de 2 fois pour la période de Juin - Juillet. On notera également que la production foliaire est soutenue chez les traités jusqu'au mois d'Août, alors que chez les témoins, elle s'arrête dès le début Juillet. Par ailleurs les semis traités à la simazine présentent un taux de natalité 2 fois supérieur à celui des traités à l'atrazine au cours de la 2<sup>ème</sup> période (J - Juillet).



Nous avons donc chez les semis traités, une reprise de l'organogenèse apicale plus soutenue, avec notamment une pousse de la St. Jean, suivie par une pousse à la fin Juillet et pour certaines des plantules, une pousse en Août. Ces reprises de croissance se traduisent par un plus grand nombre de feuilles et par conséquent une augmentation de la surface foliaire totale et un accroissement de la capacité photosynthétique totale. Les conditions créées par les traitements chimiques favorisent ainsi un regain de l'activité organogène des points végétatifs, ceux-ci étant surtout axillaires avec un nombre moyen de feuilles par semis environ 2 fois plus élevé chez les traités que chez les témoins pour les mois de Juillet et Août (Figure 13).

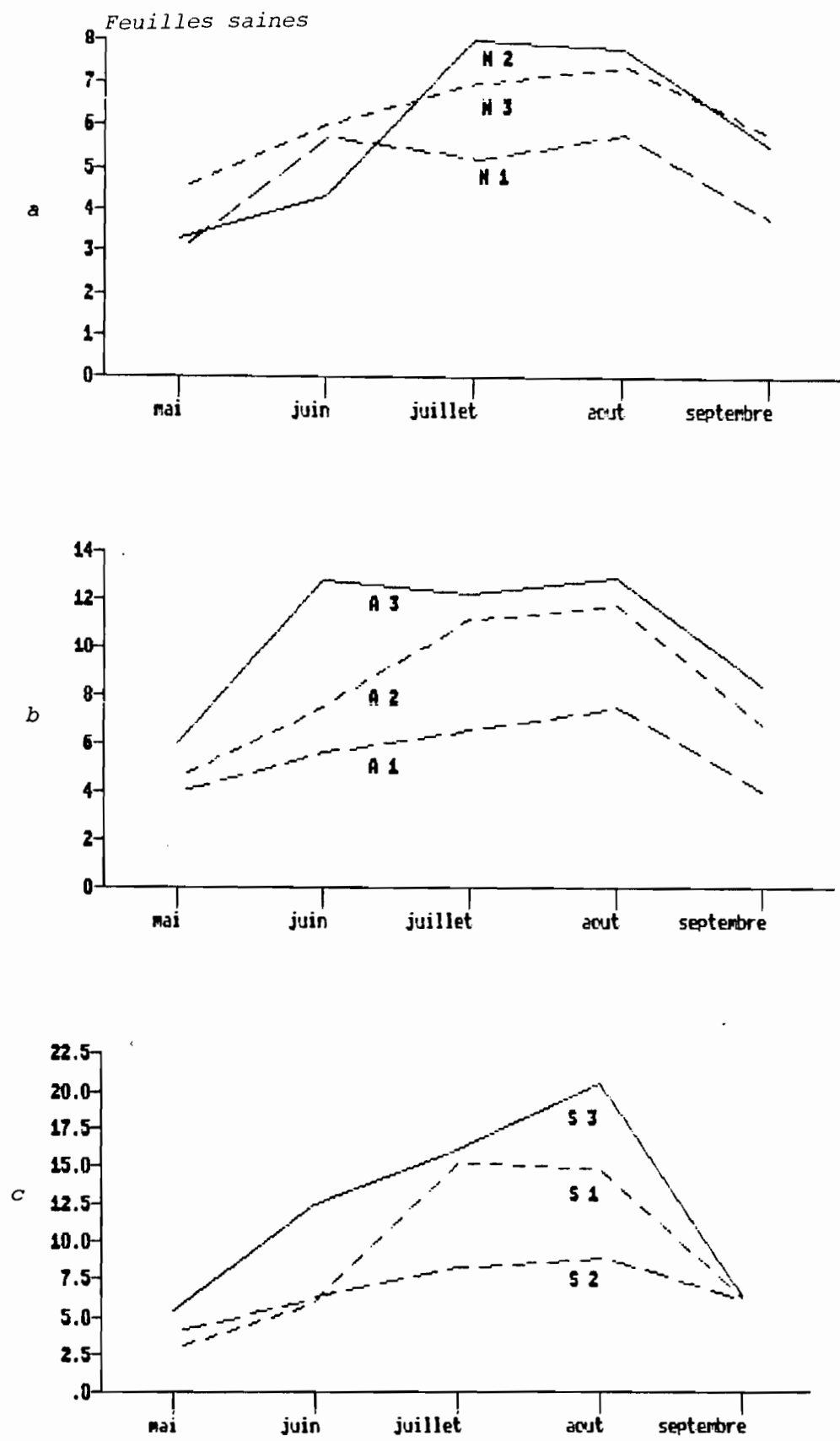


Figure 13 Evolution du nombre moyen de feuilles saines

par plantule :

non traitée, (a) ; atrazine, (b) ; simazine, (c).

#### 4 - 4 Photosynthèse

La photosynthèse est un des processus physiologiques qui conditionne la croissance des plantes. Dans le cas des plantes de soleil, la photosynthèse nette augmente avec l'éclairement, nous avons donc cherché à estimer la potentialité photosynthétique des feuilles de Quercus sessiliflora, au début de la croissance du semis (premier "flush"), à différentes intensités lumineuses, exprimées en  $\mu\text{e m}^{-2} \text{sec}^{-1}$  et à 2 stades de croissance de la feuille : feuille jeune (entre 4 et 7 jours) et feuille âgée (20 jours et plus).

La mesure des échanges gazeux a été faite avec un analyseur à rayonnement infra-rouge, type ANIR 11 de Schlumberger - France, fonctionnant en circuit fermé.

##### a) Conditions de l'expérience avec l'analyseur en absolue :

- l'étalonnage des appareils (en ppm) est faite, pour le zéro de l'analyseur absolue, avec l'azote ;
- les feuilles de chêne au nombre de 4 ou 5, sont prélevées près de l'apex, sur des semis provenant de la glandée de 1982, sur la parcelle 329 et plantés dans les serres (1);
- les feuilles sont mises à flotter dans une enceinte en plexiglas, remplie à moitié d'eau ;
- la température de l'enceinte est maintenue constante (26°C) par circulation d'eau thermostatée, passant dans une

(1) Laboratoire de Biologie Végétale et d'Ecologie Forestière  
de Fontainebleau - Avon.

chemise entourant l'enceinte ; la température a été choisie d'après des mesures effectuées par Hinckley et al. (1978) sur des feuilles de Quercus velutina Lam., Quercus alba L. , et Quercus rubra L. ;

- les feuilles sont soumises à différentes intensités lumineuses (200 à 900  $\mu\text{e m}^{-2} \text{sec}^{-1}$ ), pendant une durée totale de 2 heures (14 h à 16h) ;
- le volume de l'air dans l'analyseur en absolue est de 2 litres.

#### b Résultats et discussions

Les mesures de photosynthèse nette, en fonction de l'éclairement, sont exprimées par unité de surface foliaire pour les deux types de feuille (Tableau 15).

Eclairement en $\mu\text{e m}^{-2} \text{sec}^{-1}$	Photosynthèse nette en $\text{mg dm}^{-2} \text{h}^{-1}$	
	feuille jeune	feuille âgée
200	6,80	2,60
300	8,22	3,23
416	8,57	4,02
509	7,71	4,02
600	7,56	4,30
693	7,86	4,26
900	7,86	4,27

Tableau 15 : Photosynthèse nette en fonction de l'éclairement

Nous constatons d'après la figure 14 que la photosynthèse décroît chez les feuilles jeunes à partir d'un éclairement supérieur à  $415 \mu\text{e m}^{-2} \text{sec}^{-1}$  et remonte légèrement au-dessus de  $600 \mu\text{e m}^{-2} \text{sec}^{-1}$  pour atteindre un plateau de saturation. Ces observations coïncident avec les études de Hinckley et al., sur le chêne rouge et le chêne blanc où la photosynthèse nette chute d'une unité pour des intensités lumineuses supérieures à  $400 \mu\text{e m}^{-2} \text{sec}^{-1}$  alors qu'elle est croissante pour le chêne noir, qui atteint son plateau de saturation à partir de  $600 \mu\text{e m}^{-2} \text{sec}^{-1}$ .

La photosynthèse nette des feuilles âgées est croissante jusqu'à  $600 \mu\text{e m}^{-2} \text{sec}^{-1}$  après passage d'un palier entre  $415$  et  $508 \mu\text{e m}^{-2} \text{sec}^{-1}$ . Les valeurs observées sur les feuilles âgées correspondent là aussi à des mesures faites par Ducrey (1981), sur des rameaux de Quercus sessiliflora, prélevés à une hauteur de 19,80 mètres.

D'autre part, des coefficients (0,77 pour les feuilles de pleine lumière et de demi-ombre et 0,59 pour les feuilles d'ombre) calculés par la méthode d'estimation écophysiological de Czarnowski (1974 et 1975), permettent d'estimer pour Quercus robur L., la photosynthèse nette des feuilles in situ à partir de mesures effectuées par un analyseur.

La photosynthèse des feuilles jeunes est environ deux fois plus élevée que celle des feuilles âgées. Cette différence peut s'expliquer par la baisse de l'activité de la RuBP carboxylase, enzyme catalyseur de la réaction de fixation du CO<sub>2</sub>, en fonction de l'âge de la feuille. Kpavodé (1982), a ainsi mesuré une

baisse de l'activité de cet enzyme, lorsque le rang foliaire du palmier à huile va en diminuant à partir de l'apex.

L'intensité de la photosynthèse nette apparaît donc, au premier stade de végétation de Quercus sessiliflora, comme inversement proportionnelle à l'âge de la feuille et plus directement sensible à l'état du spectre lumineux lié aux différents éclairagements (tableau 6), lorsque les tissus foliaires sont à un stade de développement précoce que dans le cas des feuilles âgées.

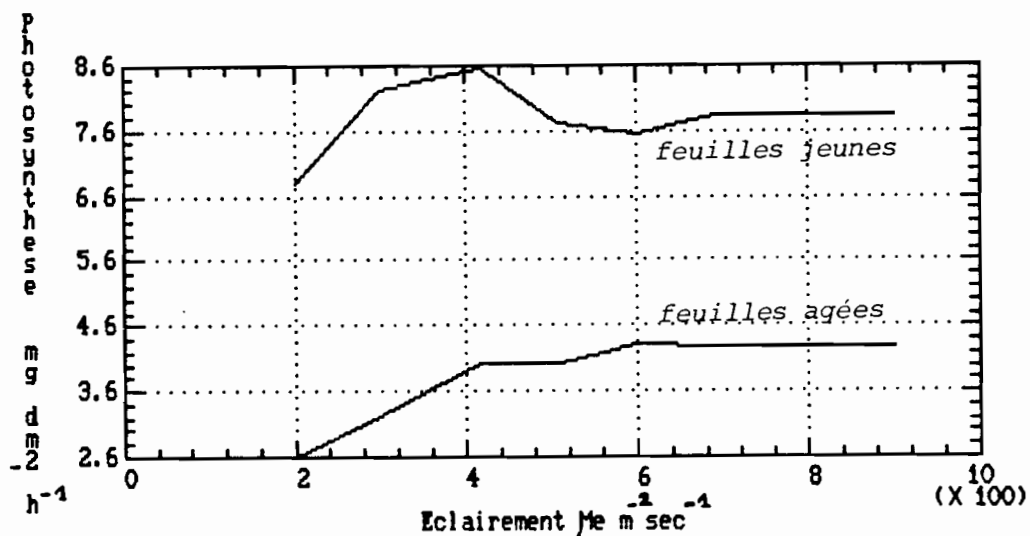


Figure 14 : Photosynthèse nette de feuilles jeunes et âgées  
en fonction de l'éclairement

4 - 5 Analyse statistique sur les accroissements des tiges

A partir du dispositif expérimental (blocs aléatoires complets) de la parcelle 329, et des mesures faites sur les hauteurs de tige durant la période végétative, nous avons cherché s'il existait une différence d'accroissement d'après le traitement. L'analyse de ces données porte donc sur une analyse de variance à trois critères de classification avec répétition des mesures (Winer, 1971).

Les trois critères fixes retenus sont : le traitement T, la placette P, le temps t. Le nombre de répétitions présents dans chaque placette est égal au nombre de plantules repertoriées : p (Tableau 16).

			t	t
			1	j
T	1	P	X	X
		1	1111	111j
		.	X	
	.	2	1121	
	.	.	.	
	.	.	.	
	.	P	X	X
	.	1	1111	111j
	.	.		
	.	P	X	X
3	P	1	1311	131j
		.	.	
		.	.	
	.	P	X	X
	.	1	1311	131j
	.	.		
3	P	1	X	X
		.	3311	331j
	1	.	.	
		P	X	X
	1	3311	331j	

Tableau 15 : Présentation des données

x : mesure de l'accroissement ( $\Delta l$ ), exprimé en cm.

Sources des variations	SCE	ddl	Variance	F	Signif.
Inter - plantules	44,034	74			
Traitements : T	0,722	2	0,361	<1	
Placettes : P	0,649	2	0,324	<1	
Interaction : P x T	1,078	4	0,269	<1	
Erreur (entre)	41,585	66	0,630		
Intra plantules	596,798	1575			
Temps : t	37,315	21	1,777	4,842	**
Interaction : T x t	10,935	42	0,260	<1	
Interaction : P x t	13,640	42	0,325	<1	
Interaction : T x P x t	25,164	84	0,340	<1	
Résiduelle	509,744	1386			

Tableau 17 : Résumé de l'analyse de variance

Les résultats de l'analyse de variance (tableau 17) ne mettent pas en évidence une différence significative de l'accroissement des tiges en fonction du type de traitement chimique.



#### 4 - 6 Etudes de régressions sur les mesures foliaires

Ces études ont permis d'établir quelques équations qui traduisent les relations existantes entre les éléments suivants :

- a - la surface planimétrique et la longueur (L);
- b - la surface planimétrique et la largeur (l);
- c - le poids sec foliaire et la longueur;
- d - le poids sec foliaire et la largeur.
- e - la surface planimétrique avec L et l;
- f - le poids sec foliaire avec L et l;

L'intérêt de ces relations est de pouvoir procéder à des estimations de la production foliaire, à des calculs de ratio ou de surface spécifique foliaire, sans avoir à détruire le matériel étudié par des prélèvements, simplement à partir de mesures rapides telles que la longueur et la largeur ( la plus grande mesurable pour Quercus sessiliflora).

Dans chacun des cas étudiés, les échantillons foliaires ont été recueillis sur la surface expérimentale, au hasard, en dehors des placettes d'études. Les surfaces étaient mesurées avec un planimètre à traceur optique et les poids secs, après passage à l'étuve à 100 °C pendant 72 heures, étaient mesurés sur une balance de précision<sup>-5</sup> (10 g). Les mesures ont porté sur un effectif total de 103 feuilles.

Pour les différentes régressions étudiées on appellera :

S : la surface planimétrique;

PS : le poids sec;

L : la longueur foliaire; l : la largeur foliaire.

## 1 - Choix du modèle

La représentation graphique du "nuage des points" qui figure les observations dans l'espace des variables permet de se faire une idée de la forme du modèle mathématique à retenir. Les figures 15 et 16 représentent les différents "nuages de points" dans les espaces à 2 et 3 dimensions. Pour stabiliser la variance suivant chacun des axes de coordonnées et notamment dans les extrêmes nous avons effectué une transformation logarithmique sur chaque variable.

Le modèle général choisi est donc de la forme :

$\text{Log } y = a \text{Log } x + c$  où  $c = \text{Log } k$ , pour 2 variables, linéarisation de la fonction puissance :  $y = k x^a$ ,

et  $\text{Log } y = a \text{Log } x_1 + b \text{Log } x_2 + c$  où  $c = \text{Log } k$ , pour 3 variables, linéarisation de la fonction puissance :  $y = k x_1^a x_2^b$ .

Nous étudierons donc les relations linéaires suivantes :

$$a - \text{Log } S = a \text{Log } L + c$$

$$b - \text{Log } S = a \text{Log } l + c$$

$$c - \text{Log}(PS) = a' \text{Log } L + c'$$

$$d - \text{Log}(PS) = a'' \text{Log } l + c''$$

$$e - \text{Log } S = a \text{Log } L + b \text{Log } l + c \text{ où } c = \text{Log } k$$

$$f - \text{Log}(PS) = a \text{Log } L + b \text{Log } l + c \text{ où } c = \text{Log } k$$

## 2 - Etude des régressions simples

Nous présentons pour chaque régression, les estimations des paramètres, le test de signification de la régression (analyse de variance), et une figure représentant la droite de régression avec un domaine de confiance à 95 % pour la droite et un autre pour les points.

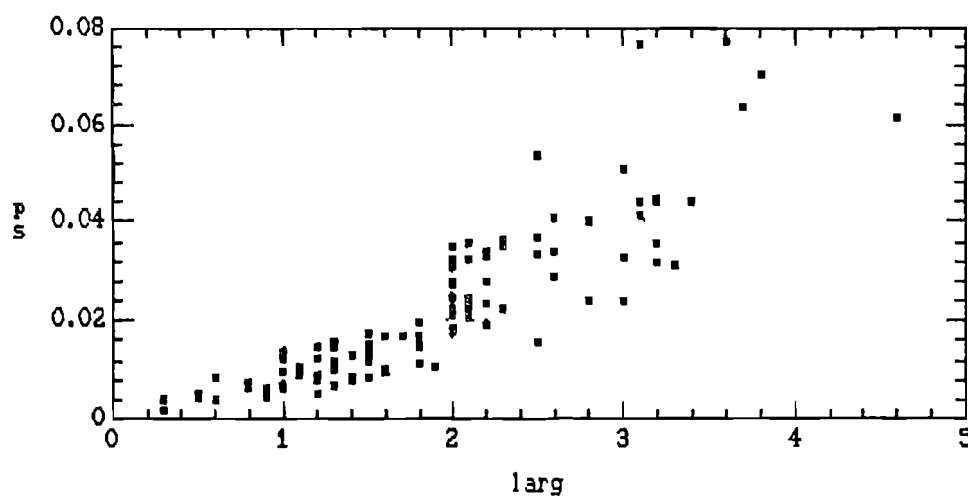
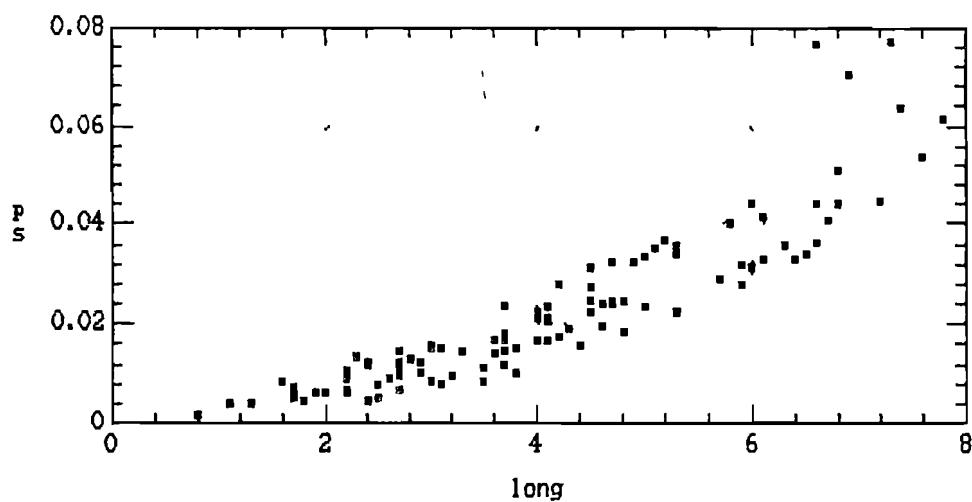
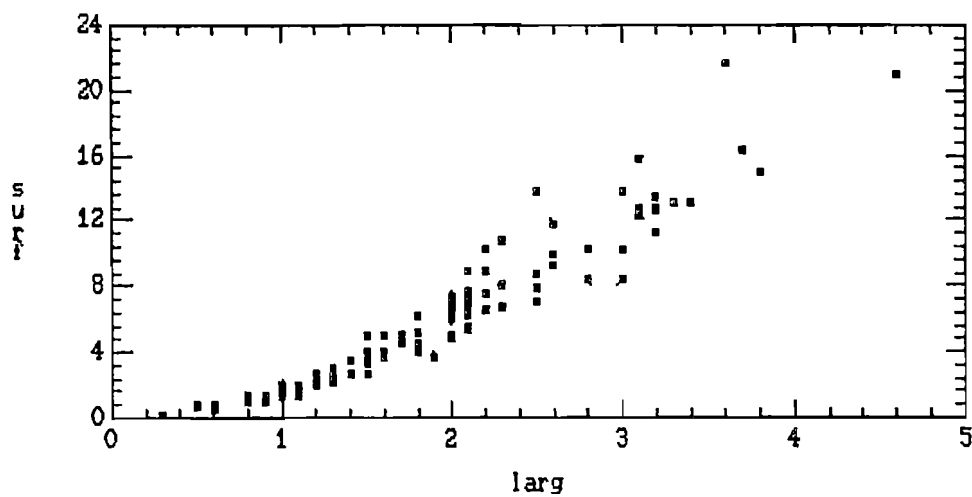
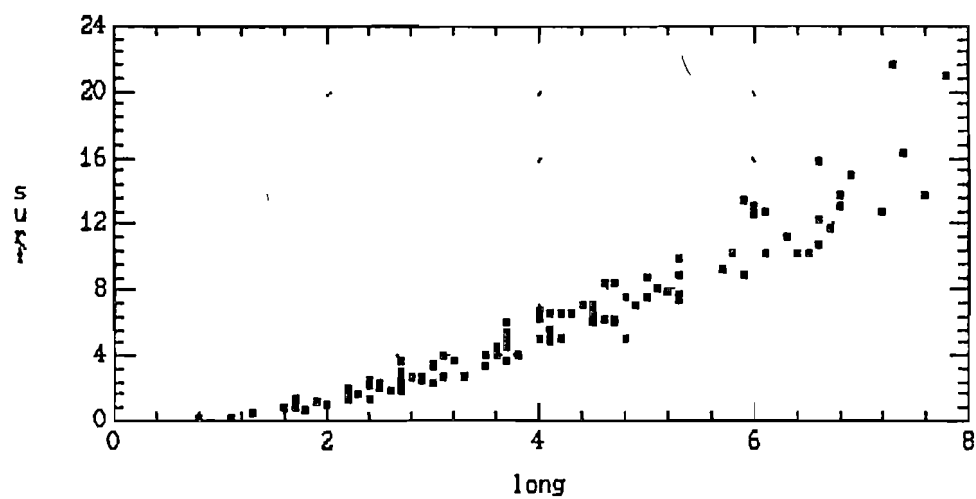


Figure 15 : Représentation des "nuage de points" dans un espace à 2 dimensions : surface( $\text{cm}^2$ ) & L(cm), surface & L, poids

sec(g) & L, poids sec & 1.

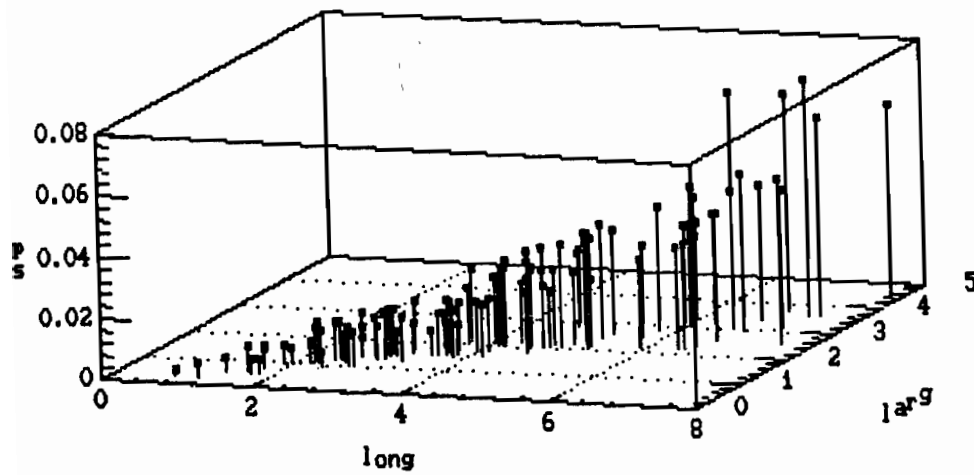
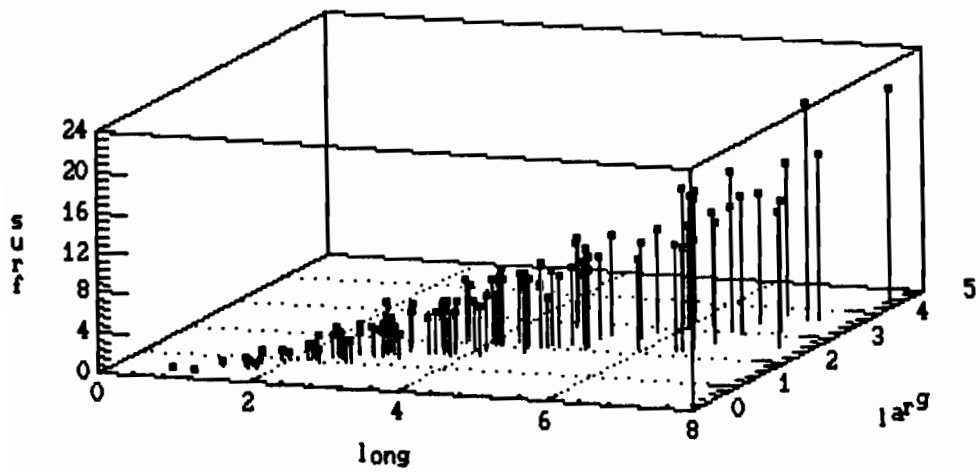


Figure 16 : Représentation des "nuages de points" dans un espace à 3 dimensions : surface(cm<sup>2</sup>) avec L(cm) & l(cm), poids sec(g) avec L & l.

a - Surface foliaire et longueur (Figure 17)

Paramètres	Estimation	Ecart-type	Valeur du t	Signification	
a 1	1,9916	0,04012	49,6384	**	
c 1	-1,1491	0,05614	20,4661	**	
<u>Analyse de variance</u>					
Variations	SCE	CM	ddl	F	Signification
Régression	85,3405	85,3405	1	2463,96	**
Résiduelle	3,4981	0,0346	101		
Total	88,8386		102		

Le coefficient de corrélation est : 0,9801

L'équation de la droite est :  $\text{Log } S = 1,9916 \text{ Log } L - 1,1491$

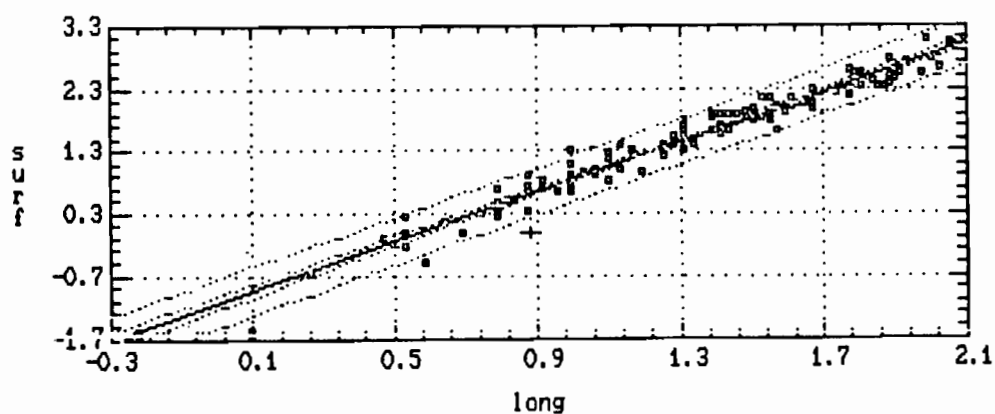


Figure 17 : Régression de la surface foliaire sur la longueur  
en données logarithmiques.

b - Surface foliaire et largeur (Figure 18)

Paramètres	Estimation	Ecart-type	Valeur du t	Signification	
a 2	1,7750	0,03564	49,8018	**	
c 2	0,5383	0,02637	20,4095	**	
<u>Analyse de variance</u>					
Variations	SCE	CM	ddl	F	Signification
Régression	85,3625	85,3625	1	2480,219	**
Résiduelle	3,4761	0,0344	101		
Total	88,8386		102		

Le coefficient de corrélation est : 0,9802

L'équation de la droite est :  $\text{Log } S = 1,7750 \text{ Log } l + 0,5383$

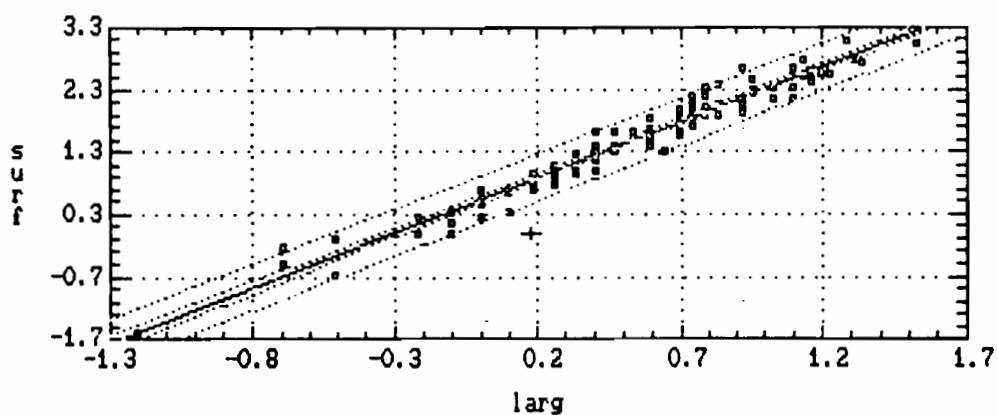


Figure 18 : Régressions de la surface foliaire sur la largeur  
en données logarithmiques

c - Poids sec foliaire et longueur (Figure 19)

Paramètres	Estimation	Ecart-type	Valeur du t	Signification	
a	1,5496	0,05583	27,7566	**	
c	-6,0956	0,07813	78,0178	**	
<u>Analyse de variance</u>					
Variations	SCE	CM	ddl	F	Signification
Regréssion	51,6668	51,6668	1	770,428	**
Résiduelle	6,7733	0,0670	101		
Total	58,4401		102		

Le coefficient de corrélation est : 0,9402

L'équation de la droite est :  $\text{Log}(\text{PS}) = 1,5496 \text{ Log } L - 6,0956$

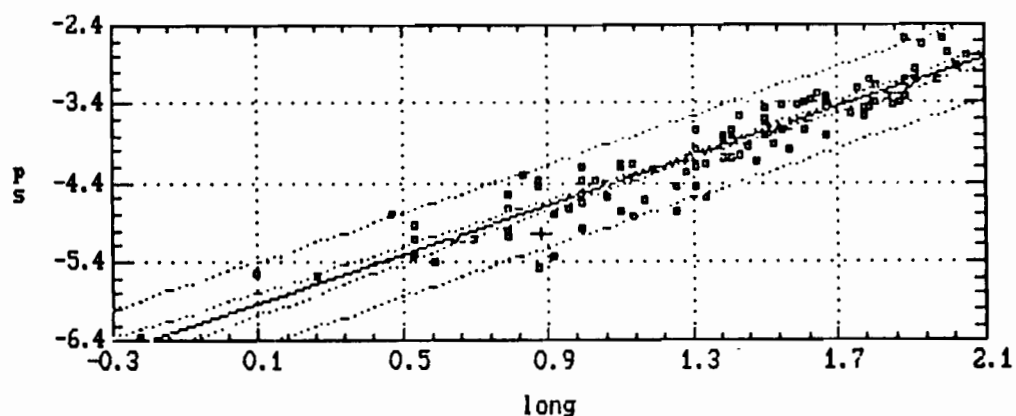


Figure 19 : Régression du poids sec foliaire sur la longueur en données logarithmiques.

d - Poids sec foliaire et largeur (Figure 20)

Paramètres	Estimation	Ecart-type	Valeur du t	Signification	
a	1,3383	0,06019	22,231	**	
c	-4,7598	0,04454	106,849	**	
<u>Analyse de variance</u>					
Variations	SCE	CM	ddl	F	Signification
Régression	48,5239	48,5239	1	494,232	**
Résiduelle	9,9162	0,0981	101		
Total	58,4401		102		

Le coefficient de corrélation est : 0,9112

L'équation de la droite est :  $\text{Log}(\text{PS}) = 1,3383 \text{ Log } l - 4,7598$

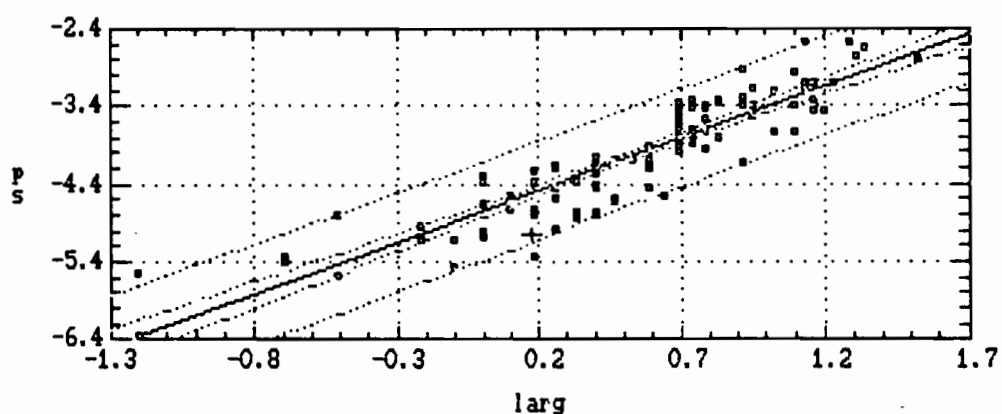


Figure 20 : Régression du poids sec foliaire sur la largeur  
en données logarithmiques.



### 3 - Etude des régressions multiples

Nous présentons pour chaque régression, les coefficients des variables, le test de signification de la régression (analyse de variance), et une figure représentant l'adéquation des valeurs observées et prédites suivant la bissectrice :  $y = x$ .

#### e - Surface foliaire avec la longueur et la largeur (Fig.21)

Variables	Coefficients	Ecart-type	Valeur du t	S	
a	1,01910	0,07779	13,1004	**	
b	0,91268	0,06932	13,1660	**	
c	-0,34963	0,06966	5,0191	**	
<u>Analyse de variance</u>					
Variations	SCE	CM	ddl	F	Signification
Régression	87,5589	43,7794	2	3420,86	**
Résiduelle	1,2797	0,0127	100		
Total	88,8386		102		

Le coefficient de détermination est : 0,9855

L'équation de la droite est :  $\text{Log } S = 1,019\text{Log } L + 0,912\text{Log } l - 0,35$

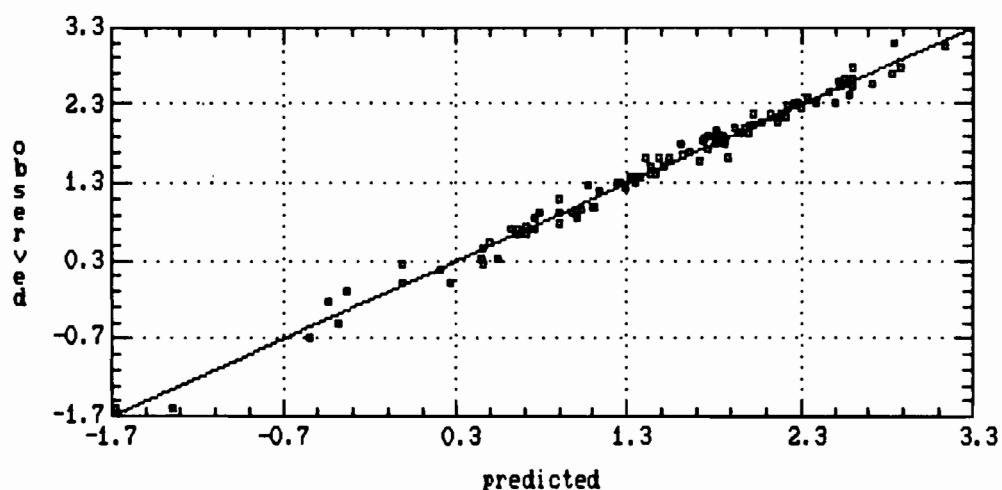


Figure 21 : Adéquation des valeurs observées et prédites  
en données logarithmiques.

f - Poids sec foliaire avec la longueur et la largeur (Fig. 22)

Variables	Coefficients	Ecart-type	Valeur du t	Signification	
a	1,2573	0,1762	7,1320	**	
b	0,2743	0,1571	1,7463	*	
c	-5,8553	0,1578	37,0893	**	
<u>Analyse de variance</u>					
Variations	SCE	CM	ddl	F	Signification
Régression	51,8673	25,9336	2	394,555	**
Résiduelle	6,5728	0,0657	100		
Total	58,4401		102		

Le coefficient de détermination est : 0,8875

Equation de la droite :  $\text{Log(PS)} = 1,257\text{Log L} + 0,274\text{Log l} - 5,855$

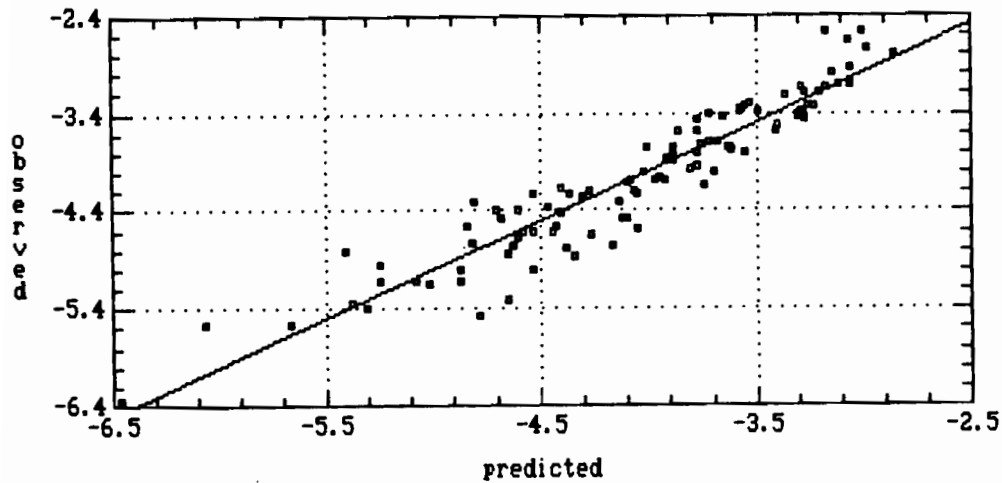


Figure 22 : Adéquation des valeurs observées et prédites  
en données logarithmiques.

#### 4 - Choix de la meilleure régression

L'établissement de régressions dans un but prédictif doit nous conduire à rechercher la meilleure régression, en pratique. Le modèle retenu doit, pour un maximum d'efficacité, entraîner un minimum de calculs et contenir des variables faciles à mesurer. Nous examinerons donc plus particulièrement les régressions multiples, en nous posant la question suivante : les différentes variables explicatives (longueur et largeur) interviennent-elles avec le même poids dans la formule de prédiction ?

a - Examen des régressions avec la surface foliaire:

Tableau d'analyse de variance.

Variations	SCE	ddl	Variances
Totale	88,8366	102	
Régression multiple	87,5589	2	
Régression simple avec la longueur	85,3405	1	
Différence entre les 2 modèles (variation expliquée par la largeur)	2,2184	1	2,2184
Résiduelle	1,2797	100	0,01279

Le rapport :  $\frac{2,2184}{0,01279} = 173,448$  comparé au F de Fisher (3,94),

montre que la part d'explication de la largeur au modèle de régression multiple est très importante. La prédiction de la surface foliaire sera donc meilleur avec la régression multiple qu'avec les régressions simples.

b - Examen des régressions avec le poids sec foliaire:

Tableau d'analyse de variance.

Variations	SCE	ddl	Variances
Totale	58,4401	102	
Régression multiple	51,8673	2	
Régression simple avec la longueur	51,6668	1	
Différence entre les 2 modèles (variation expliquée par la largeur)	0,2005	1	0,2005
Résiduelle	6,5728	100	0,0657

Le rapport :  $\frac{0,2005}{0,0657} = 3,0495$ , comparé au F de Fisher (3,94), montre

que la largeur est une variable explicative d'un poids négligeable dans la régression multiple.

Par conséquent, nous proposons de ne retenir que la longueur (variable explicative, la plus facile à mesurer), dans les relations avec le poids sec.

#### 4 - 7 Biométrie de la croissance foliaire de Quercus sessiliflora

##### 4 - 7 - 1 Choix de la fonction de croissance.

L'étude de la dynamique de croissance de Quercus sessiliflora sur le terrain sera limitée au système aérien et plus particulièrement à l'entité foliaire.

Un certain nombre de fonctions mathématiques peuvent être utilisées pour représenter en fonction du temps, l'évolution de la taille ou du poids d'un organisme ou d'un organe en croissance. Parmi ces fonctions nous distinguons habituellement :

$$a - \text{La logistique} : f(t) = A \left[ 1 + e^{(b-kt)} \right]^{-1}$$

où les trois paramètres sont corrélés.

$$b - \text{Gompertz} : f(t) = A \exp \left[ -e^{-(b-kt)} \right]$$

où Amer & Williams (1957) considèrent que l'asymétrie de cette fonction est mieux appropriée aux données de croissance foliaire que la symétrie de la logistique.

Pour ces deux types de fonction, le gros inconvénient réside dans l'inaltérabilité de la forme de la courbe. Le matériel foliaire de Quercus sessiliflora présente, quant à lui, une grande plasticité dans sa forme, nous avons donc été amenés à choisir un modèle de croissance susceptible d'intégrer cette variabilité. La fonction de Richards (Richards, 1959) nous est apparue comme étant la plus appropriée. Celle-ci est utilisée de plus en plus pour décrire la croissance foliaire (Hackett & Ravson, 1974 ;

Dennett, Auld & Elston, 1978 ; Causton, Elias & Hadley, 1978 ; Dennett, Elston & Milford, 1979 ; Causton & Vénus, 1981 ; Buis & Barthou, 1984). La croissance de la plante entière est également décrite avec la fonction de Richards (Causton & Vénus, 1981).

$$c - \text{Richards} : L = A \left[ 1 \pm e^{(b - Kt)} \right]^{-1/n}$$

où L est la taille ou le poids sec de l'organe au temps t, A, b, K et n sont les paramètres avec A, K > 0 ;

$-1 \leq n < \infty$  ;  $n \neq 0$  ; b = un nombre réel quelconque.

Le paramètre A est la valeur maximum vers laquelle tend L. Les paramètres b, K et n n'ont pas de significations théoriques particulières contrairement à la fonction de Von Bertalanffy (1957) :

$\frac{dW}{dt} = \eta W - kW$  dont Richards en a repris l'approche pour

l'appliquer au domaine végétal et où  $\eta$  et k sont respectivement des constantes dites d'anabolisme et de catabolisme, positives et liées à des quantités consommées ou produites d'oxygène et de protéines dans le cas de croissance animale.

L'expression :  $e^{(b - Kt)}$  est > 0 quand  $n > 0$  et réciproquement.

Une des propriétés intéressantes de la fonction de Richards, est la variation de la forme de la courbe associée au paramètre n ; un cas particulier est donné pour  $n = 1$  : la fonction logistique.

Par ailleurs, pour  $t = 0$ , la fonction de Richards devient :

$L = A \left[ \left( 1 \pm e^b \right) \right]^{-1/n}$  ; qui représente le taux de croissance relative initiale théorique (Figure 23).

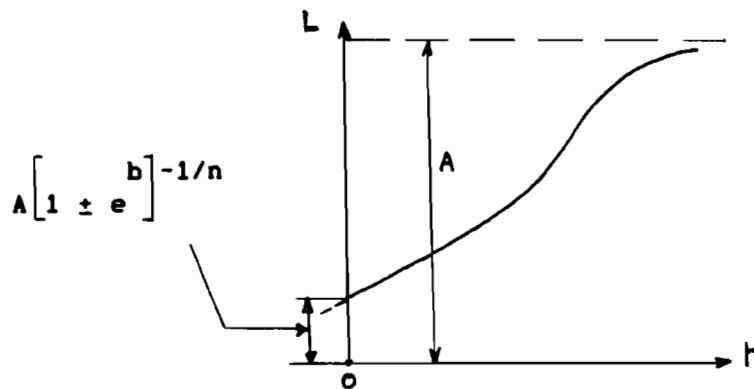


Figure 23 : Taux de croissance relative initiale  
de la fonction de Richards.

Ce taux de croissance revêt une importance particulière dans toute étude de dynamique de croissance. Pour toute la durée de la croissance, on définit un taux de croissance relative moyen par

l'intégration de :

$$\bar{R} = \int_0^A \frac{1}{L} \frac{dL}{dt}$$

avec :

$$\frac{dL}{dt} = \frac{KL}{nA^n} (A^n - L^n)$$

d'où :

$$\bar{R} = \frac{1}{A} \int_0^A \frac{K}{nA^n} (A^n - L^n) dL$$

$$\bar{R} = \frac{1}{A} \int_0^A \frac{K}{n} \left( 1 - \left( \frac{L}{A} \right)^n \right) dL$$

$$\bar{R} = \frac{K}{nA^{(n+1)}} \int_0^A (A^n - L^n) dL$$

soit  $\bar{R} = \frac{K}{n+1}$ ,

dont nous retrouverons le calcul dans le chapitre 4 - 7 - 4. Nous signalons également que dans le cas particulier où  $n = 0$  (fonction de Richards indéterminée), on obtient  $\bar{R} = K$  qui est le taux de croissance relative moyen de la fonction de Gompertz.



Enfin la définition de la valeur asymptotique finale atteinte par l'organe végétatif étudié (paramètre A), nous paraît des plus intéressantes quant aux études de croissance in situ. En effet, la taille maximum n'est ni une caractéristique interne de potentialité possédée par l'embryon ou les primordiums, ni une mesure des contraintes de l'environnement, mais une étroite combinaison des deux effets (Zelawski et Lech, 1980).

Ayant désormais arrêté notre choix sur la fonction de Richards, nous allons reprendre en détail les différentes étapes brièvement décrites dans la figure 24 qui nous ont guidé dans l'étude de la croissance foliaire de Quercus sessiliflora.

#### 4 - 7 - 2 Mesures in situ sur les feuilles

Les mesures physiques foliaires ont été réalisées au fur et à mesure de l'apparition des feuilles. Le repérage de chaque feuille se faisait par leur rang. La plus petite valeur mesurable était de l'ordre de 0,2 mm. La plupart des mesures ont porté sur les deux premières pousses ou "flushs". Ces mesures ont permis la constitution d'un fichier de données dont chaque enregistrement était formé de trois articles : l'identifiant (placette - numéro d'apparition de la plantule - rang de la feuille), les temps, les mesures foliaires (longueur - largeur). Ce fichier a servi de point d'entrée à l'estimation des valeurs de départ des paramètres de la fonction de Richards.

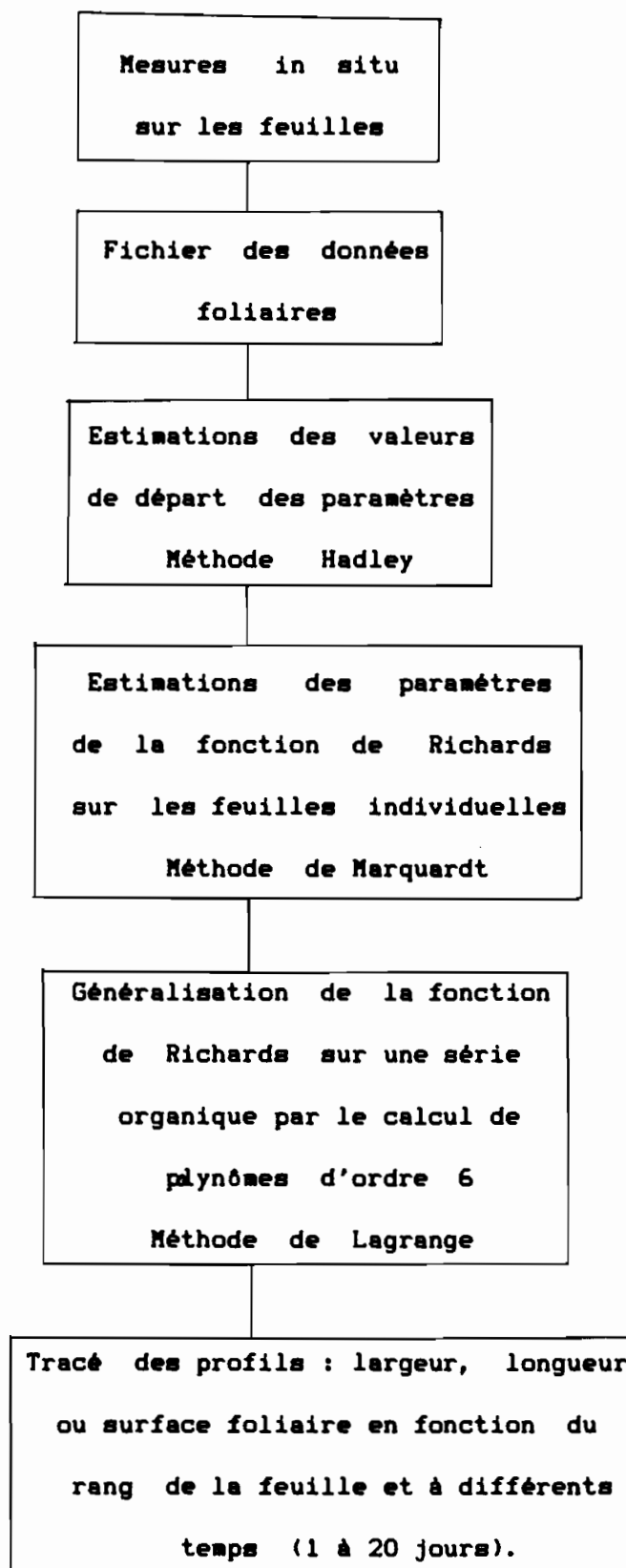


Figure 24 Protocole d'actions pour l'étude de la croissance  
foliaire de Quercus sessiliflora

4 - 7 - 3 Estimation des valeurs de départ des paramètres  
méthode de Hadley (1978).

Les données de croissance sont en général distribuées log-normal, par conséquent, l'équation de base qui servira à toutes les estimations des paramètres de la fonction de Richards, à partir des données observées (indépendance des observations pour chaque temps :  $t_i$ ) sera :

$$\hat{l}_i = a - (1/n) \log_e \{ 1 \pm e^{[b + kt_i]} \}$$

où l'on pose  $k = -K$  pour des convenances de signe, dans les calculs de dérivées.

L'expression à minimiser, suivant le critère des moindres

carrés est :

$$\mathcal{F}^2 = \sum_{i=1}^h \left\{ l_i - a + (1/n) \log_e \{ 1 \pm e^{[b + kt_i]} \} \right\}^2$$

étant donné que la méthode de Hadley et celle de Marquardt repose sur ce critère.

A partir de l'équation et des valeurs arbitraires de  $b$  et  $k$ , les valeurs de  $a$ ,  $\frac{1}{n}$  et  $\mathcal{F}^2$  peuvent être estimées par une régression linéaire classique de la manière suivante :

- on fixe  $b_0 = 1$  et  $k_0 = -b_0 / t$  où  $t = \sum_{i=1}^h t_i/h$

- Les calculs de  $a$  et  $1/n$  s'effectuent à partir des expressions :

$$\frac{\partial \mathcal{F}^2}{\partial a} = -2 \cdot \sum \left\{ l_i - a + (1/n) \log_e \{ 1 \pm e^{[b + kt_i]} \} \right\} = 0$$

$$\frac{\partial \mathcal{F}^2}{\partial n} = \frac{-2}{n^2} \sum \left\{ l_i - a + (1/n) \log_e \{ 1 \pm e^{[b + kt_i]} \} \right\} \left\{ \log_e \{ 1 \pm e^{[b + kt_i]} \} \right\} = 0$$

$$\text{en posant : } A_i = \text{Log} \left[ 1 + e^{\frac{(b + kt)_i}{i}} \right]$$

$$\text{on obtient : } a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{A_i} \quad \text{et} \quad \frac{1}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})(1_i - \bar{1})}{\sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})^2}$$

Pour chaque pair de paramètres  $(b_i, k_i)$  on calcule donc  $a_i, 1/n$  et  $\mathcal{F}_i^2$ . L'incrément de  $b$  est telle que :

$$b_{i+1} = b_i + 0,2, \quad \text{celui de } k \text{ est : } \Delta k_i = k_i / D, \quad \text{avec } D = 20,$$

le décrement pour  $b$  est :  $\Delta b = + 0,2$  et pour  $k$  :  $\Delta k = k / 10D$ .

Si  $\mathcal{F}_i^2 < \mathcal{F}_{i-1}^2$ ,  $b_i$  et  $k_i$  sont incrémentés, dans le cas contraire, ils sont décrementés.

L'estimation des valeurs de départ des paramètres s'arrête lorsque  $\Delta \mathcal{F}_i^2 = 0$ . Nous précisons ici, que ce type de calcul est relativement long et coûteux sur ordinateur et que nous l'avons utilisé seulement pour quelques échantillons foliaires.

La méthode de Marquardt qui utilise normalement les résultats fournis par celle de Hardley (valeurs de départ des paramètres) en vue de l'optimisation de ces mêmes paramètres en relation avec les valeurs observées (surface, longueur ou largeur), a la propriété d'évoluer rapidement vers l'optimum lorsque l'on part loin de ce point, nous avons donc retenu pour chaque individu les valeurs de départ suivantes :

$$A = \text{Log } L \quad \text{avec } L = \text{taille maxi observée; } b = 1 \text{ (usuellement)}$$

$$k = 0,20; \quad n = \frac{\text{Log} ( 1 + \exp(b) )}{L - \text{Log} (L / 5)}$$

où  $L_{t1}$  = taille de l'organe ou temps  $t_1$ .

Ces valeurs de départ conduisent dans la plupart des cas étudiés, sensiblement aux mêmes résultats lorsqu'elles sont injectées dans le processus d'optimisation des paramètres que celles obtenues avec la méthode de Hadley.

#### 4 - 7 - 4 Estimation des paramètres de la fonction de Richards

Pour chaque feuille mesurée, nous avons procédé à l'optimisation des paramètres suivant la méthode de Raphson Newton modifiée ou de Marquardt, appliquée à un modèle non linéarisable et dont le critère à minimiser est celui des moindres carrés.

Nous rappelons l'équation :  $l_1 = a - (1/n) \log_e [ 1 \pm e^{[ b + kt_1 ]} ]$

où a, b, k et n sont les paramètres à estimer.

Les variations des paramètres, suivant la méthode de Marquardt sont données par l'expression :

$$\Delta a = - [ +\lambda I + M ]^{-1} * V$$

où I = matrice unité

$\lambda$  = quantité qui change à chaque itération

M = matrice d'ordre 4 des dérivés secondes

V = vecteur colonne de longueur 4 des dérivées premières.

Si on a déterminé les valeurs du critère des moindres carrés  $E_j$  et  $E_{j+1}$  aux  $j$ ème et  $j+1$  itérations, on dira que l'évolution est bonne lorsque :  $E_{j+1} < E_j$ , l'on réduira alors  $\lambda$  en  $\lambda/r$  ( $r > 1$ );

dans le cas contraire on augmentera  $\lambda$  en  $\lambda + 100$  jusqu'à ce que le nouvel  $E_{j+1} < E_j$ .

Les dérivées premières intervenant dans le calcul du vecteur  $V$  (on posera  $A_i = \text{Log} \left[ \frac{e^{(b+kt_i)}}{1 + e^{(b+kt_i)}} \right]$ , pour l'ensemble des calculs), sont les suivantes :

$$\frac{\partial \sigma^2}{\partial a} = -2 \sum_i \left\{ 1 - a + \frac{1}{n} A_i \right\}$$

$$\frac{\partial \sigma^2}{\partial b} = \frac{2}{n} \sum_i \left[ 1 - a + \frac{1}{n} A_i \right] \times \left[ \frac{e^{(b+kt_i)}}{1 + e^{(b+kt_i)}} \right]$$

$$\frac{\partial \sigma^2}{\partial k} = \frac{2}{n} \sum_i \left[ 1 - a + \frac{1}{n} A_i \right] \times \left[ \frac{e^{(b+kt_i)} t_i}{1 + e^{(b+kt_i)}} \right]$$

$$\frac{\partial \sigma^2}{\partial n} = -\frac{2}{n^2} \sum_i \left[ 1 - a + \frac{1}{n} A_i \right] \times A_i$$

Les dérivées secondes intervenant dans le calcul de la matrice d'ordre 4 sont les suivantes :

$$\frac{\partial^2 \sigma^2}{\partial a^2} = 2h$$

$$\frac{\partial^2 \sigma^2}{\partial a \partial b} = \frac{2}{n} \sum_i \left[ \frac{e^{(b+kt_i)}}{1 + e^{(b+kt_i)}} \right]$$

$$\frac{\partial^2 \sigma^2}{\partial a \partial k} = \frac{2}{n} \sum_i \left[ \frac{e^{(b+kt_i)} t_i}{1 + e^{(b+kt_i)}} \right]$$

$$\frac{\partial^2 \varphi^2}{\partial a \partial n} = \frac{2}{n^2} \sum_i A_i$$

$$\frac{\partial^2 \varphi^2}{\partial b^2} = \frac{2}{n} \sum_i \left[ 1 - a + \frac{1}{n} \left\{ A_i \pm e^{(b+kt_i)} \right\} \right] \times \frac{e^{(b+kt_i)}}{\left( 1 \pm e^{(b+kt_i)} \right)^2}$$

$$\frac{\partial^2 \varphi^2}{\partial b \partial k} = \frac{2}{n} \sum_i \left[ 1 - a + \frac{1}{n} \left\{ A_i \pm e^{(b+kt_i)} \right\} \right] \times \left[ \frac{e^{(b+kt_i)} t_i}{\left( 1 \pm e^{(b+kt_i)} \right)^2} \right]$$

$$\frac{\partial^2 \varphi^2}{\partial b \partial n} = \frac{2}{n^2} \sum_i \left[ 1 - a + \frac{2}{n} A_i \right] \times \frac{e^{(b+kt_i)}}{1 \pm e^{(b+kt_i)}}$$

$$\frac{\partial^2 \varphi^2}{\partial k^2} = \frac{2}{n} \sum_i \left[ 1 - a + \frac{1}{n} \left\{ A_i \pm e^{(b+kt_i)} \right\} \right] \times \frac{e^{(b+kt_i)} t_i^2}{\left( 1 \pm e^{(b+kt_i)} \right)^2}$$

$$\frac{\partial^2 \varphi^2}{\partial k \partial n} = \frac{2}{n^2} \sum_i \left[ 1 - a + \frac{2}{n} A_i \right] \times \frac{e^{(b+kt_i)} t_i}{1 \pm e^{(b+kt_i)}}$$

$$\frac{\partial^2 \varphi^2}{\partial n^2} = \frac{4}{n^3} \sum_i \left[ 1 - a + \frac{3}{2n} A_i \right] \times A_i$$

Le logiciel que nous avons développé pour l'optimisation des paramètres permet dans un premier temps d'effectuer un choix sur le type de mesures : largeur, longueur ou surface foliaire; les observations sont exprimées en logarithme népérien, ainsi qu'un certain nombre de résultats : la taille maximum estimée (a) et les résidus.

Le logiciel effectue tout d'abord une progression vers les optimums recherchés avec la méthode Marquardt :

$\Delta a = -[\lambda I + M]^{-1} * V$  pour un nombre d'itération (j) au moins égal à 15 et la progression s'arrête si la différence  $E_j - E_{j+1} < 10^{-3}$ .  
Sinon la progression continue avec  $\Delta a = \alpha V$  où  $\alpha = -0,3$  si  $E_{j+1} < E_j$  et  $\alpha = 1,2$  si  $E_{j+1} > E_j$ .

La recherche s'arrête alors lorsque  $E_{j+1} - E_j \leq 0,1$  ou pour un nombre d'itérations égal à 60 (optimum non atteint).

Les résultats obtenus pour chaque feuille sont présentés dans les annexes 2A à 2G comme suit :

- édition des valeurs observées en t et en l ;
  - valeurs initiales des paramètres ;
  - matrice de variance - covariance ;
  - matrice des corrélations ;
  - valeurs optimisées des paramètres ;
  - la valeur du critère :  $\sum_{i=1}^h e_i^2$  ;
  - la valeur des résidus à chaque t ;  
i
  - la somme des résidus :  $\sum_{i=1}^h e_i * l_i$  ;
  - édition sur un fichier, des valeurs estimées des paramètres a, b, k et n et de leurs variances ;
  - édition sur un deuxième fichier des valeurs des paramètres secondaires :
- \* taux moyen de croissance relative :  $\bar{R}$  ,
  - \* taux moyen de croissance absolue :  $\bar{A}$  ,
  - \* durée de croissance : D.



Les paramètres secondaires et leur variance ont été calculés d'après la formule d'approximation de Kendall et Stuart (1977).

$$1 - \bar{R} = \frac{k}{n+1}$$

$$\text{Estimations : } \hat{\bar{R}} \simeq \frac{k}{n+1} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \bar{R}}{\partial k^2} V(k) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \bar{R}}{\partial n^2} V(n) + \frac{\partial^2 \bar{R}}{\partial k \partial n} \mathcal{E}(k, n) \quad (1)$$

$$V(\bar{R}) \simeq \left( \frac{\partial \bar{R}}{\partial k} \right)^2 V(k) + \left( \frac{\partial \bar{R}}{\partial n} \right)^2 V(n) + 2 \left( \frac{\partial \bar{R}}{\partial k} \frac{\partial \bar{R}}{\partial n} \right) \mathcal{E}(k, n) \quad (2)$$

$$\text{avec : } \frac{\partial \bar{R}}{\partial k} = \frac{1}{n+1} ;$$

$$\frac{\partial \bar{R}}{\partial n} = - \frac{k}{(n+1)^2} ;$$

$$\frac{\partial^2 \bar{R}}{\partial k^2} = 0 ;$$

$$\frac{\partial^2 \bar{R}}{\partial n^2} = \frac{2k}{(n+1)^3} ;$$

$$\frac{\partial^2 \bar{R}}{\partial k \partial n} = - \frac{1}{(n+1)^2} ;$$

$$2 - \bar{A} = \frac{e \cdot k}{2(n+2)} ; \text{ les calculs de A et V(A) sont analogues à (1) \& (2).}$$

$$\text{avec : } \frac{\partial \bar{A}}{\partial a} = \frac{e \cdot k}{2(n+2)} ; \quad \frac{\partial \bar{A}}{\partial k} = \frac{e}{2(n+2)} ;$$

$$\frac{\partial \bar{A}}{\partial n} = \frac{e \cdot k}{2(n+2)^2} ; \quad \frac{\partial^2 \bar{A}}{\partial a^2} = \frac{e \cdot k}{2(n+2)} ;$$

$$\frac{\partial^2 \bar{A}}{\partial k^2} = 0 ; \quad \frac{\partial^2 \bar{A}}{\partial n^2} = \frac{2e \cdot k}{2(n+2)^3} ;$$

$$\frac{\partial^2 A}{\partial a \partial k} = \frac{e^a}{2(n+2)} ; \quad \frac{\partial^2 A}{\partial a \partial n} = -\frac{e^a \cdot k}{2(n+2)^2} ;$$

$$\frac{\partial^2 A}{\partial k \partial n} = -\frac{e^a}{2(n+2)^2} .$$

$$3 - D = \frac{2(n+2)}{k}$$

avec :

$$\frac{\partial D}{\partial k} = -\frac{2(n+2)}{k^2} ; \quad \frac{\partial D}{\partial n} = \frac{2}{k} ;$$

$$\frac{\partial^2 D}{\partial k^2} = \frac{4(n+2)}{k^3} ; \quad \frac{\partial^2 D}{\partial n^2} = 0 ;$$

$$\frac{\partial^2 D}{\partial k \partial n} = -\frac{2}{k^2} .$$

#### 4 - 7 - 5 Analyse des résultats obtenus par la méthode de Marquardt

##### 4 - 7 - 5 - 1 Matrice de variance - Covariance et corrélations des paramètres

Dans le contexte de non linéarité de la fonction de Richards, l'estimation de la matrice - covariance est donnée par l'expression :

$$\widehat{\text{Var}}(\hat{\theta}) \simeq - (I)^{-1}$$

où 
$$I = - \frac{1}{2 \sigma^2} M$$
 et  $\sigma^2$  est estimé par :

$$s = \frac{2 \sum \varphi^2}{h - 4}$$

A partir de l'estimation  $\widehat{\text{Var}}(\hat{\theta})$  nous tirons les corrélations entre paramètres estimés. Nous constatons que quelque soit le type de mesures obtenues (surface, longueur ou largeur), les paramètres b, k, et n sont fortement corrélés ; en effet la corrélation est comprise entre 0,97 et 0,99. Les corrélations du paramètre (a) avec les autres sont la plupart du temps inférieures à 0,50 et négatives avec b et n (annexe 2A).

##### 4 - 7 - 5 - 2 Analyse des résidus

Pour l'examen des résidus, nous retenons la statistique:  $\sum_{i=1}^h e_i^2$  calculée pour chaque estimation (surface, longueur et largeur). Le résultat de ce calcul est généralement proche de zéro, ce qui montre que nous n'avons pas mis en évidence d'effet linéaire des paramètres.

#### 4 - 7 - 5- 3      Les valeurs estimées des paramètres

L'analyse des valeurs estimées des paramètres de la croissance foliaire de Quercus sessiliflora est réalisée sur le facteur surface et se limite aux sept premiers rangs où nous pouvons avoir un nombre suffisant de feuilles par type de traitement dont les mesures ont contribué aux estimations : environ 8 feuilles par rang.

Les figures 25 à 27 montrent quelques exemples de croissance de la surface foliaire (en données logarithmiques), en fonction du temps et les ajustements de la fonction de Richards aux données expérimentales.

Afin de faciliter les comparaisons de croissance foliaire des semis en fonction des traitements, nous retiendrons les paramètres primaires (a) et (n) et la totalité des paramètres secondaires : AGR (taux de croissance absolu), RGR (taux de croissance relative) et DG (durée de croissance).

Nous rappelons que Richards, propose de ne pas tenir compte des significations théoriques attribuées aux paramètres b, k, et n, pour assurer leur ajustement, sans contraintes a priori. Le paramètre (a) en données logarithmiques indique la taille maximum atteint par l'organe ; (n) indique la forme de la courbe et le paramètre (k) se retrouve dans chacune des expressions des paramètres secondaires telles que :

$$\text{AGR} = Ak / 2(n+2) \quad ; \quad \text{RGR} = k / (n+1) \quad ; \quad \text{DG} = 2(n+2) / k$$

Les figures 28 à 30 montrent l'évolution de la surface foliaire en données logarithmiques avec le paramètre (a) et celle du paramètre (n) sur un intervalle de confiance à 95 %, pour les six premiers rangs avec l'atrazine et les sept premiers rangs avec la simazine et les témoins.

a) Etude des paramètres primaires

Le paramètre (a) augmente jusqu'au 3<sup>ème</sup> rang foliaire pour les 3 types de traitements puis décline jusqu'au rang 6 avec l'atrazine, au rang 5 avec les témoins, bien que dans ce cas les différences entre les rangs ne soient pas significatives du fait de l'importance des intervalles de confiance.

Le paramètre (a) croît puis décroît avec la simazine après le rang 3, mais là aussi les différences ne sont pas significatives sauf entre le rang 1 et les rangs 4 et 7 (5 %). De même pour l'atrazine les différences entre les rangs sont significatives à 5% entre le rang 1 et les rangs 3 et 4 et entre les rangs 2 et 3. Les différences de taille foliaire que l'on observe chez les traités et qui sont nettement marquées à partir du rang 1 ou 2 (atrazine) peuvent recevoir les explications suivantes :

1 - les réserves glucidiques des cotylédons sont insuffisantes pour assurer une taille importante aux primordiums (rangs 1 et 2).

2 - la taille finale de la feuille est déterminée dans les feuilles des premiers rangs.

3 - les cotylédons fournissent leurs réserves aux premiers étages de feuilles mais avec un début de comportement autotrophe du semis dès le 3<sup>ème</sup> rang foliaire, lié aux conditions de température et de luminosité plus favorables chez les traités que chez les témoins.

Les travaux de Champagnat et Lamond (1980) sur le chêne pédonculé nous permettent de comprendre un peu mieux les différences morphologiques des semis sur le terrain.

En effet, il apparaît que c'est la température qui constitue le meilleur agent quant à la répartition des réserves des cotylédons entre le système aérien et le système racinaire.

A 25° C, dans des conditions climatiques contrôlées, les jeunes plants atteignent 1,50 m à 2 m en un an ; à 12° C, la tige ne dépasse pas 10 cm avec un système aérien très réduit (3 à 4 feuilles) tandis que le système racinaire est très développé. Il semble donc que sur la parcelle 329 nous soyons placés dans des conditions climatiques mixtes où les températures sur les placettes traitées sont en moyenne supérieures de 3° C sur Mai et Juin, par rapport aux placettes témoins et que cet écart peut expliquer les différences des tailles foliaires à partir du rang 3 pour la simazine et l'atrazine, alors que les plantules témoins ne pourraient compter que sur les réserves des cotylédons.

Enfin, la surface foliaire moyenne de semis traités ne diffère pas significativement de celle des témoins, résultat

également confirmé par les travaux de Logan et Krotkov (1969) sur l'érable à sucre.

Le paramètre  $(n)$  ne présente pas de différence significative suivant le rang foliaire, quelque soit le traitement. Le tableau 19 résume les valeurs moyennes et les extrêmes obtenus pour  $(n)$ , par traitement.

	Moyenne	Maxima	Minima
Atrazine	0,69546	1,47518	0,23608
Simazine	0,63127	1,77696	0,25759
Témoins	0,69336	1,53621	0,26941

Tableau 19 Valeurs moyennes et extrêmes du paramètre  $(n)$ .

La fonction de Richards est donc bien adaptée à l'étude de la croissance foliaire de Quercus sessiliflora et la situation limite pour  $n = 0$  (Gompertz) n'est pas rencontrée, alors que  $n = 1$  (logistique) est une situation envisageable.

#### b - Etude des paramètres secondaires (Figure 31 à 36)

Le taux de croissance relative  $RGR$  exprimé en  $j^{-1}$  ne montre pas de différence significative entre les rangs pour chacun des traitements, mais l'on remarquera malgré tout le parallélisme entre la simazine et les témoins et une croissance soutenue jusqu'au rang 3 pour l'atrazine.

A ce stade de l'étude, il est intéressant de noter que la croissance des tiges feuillées de Quercus sessiliflora obéit à un système de relaxation (Champagnat & Lamond) : les jeunes primordiums foliaires, lorsqu'ils sont en nombre suffisant, inhibent toute organogénèse du méristème apical qui les a engendrés. Cet arrêt déclenche ou permet l'allongement des entre-noeuds qui séparent les primordiums foliaires ainsi que la croissance de ceux-ci. On constate donc que suivant le rang occupé par le primordium, le taux de croissance relative a tendance à varier, semblant indiquer une répartition inégale des réserves glucidiques dans les primordiums pour le premier stade de végétation dont le nombre de feuilles moyens est résumé dans le tableau 20.

Atrazine	Simazine	Témoins
4,50	7,74	5,48

Tableau 20 : Nombre de feuilles moyens du premier "flush"

Le fait que le nombre de feuilles moyens du premier "flush" soit inférieur aux témoins pour les semis traités à l'atrazine, alors que les conditions de température et de luminosité sont optimales, peut recevoir plusieurs explications :

- mauvais conditionnement des glands avec une conservation au froid défectueuse ;
- influence de l'herbicide sur le premier stade de végétation limitant ainsi le système aérien à un feuillage relativement réduit.



Le taux de croissance absolue AGR est exprimé en  $\text{cm}^2 \cdot \text{j}^{-1}$

Les variations du taux de croissance absolue au sein de chaque traitement suivent une évolution parallèle à celle du paramètre de la taille (a), dans la mesure où AGR dépend beaucoup de ce paramètre. Nous constatons malgré tout quelques différences quant aux écarts significatifs entre les rangs foliaires. Pour l'atrazine, les différences sont significatives à 5 % entre les rangs 1 et 2 et le rangs 3 et 4, alors que pour le paramètre (a), seuls les rangs 3 et 4 avec le rang 1 présente une différence significative.

On peut donc observer une fois encore une tendance, dès le premier "flush", des semis à passer à un comportement autotrophe à partir des rangs 3 et 4 ou à un transfert accéléré des réserves glucidiques pour ces mêmes rangs.

La durée de croissance DG est exprimée en jours.

Les semis traités à l'atrazine et les témoins ne présentent pas de différence significative entre leurs rangs foliaires, seule une différence existe pour la simazine entre les rangs 2 et 4. Le tableau 21 résume les durées moyennes de croissance par traitement et leurs extrêmes.

	Moyenne	Maxima	Minima
Atrazine	17,69	26,52	11,82
Simazine	18,04	24,52	14,36
Témoin	18,64	27,56	11,21

Tableau 21 Durée moyenne et extréma de la croissance

Nous pouvons constater que les plantules dont les conditions de croissance sont les plus proches de la régénération naturelle (témoins), sont celles qui ont tendance à avoir la durée moyenne de croissance la plus élevée.

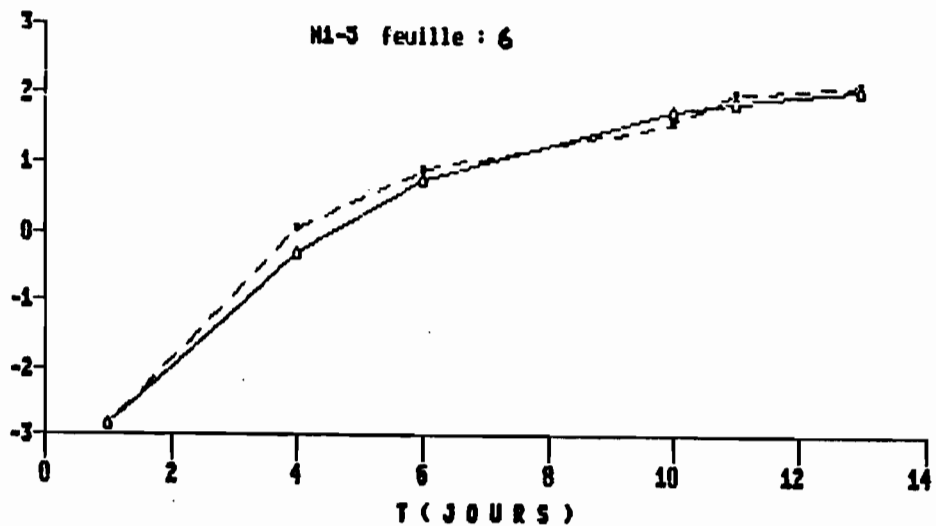
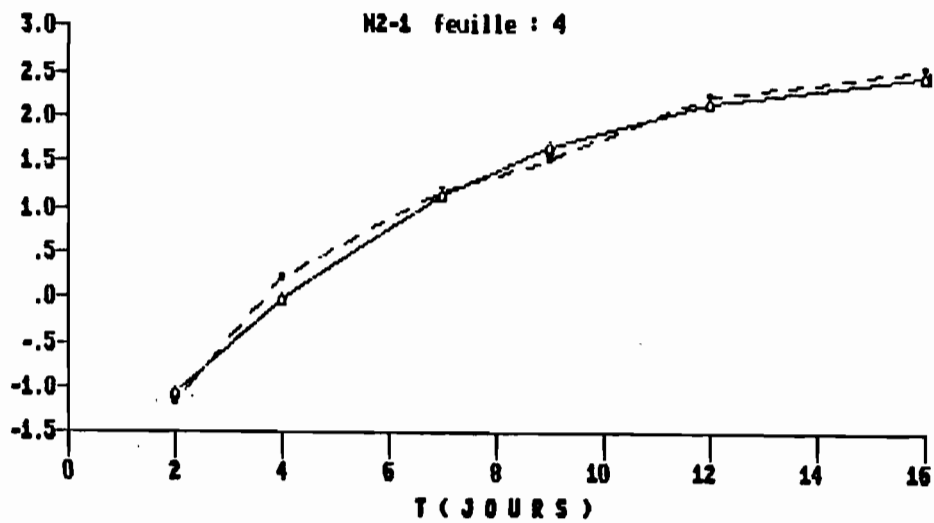
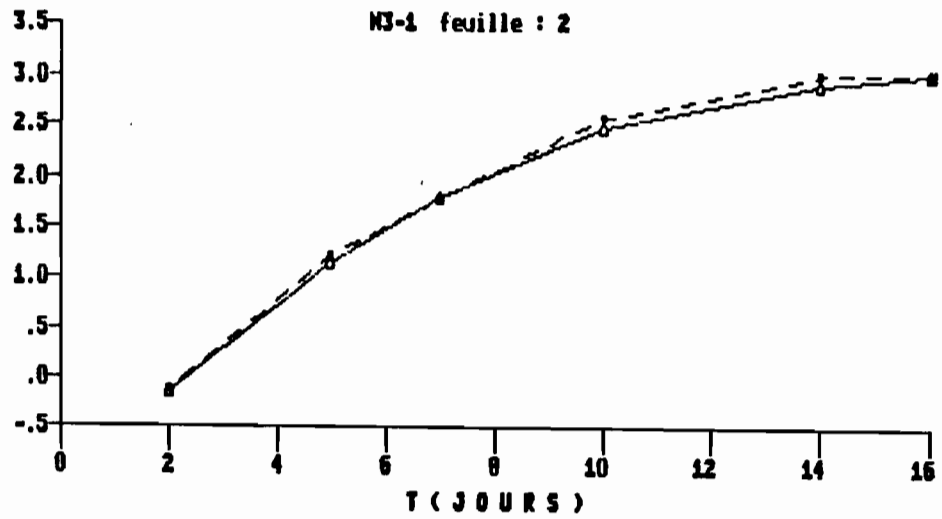


Figure 25 : Courbe de croissance de la surface foliaire (témoins) et ajustement de la fonction de Richards aux données expérimentales (trait discontinu).

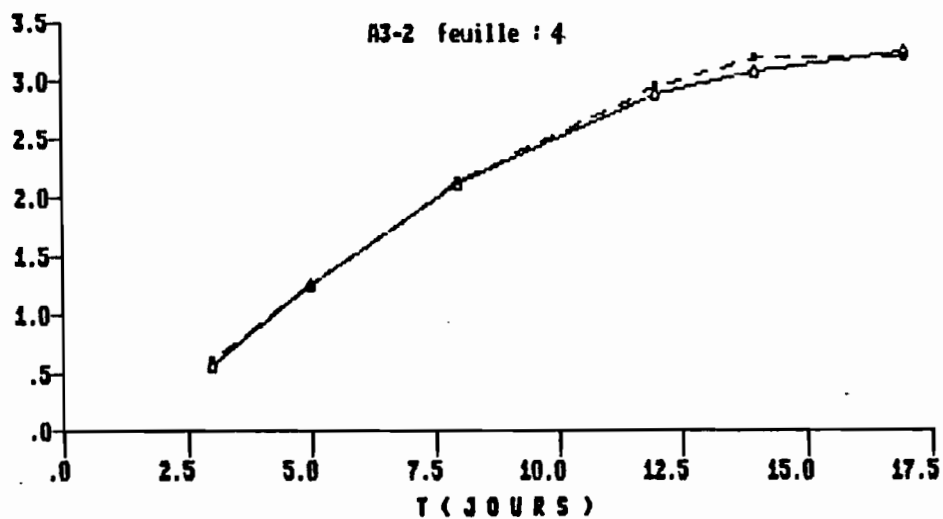
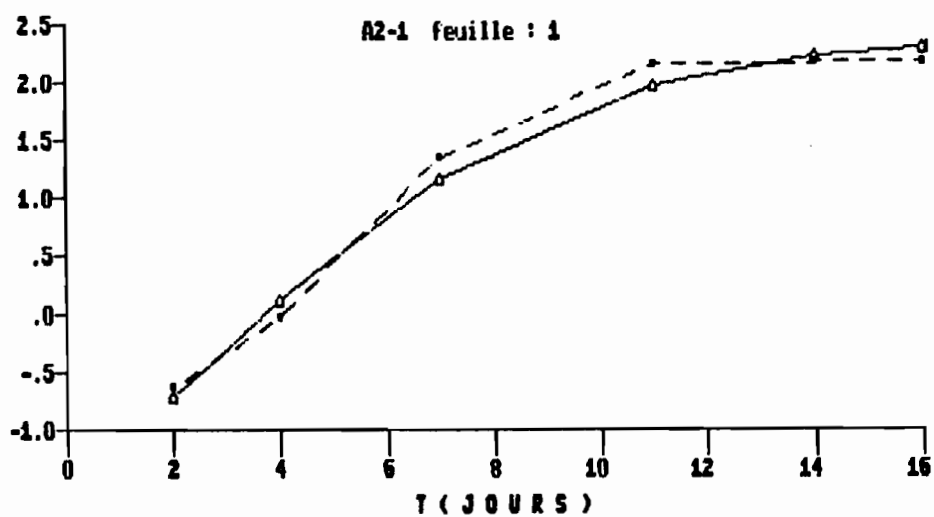
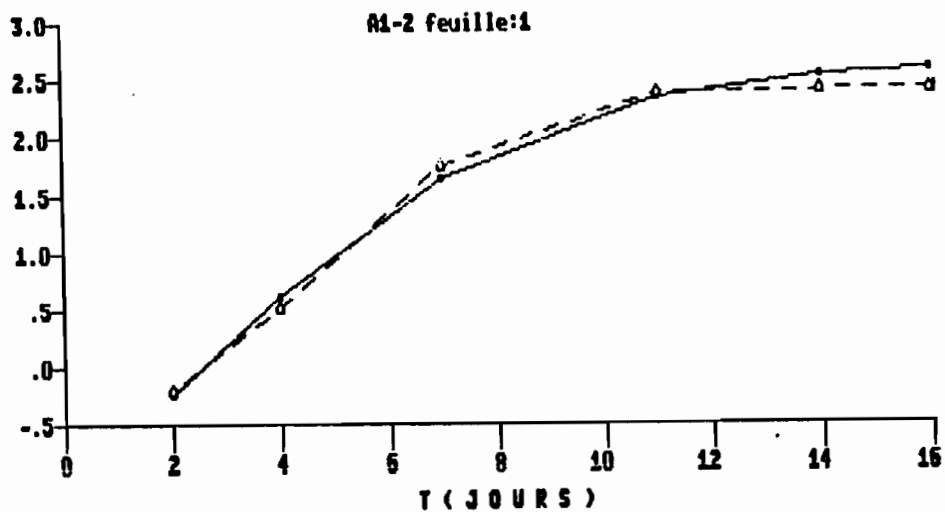


Figure 26 : Courbe de croissance de la surface foliaire (atrazine) et ajustement de la fonction de Richards aux données expérimentales (trait discontinu).

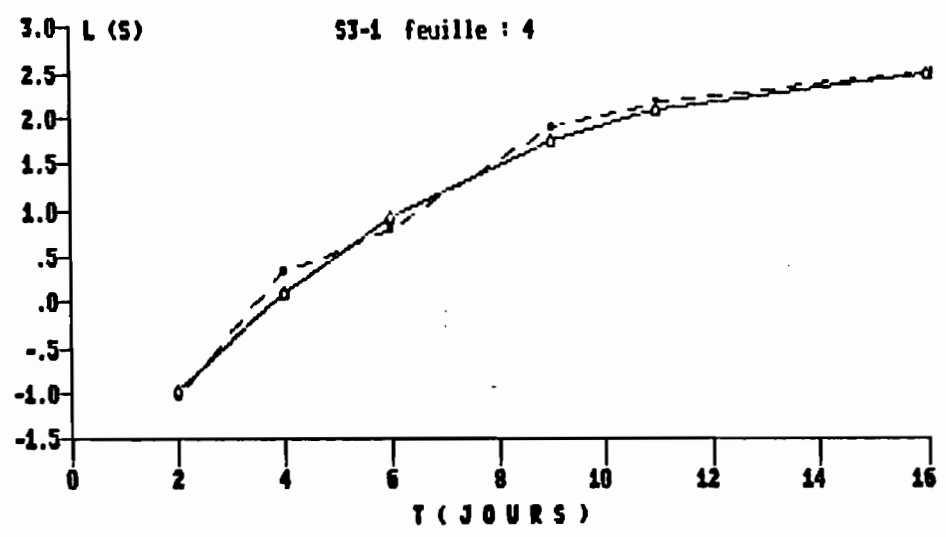
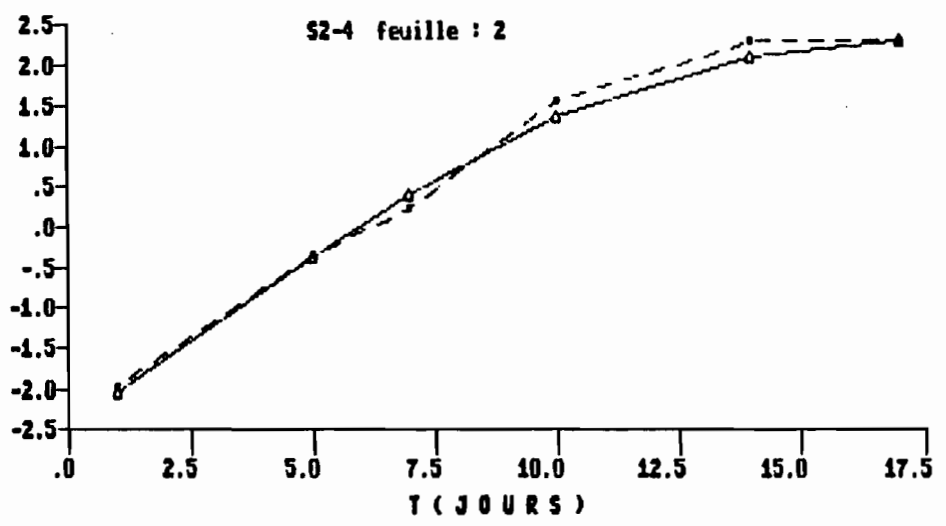
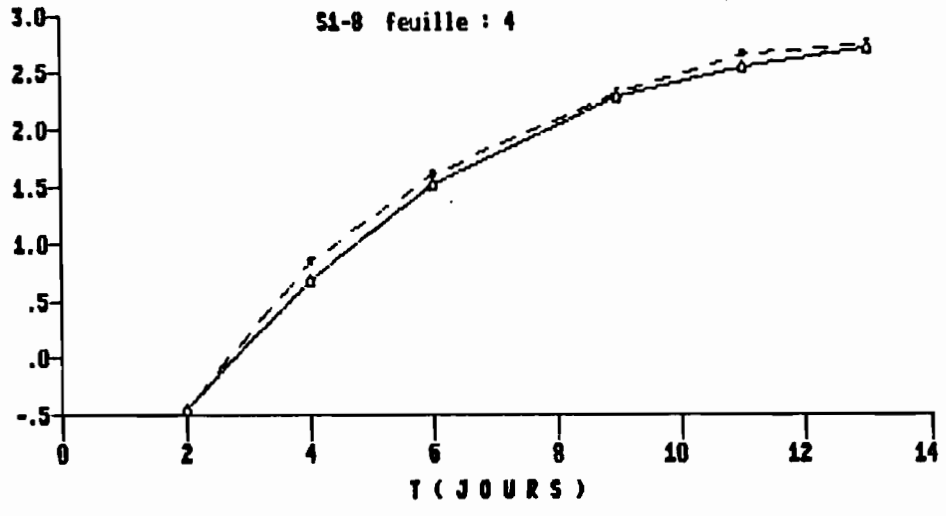


Figure 27 : Courbe de croissance de la surface foliaire (simazine)  
et ajustement de la fonction de Richards aux  
données expérimentales (trait discontinu).

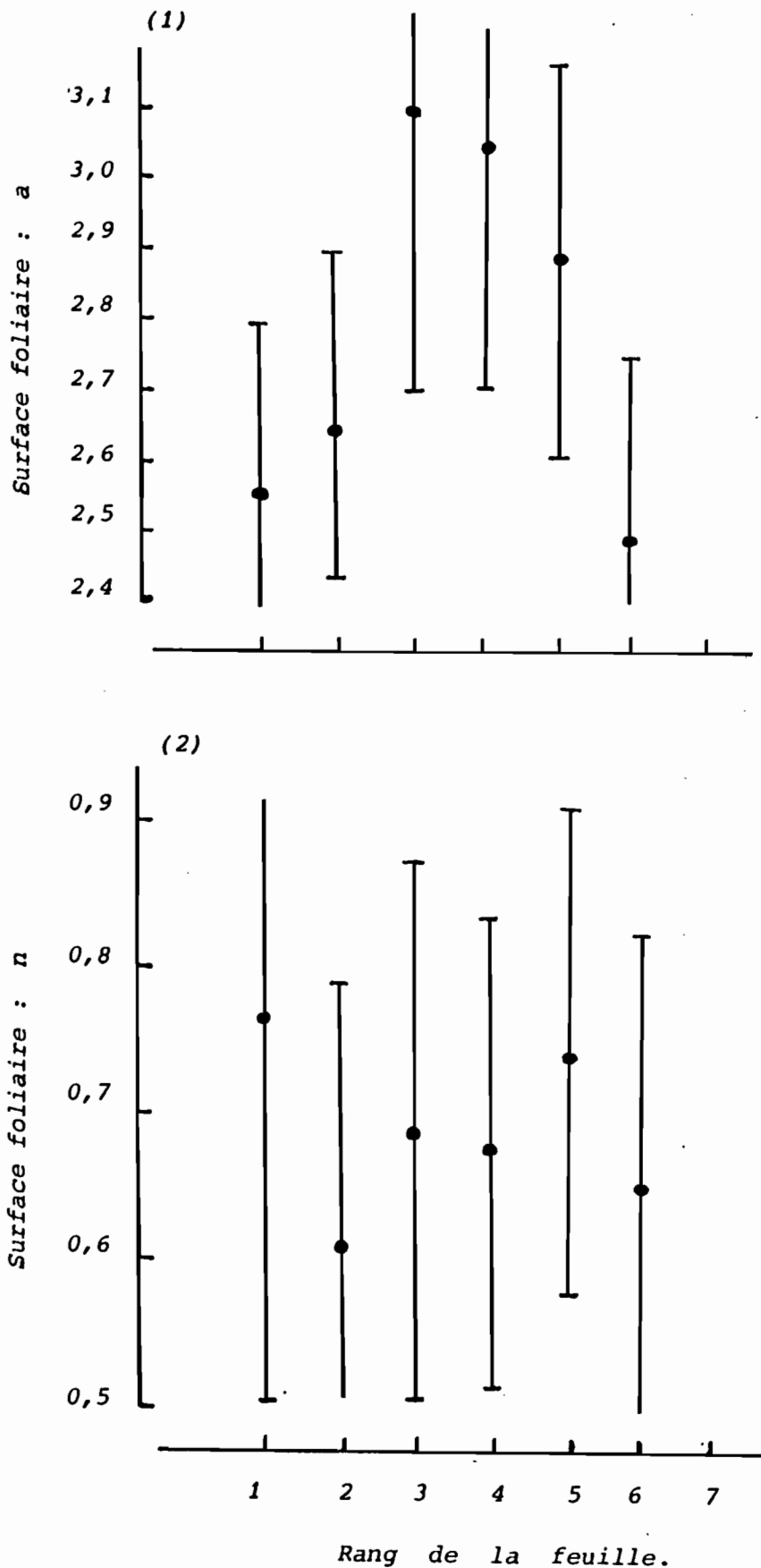


Figure 28 : Estimation des paramètres de la fonction de Richards avec un intervalle de confiance à 95 % pour la surface foliaire : a , (1) et n , (2) des plantules traitées à l'atrazine.

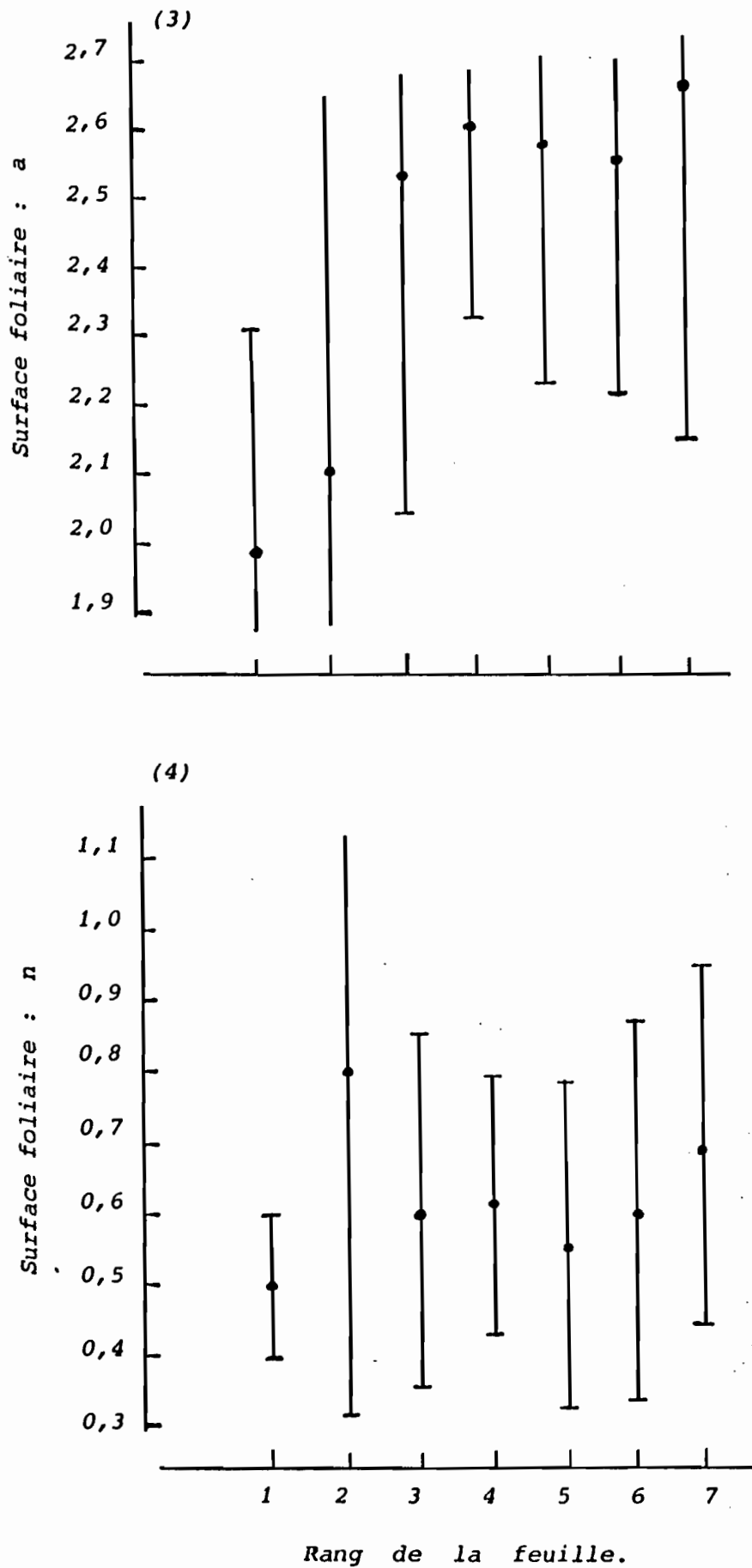


Figure 29 : Estimation des paramètres de la fonction de Richards avec un intervalle de confiance à 95 % , pour la surface foliaire : a , (3) et n , (4) des plantules traitées à la simazine.

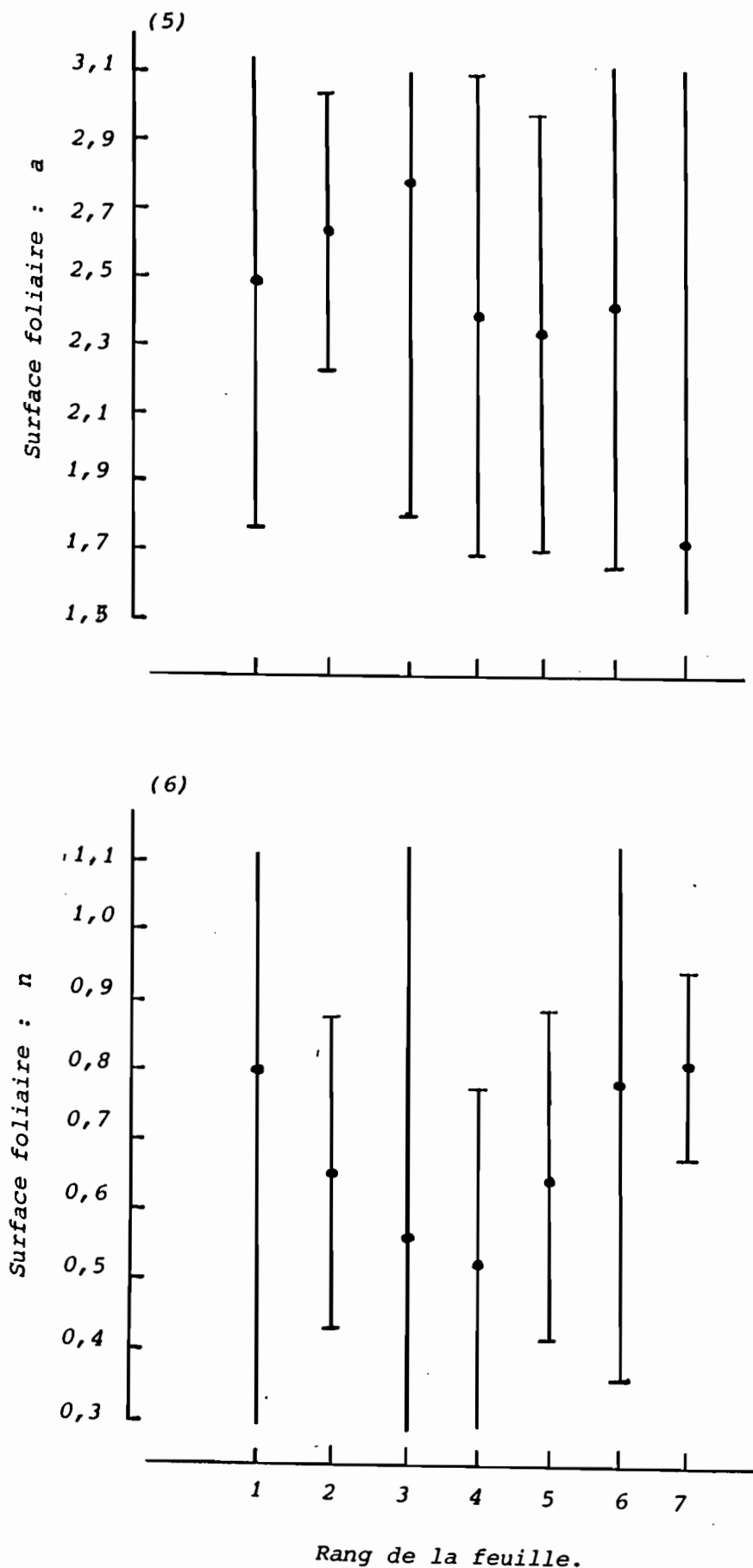


Figure 30 : Estimation des paramètres de la fonction de Richards avec un intervalle de confiance à 95 % , pour la surface foliaire : a , (5) et n , (6) des plantules non traitées.



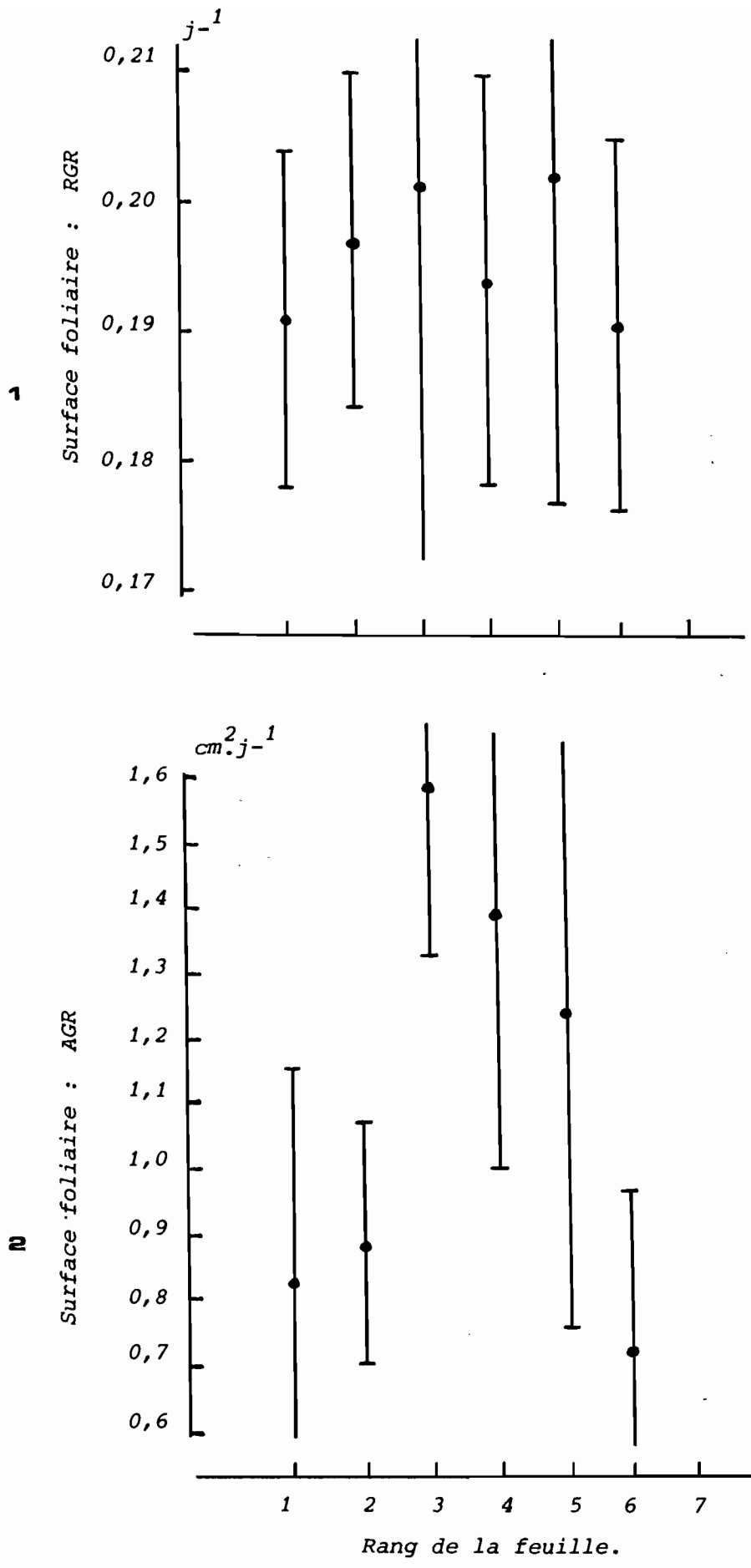


Figure 31 : Estimation des paramètres secondaires de la fonction de Richards avec un intervalle de confiance à 95 %, pour la surface foliaire : RGR, (1) et AGR, (2) des plantules traitées avec l'atrazine.

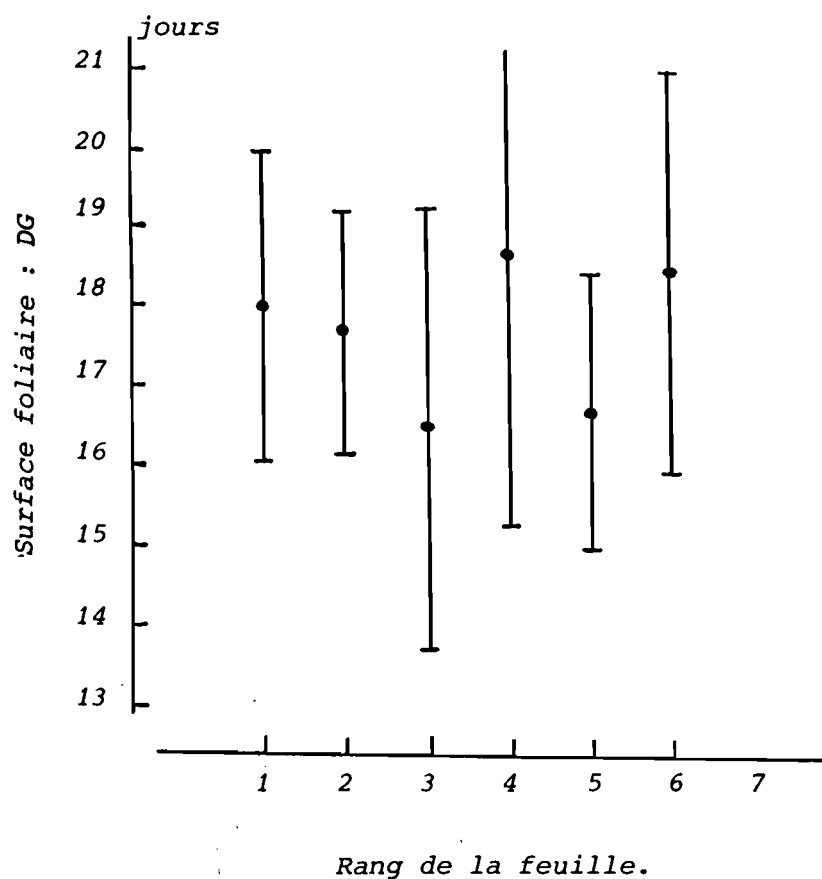


Figure 32 : Estimation de la durée de croissance : DG , de la fonction de Richards avec un intervalle de confiance à 95 % , pour la surface foliaire des plantules traitées avec l'atrazine.

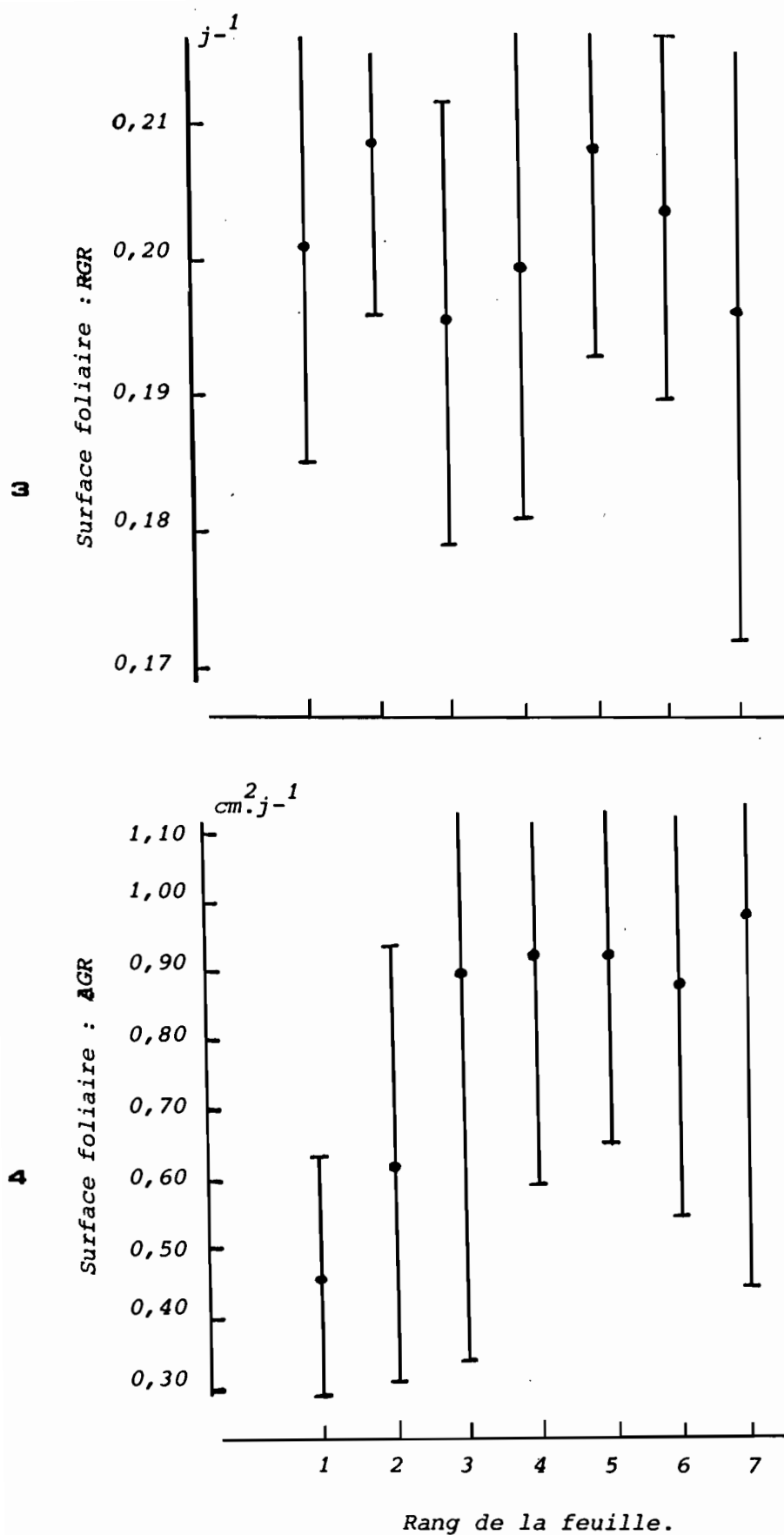


Figure 33 : Estimation des paramètres secondaires de la fonction de Richards avec un intervalle de confiance à 95 %, pour la surface foliaire : RGR , (3) et AGR , (4) des plantules traitées avec la simazine.

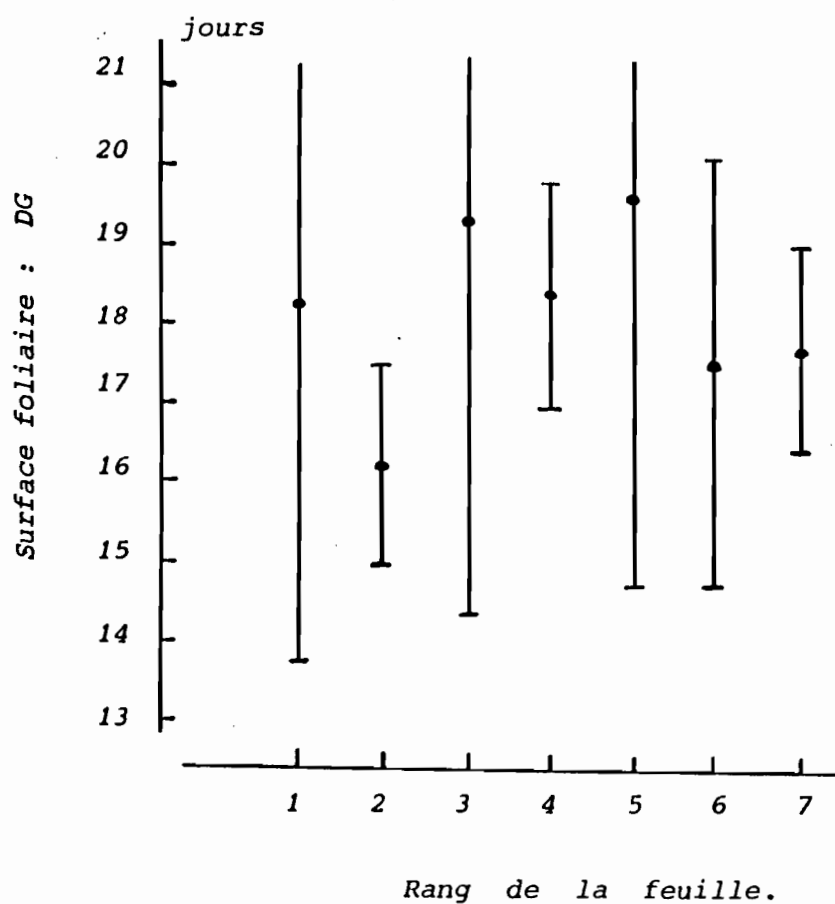


Figure 34 : Estimation de la durée de la croissance : DG , de la fonction de Richards, avec un intervalle de confiance à 95 % , pour la surface foliaire des plantules traitées avec la simazine.

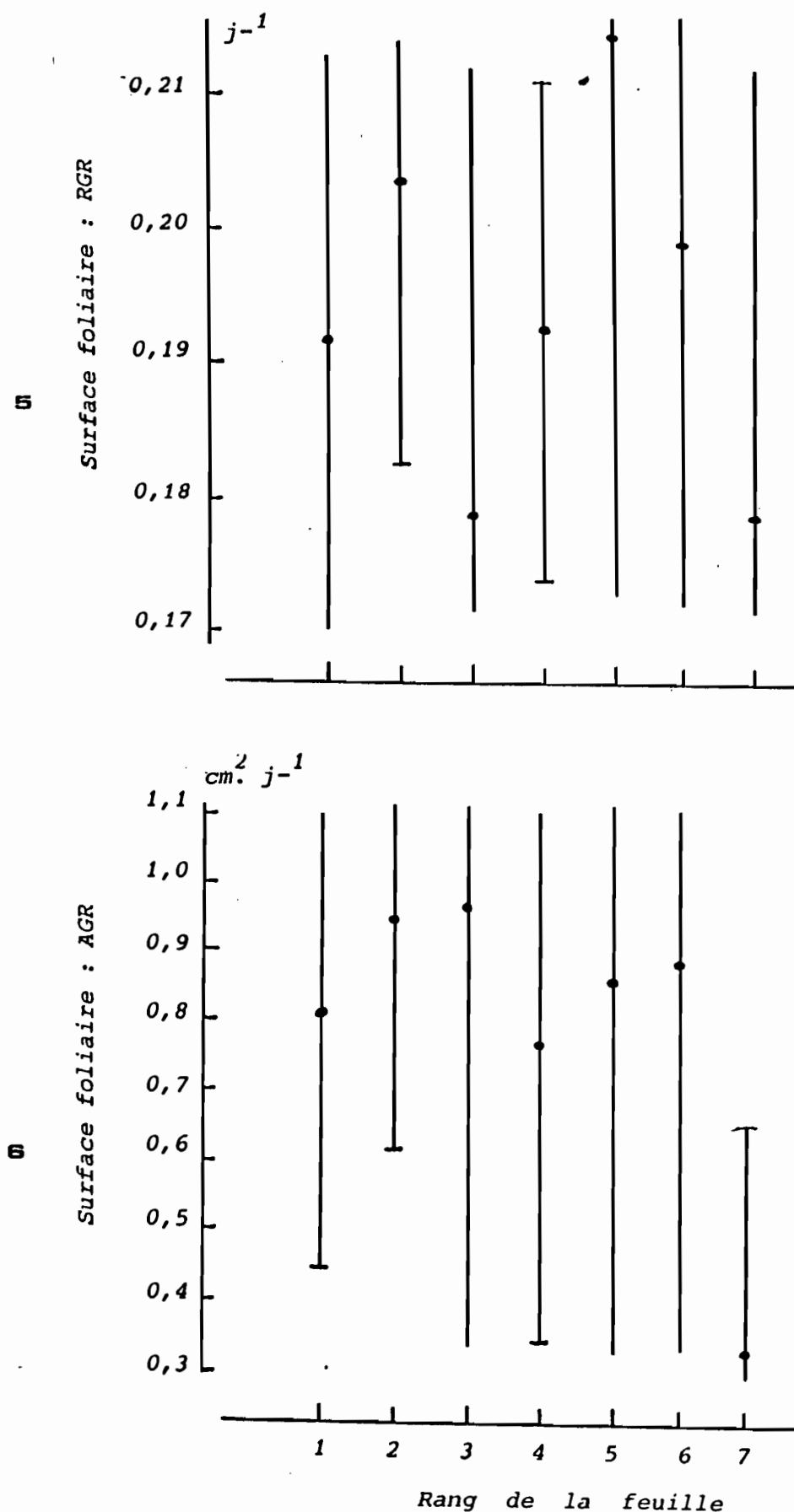
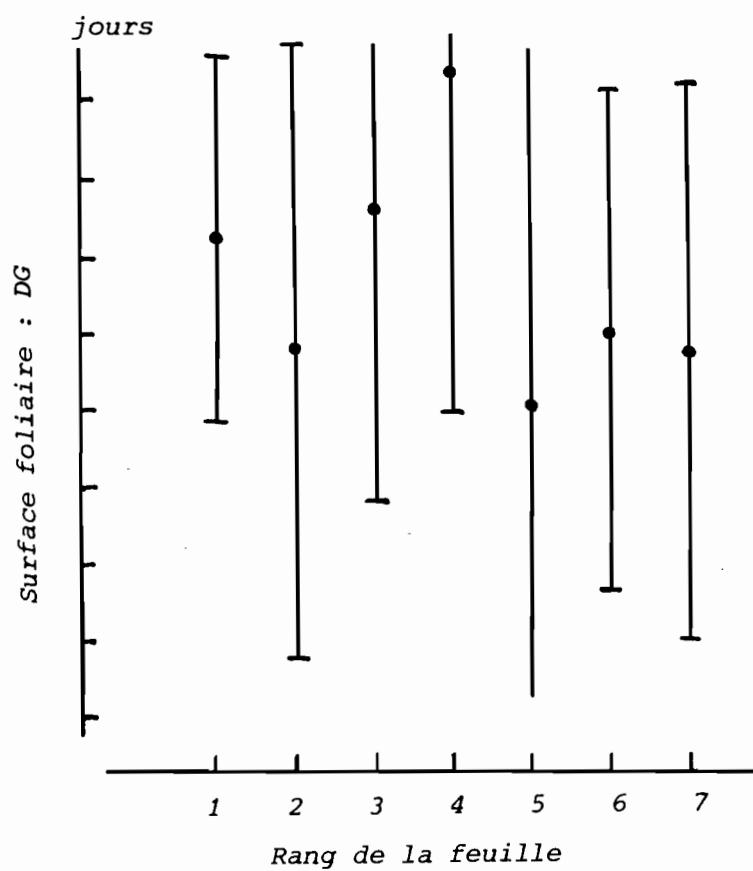


Figure 35 : Estimation des paramètres secondaires de la fonction de Richards avec un intervalle de confiance à 95 % , pour la surface foliaire : RGR , (5) et AGR , (6) des plantules non traitées.



**Figure 36 : Estimation de la durée de croissance :  $DG$ , de la fonction de Richards, avec un intervalle de confiance à 95 %, pour la surface foliaire des plantules non traitées.**

#### 4 - 7 - 6 Etude des profils de croissance foliaire

Les études précédentes nous ont permis de définir un certain nombre de caractéristiques (paramètres : (a), AGR, RGR et DG) directement liées à la croissance foliaire ; ces études restaient attachées jusqu'à présent à l'aspect individuel de l'organe visé. Nous allons donc maintenant envisager l'étude de l'ensemble des organes de même nature morphologique, générés par un méristème primaire : la superficie des limbes des feuilles d'un même axe. Cette étude introduit la notion de série organique où chaque élément est désigné par son rang ou sa position (Buis et Barthou, 1984). La notion de profil est étroitement liée à la notion de série organique dans la mesure où elle permet de la formaliser correctement en définissant une "enveloppe" ou une cinétique d'édification du corps végétal.

L'étude des profils suppose que certaines hypothèses de base sont vérifiées.

- Les différents éléments d'une même série suivent une même fonction de croissance organique. Il s'agira ici de la fonction de Richards appliquée à la croissance foliaire de Quercus sessiliflora.

- Cette fonction ne diffère d'un élément à l'autre que par la valeur numérique des paramètres.

- La fonction de croissance peut alors s'écrire de la manière qui suit :  $y = F(x, t, \tau, P)$ .

où  $x$  = rang de l'élément de série,  
 $t$  = le temps,  
 $\tau$  = le plastochrone,  
 $P$  = ensemble des paramètres estimés.

La dernière notion introduite dans ce chapitre est celle du plastochrone  $\tau$ . Ce terme désigne la durée séparant l'arrivée de deux feuilles successives à un même état de développement. Le plastochrone  $\tau$  est appelé généralement paramètre retard et permet de définir une nouvelle variable temporelle :  $T = t - (x - 1)\tau$

La fonction de Richards devient donc :

$$L = A \left[ 1 \pm e^{(b - k(t - (x - 1)\tau))} \right]^{-1/n}$$

En reprenant la transformation log nous avons :

$$l = a - \frac{1}{n} \text{Log} \left[ 1 \pm e^{(b - k(t - (x - 1)\tau))} \right]$$

où chacun des paramètres estimés possède une certaine variabilité sur la même série organique. La feuille de rang  $X$  n'a pas les mêmes valeurs pour  $A$ ,  $b$ ,  $k$  et  $n$  que la feuille de rang  $x+1$  ou  $x+2$ .

Nous avons donc utilisé la méthode du polynôme d'interpolation de Lagrange afin d'intégrer ces variabilités dans l'équation. Pour chacun des paramètres de l'ensemble  $P$  de la série organique considérée, les polynômes recherchés s'écrivent chacun sous la forme :

$$P(x) = \sum_{i=0}^n b_i \frac{\prod_{\substack{s=0 \\ s \neq i}}^n (x - a_s)}{\prod_{\substack{s=0 \\ s \neq i}}^n (a_i - a_s)} \quad \text{avec : } b_i = A \frac{\prod_{s=0}^n (a_i - a_s)}{\prod_{\substack{s=0 \\ s \neq i}}^n (a_i - a_s)}$$



Chacun des paramètres a été exprimé par un polynôme du 5<sup>eme</sup> degré pour une série organique composée de six feuilles. L'étude des profils a été appliquée à la série des surfaces foliaires mesurées sur chaque placette et regroupée suivant le type de traitement. Nous dégageons ainsi trois profils de croissance foliaire caractéristiques du traitement étudié. (Figure 37 à 39). Nous avons représenté le rang foliaire en abscisse, la surface foliaire (cm<sup>2</sup>) en ordonnée, et une courbe pour chaque temps (t = 3, 5, 8, etc...) exprimé en jours. Chaque figure traduit l'évolution de la croissance foliaire sur les premiers rangs foliaires où l'on note, par exemple, qu'au temps t = 3 j, la surface du limbe de rang 1 est en moyenne de 0,33 cm<sup>2</sup> pour les traités à la simazine, de 0,40 cm<sup>2</sup> pour l'atrazine et de 1 cm<sup>2</sup> pour les témoins ; le rang 4 apparaît au temps t = 8 j ou autrement dit la taille du limbe devient quantifiable à compter de ce temps.

On peut donc observer à l'aide de ces figures la construction progressive de l'édifice végétal jusqu'à sa stabilisation pour un temps t = 20 j, notamment sur les 2 premiers rangs. La durée moyenne de croissance est un peu supérieure à celle obtenue dans le chapitre précédent (4-6-5-3), car nous avons retenu une valeur moyenne du plastochrone  $\tau$ , égale à 2 jours, quelque soit le rang, pour les 3 profils, et qui influe directement sur la taille finale atteinte par chaque limbe.

Nous avons vu dans le chapitre précédent (4-7-5-3), que la taille maximum des feuilles et que les taux de croissance foliaire

n'étaient pas significativement différents entre les traitements mais qu'ils l'étaient entre les rangs foliaires au sein de chaque traitement. L'étude des profils foliaires, quant à elle, fait apparaître une tendance à une différenciation de la cinétique d'édification du système aérien suivant le traitement. En effet, nous remarquons tout d'abord une certaine similitude de "l'enveloppe" sur les 3 premiers rangs, quelque soit le traitement, puis une régularité de la cinétique de croissance chez les traités à partir du 3ème rang (jusqu'au 6ème rang pour l'atrazine et le 5ème rang pour la simazine), alors que les témoins amorcent au 5ème rang un retour à la périodicité de départ.

Finalement, nous constatons qu'à travers l'étude des profils de croissance, les plantules traitées sont les seules à maintenir un rythme de croissance assez stable au delà du 3ème rang foliaire, au cours du premier "flush". Les surfaces foliaires des primordiums des plantules traitées à la simazine sont en général inférieures à celles des témoins ou des traitées à l'atrazine, mais après le 3ème rang, les surfaces foliaires des témoins sont globalement dépassées (t=20j) par celles des traitées.

Enfin, nous noterons que la dynamique de croissance foliaire à travers l'analyse des profils recouvre assez bien la variabilité, suivant le rang, du paramètre AGR (taux de croissance absolue).

SURFACE (cm<sup>2</sup>)

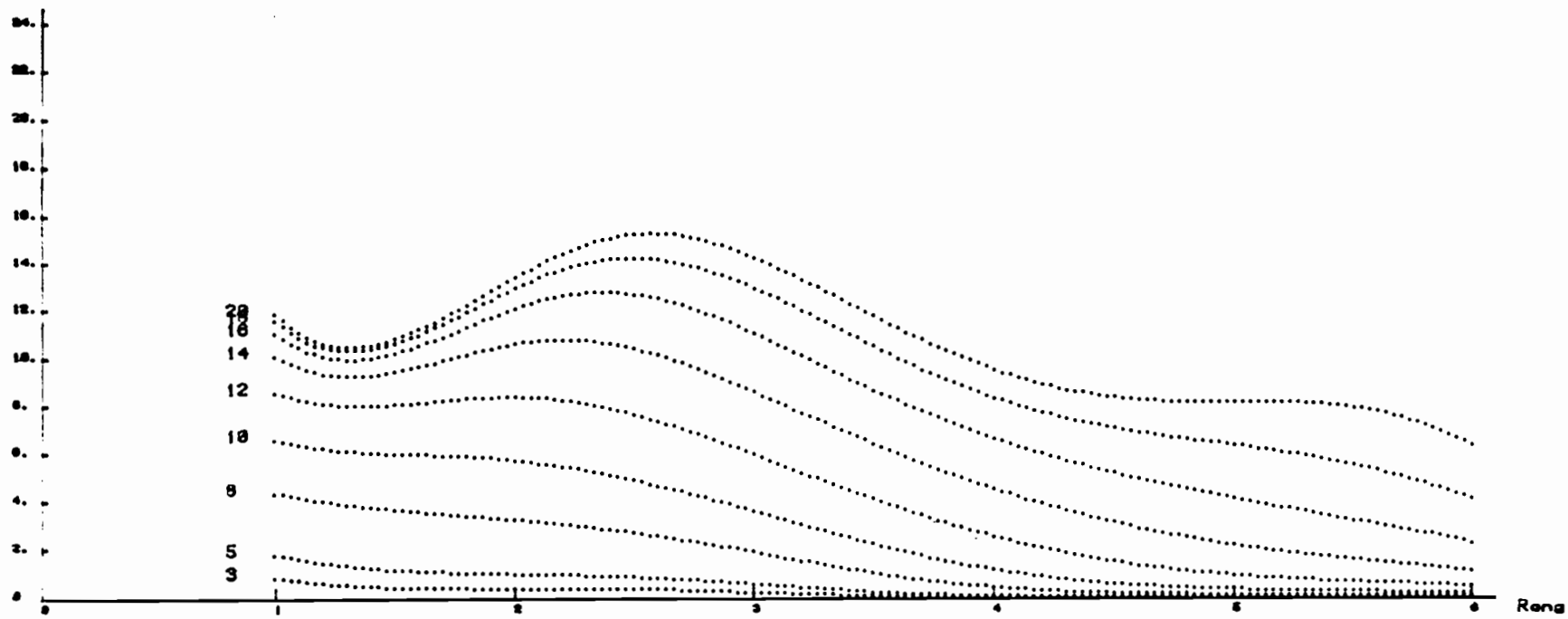


Figure 37 : PROFIL de CROISSANCE FOLIAIRE pour les TEMOINS

SURFACE (cm<sup>2</sup>)

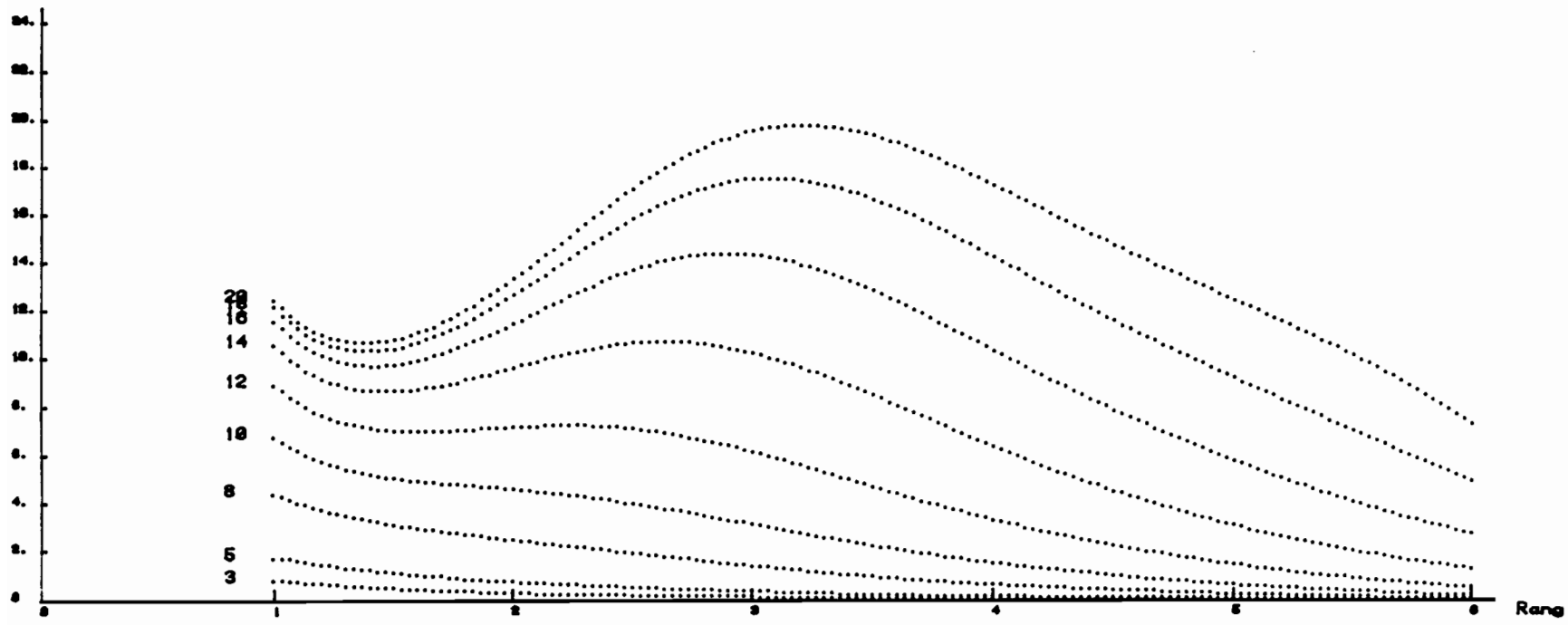


Figure 38 : PROFIL de CROISSANCE FOLIAIRE pour les Traites: ATRAZINE

SURFACE (cm<sup>2</sup>)

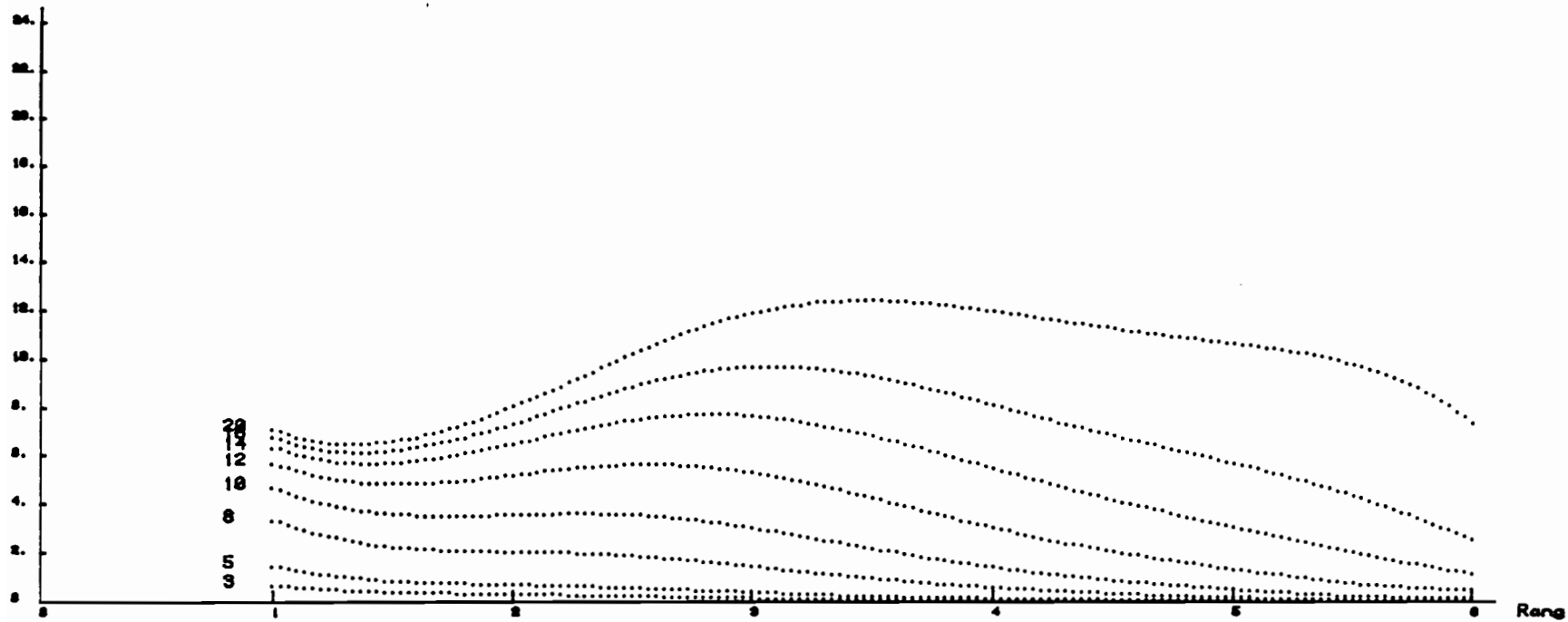


Figure 39 : PROFIL de CROISSANCE FOLIAIRE pour les Traitements SIMAZINE

4 - 8      Analyse des données du système aérien  
                  à la fin de la 2<sup>ème</sup> année de végétation

L'hypothèse qui a guidé cette étude statistique a été de considérer que deux ans après leur application, les herbicides avaient pu perdre de leur efficacité, en effet, la végétation reprenait pied dans les zones traitées (Erica cinerea L.). Il apparaît donc intéressant d'effectuer une nouvelle classification des plantules en fonction de certaines variables rapidement mesurables. Nous avons retenu les facteurs suivants, par plantule :

- NCR : - Nombre de croissances observées ou "flush" de la tige principale
- NRM : - Nombre de ramifications secondaires
- NFS : - Nombre total de feuilles saines
- NFO : - Nombre de feuilles avec oïdium
- NFA : - Nombre de feuilles attaquées (insectes, etc...).

Dans un premier temps une analyse factorielle des correspondances a permis de mettre en évidence une très forte contribution des variables NFS, NFO et NFA à la dispersion des 75 individus recensés à la fin de la 2<sup>ème</sup> année de végétation, sur le plan factoriel 1 - 2 (Annexe 3 ).

Afin de pouvoir distinguer avec plus de précision les groupes de plantules, en relation avec chacune des variables, nous avons procédé à une analyse des classes par la méthode d'agrégation en boules de rayon fixe et centres optimisés ou boules optimisées (Flamenbaum et al., 1979).

A partir d'une valeur du rayon maximum (R), égale au début à l'inertie globale calculée par une classification hiérarchique ascendante, la méthode permet, après un certain nombre d'itérations, de déterminer des classes d'individus, (classes 1 à 6 du Tableau 23), auxquelles sont associés des coefficients de contribution des variables à chacune de ces classes (exemple : NCR x C2 , NRM x C2 , dans le tableau 23).

L'élément permettant de déterminer le meilleur classement est le critère de qualité de l'information :  $Q$ , égal au produit du rapport de la variance interclasse à la variance totale :  $E$ , et du quotient de l'information par le maximum compatible avec le nombre de classes :  $G$ .

A chaque passage du programme BOULOP (1), un programme complémentaire permet de calculer le critère  $Q$  en fonction du rayon, de l'inertie inter-classe, du nombre de classes de la partition et des effectifs de chacune des classes.

De proche en proche, nous déterminons le meilleur classement en fonction du critère  $Q$  ; le critère le plus élevé est  $Q = 34,4 \%$  (tableau 22) retenu pour  $R = 0,50$ .

(1) Module de la bibliothèque de programmes d'analyse de données : ADDAD , du CIRCE (Université d'ORSAY).

R	E ( % )	G ( % )	Q ( % )
0,46	80,9	36,5	29,5
0,47	80,9	36,5	29,5
0,48	72	31,2	22,5
0,49	72	31,2	22,5
0,50	83,1	41,4	34,4
0,51	73,9	35,4	26,1
0,52	71,1	35,5	22,4

Tableau 22 : Evolution du critère Q en fonction du rayon R, E et G.

La méthode des boules optimisées peut donc conduire à l'établissement d'un profil des classes en rapport avec le coefficient de contribution des variables (figure 40).

Il y a autant d'axes horizontaux qu'il y a de variables et ces axes sont répartis suivant une échelle arbitraire le long d'un axe vertical où la valeur de chaque intersection est le coefficient moyen de contribution de chaque variable (tableau 23).

Nous répartissons chaque classe le long des axes horizontaux en fonction du coefficient de contribution de chaque variable ; exemple : la position de la classe 3 pour NCR est  $162 - 96 = 66$  (à droite de l'axe vertical) et la position de la classe 2 pour NCR est  $88 - 96 = -8$  (à gauche de l'axe vertical).



La variable NFO est très fortement associée à la classe 3, plus faiblement à la classe 1 (NFO x C2 = 688 et NFO x C2 = 372).

La variable NFA est très associée à la classe 4.

La variable NFS est associée avec une intensité décroissante aux classes 5, 2 et 6.

La variable NRM s'associe plus particulièrement avec la classe 6.

La variable NCR contribue faiblement à la classe 3.

Nous avons donc un lien direct entre les différentes classes d'individus et les variables contribuant le plus à chacune de ces classes.

Nous en déduisons donc les remarques suivantes :

- les plantules traitées sont plus particulièrement exposées au parasitisme par l'oïdium (40 % des traités) que les témoins (6 % des témoins), qui bénéficient toujours à la fin de la 2<sup>ème</sup> année végétative de l'effet d'ombre des herbacées et des semenciers (Chevillotte, 1981) ;

- la prédation foliaire s'exerce aussi bien sur les traités que sur les témoins mais avec une certaine prédominance sur les plantules traitées à la simazine (classe 4) ;

- la proportion de plantules à feuilles saines est largement majoritaire parmi les témoins : 68 % contre 39 % pour les traités, avec une faible tendance des témoins à développer des ramifications secondaires alors que les traités favoriseraient des développements successifs de l'organogénèse apicale (2 à 3 "flushes").

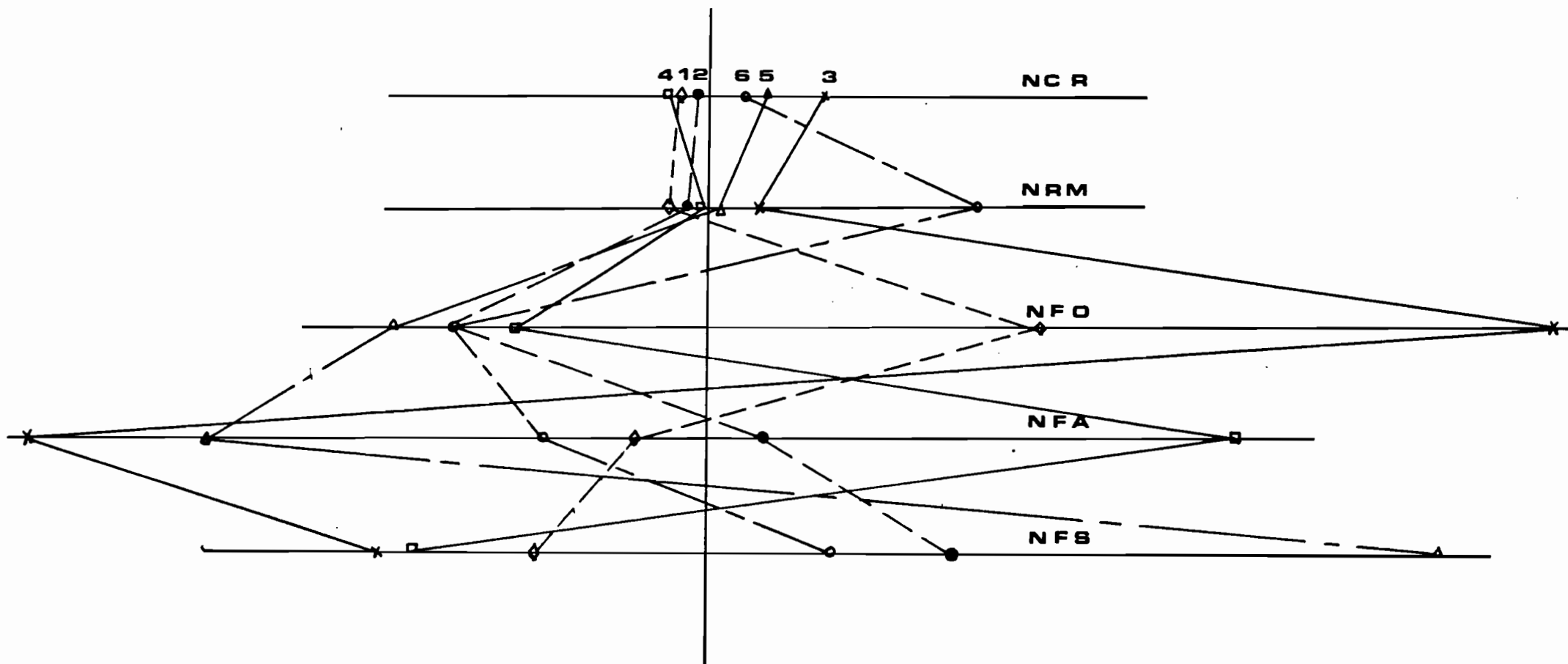


Figure 40 : Profil des classes issu d'une analyse des données : les boules optimisées.

\*\*\*\*\*  
 + DESCRIPTION DU NUAGE +  
 \*\*\*\*\*

INDIVIDUS 70  
 VARIABLES 5  
 INERTIE TOTALE 0.74589

\*\*\*\*\*  
 + DESCRIPTION DE LA CLASSIFICATION +  
 \*\*\*\*\*

NOMBRE DE CLASSES 6  
 INERTIE INTERCLASSES 0.62006  
 INERTIE INTRACLASSES 0.12584

\*\*\*\*\*  
 + DESCRIPTION DES CLASSES + C1=10\*\*( 3) C2=10\*\*( 3)  
 \*\*\*\*\*

CLASSE	1	2	3	4	5	6
EFFECTIF	121	151	111	141	121	61
RAYON*C1	7051	5811	6891	5151	6611	7891
POIDS	2361	2371	1001	2691	1221	341
XINTER	9.71	8.91	31.91	19.51	27.51	2.51
XINTRA	17.01	31.21	12.11	20.51	15.21	4.11
VCR *C2	961	801	881	1621	721	1331
VRM *C2	871	631	741	1161	841	961
VFO *C2	1861	3721	351	6881	721	01
VFA *C2	4361	3921	4651	321	7471	1391
VFS *C2	1931	911	3361	01	211	6311
CLASSE NUMERO 1	A104	A110	A203	A205	A215	A222
	N105	S104	S105	S201	S208	S304
CLASSE NUMERO 2	A101	A107	A214	N209	N308	S103
	S106	S108	S115	S117	S204	S207
	S210	S301	S306			
CLASSE NUMERO 3	A102	A105	A109	A202	A216	A303
	S110	S206	S209	S302	S303	
CLASSE NUMERO 4	A103	A210	A211	N201	N205	N306
	S101	S102	S107	S109	S112	S202
	S203	S205				
CLASSE NUMERO 5	A201	A208	A220	A304	N103	N109
	N208	N301	N307	S111	S114	S116
CLASSE NUMERO 6	N202	N206	N302	N304	N305	S113

Tableau 23 : Description de la classification et des classes obtenues par la méthode des boules optimisées.

## DISCUSSION ET CONCLUSIONS

4

Les études sur la croissance des plantes supérieures font appels de plus en plus à des techniques biomathématiques (Causton & al., 1978; Hadley, 1978; Venus & Causton, 1981; Buis & Barthou, 1984) comme compléments indispensables à une meilleure connaissance de la dynamique des phénomènes biologiques et physiologiques.

La croissance de Quercus sessiliflora a été très peu étudiée jusqu'à présent sur un plan biomathématique et notamment à son stade plantulaire, in situ, et en liaison avec différents traitements chimiques. Nous avons donc développé d'un point de vue méthodologique, un certain nombre de techniques (régressions simples et multiples) afin de pouvoir suivre la dynamique de croissance, sur les mêmes individus, dans un contexte écologique déterminé.

La plupart des conclusions ont été faites à partir d'analyses statistiques et d'analyse de données (boules optimisées). Il ressort que sur l'ensemble des résultats obtenus in situ, nous observons une grande variabilité des mesures et plus particulièrement pour celles concernant les données foliaires.

L'analyse du modèle de croissance foliaire, d'après la fonction de Richards ne fait pas apparaître de différences significatives entre les tailles maximums des feuilles et les taux de croissance relative, suivant le type de traitement chimique. Par contre les différences, au sein des plantules traitées, que nous observons entre les rangs foliaires sont significatives à partir du rang 3; aucune différence n'est apparue chez les témoins.

La généralisation du modèle à une même série organique (tige feuillée), par l'étude des profils foliaires, montre nettement, la tendance après le 3ème rang foliaire, au dépassement de la surface foliaire des témoins par celle des traitées.

L'étude de la dynamique de croissance foliaire de Quercus sessiliflora avec le modèle de Richards, montre la bonne adaptabilité de ce dernier à suivre les oscillations importantes des différents taux de croissance foliaire. La croissance de chaque feuille, jusqu'au rang 6 en moyenne, pour le premier "flush" et sur l'ensemble des traitements a été décrite avec la fonction de Richards. L'importance des écarts-types pour les paramètres primaires A et n et les paramètres secondaires AGR, RGR et DG nous montre la forte irrégularité du taux de croissance du feuillage entier qui s'explique par la sensibilité des semis à la température (Lamond et Champagnat, 1980).

Par ailleurs la variabilité des taux de croissance foliaire entre individus d'un même traitement, placés dans des conditions environnementales identiques (semis traités), nous permet de constater une certaine individualisation du comportement physiologique des semis pour l'espèce Quercus sessiliflora ou le constat d'une certaine identité génétique.

Une étude plus complète de la dynamique de la croissance de cette espèce reste à faire en considérant à la fois les entités feuilles, tiges et racines par mesure de poids sec en fonction du temps, mais qui, dans le cas d'une étude in situ et dans le

cadre d'une parcelle en régénération, présente l'inconvénient d'avoir à détruire les semis et suppose donc de disposer d'une grande quantité de plantules, ce qui n'était pas le cas pour la parcelle 329.

Les études de photosynthèse sur les feuilles du premier stade de développement nous montrent une intense activité photosynthétique dès les premiers stades de croissance foliaire et par conséquent un relatif comportement autotrophe des semis puisque ceux-ci contribuent à un apport de réserves glucidiques en plus de celles fournies par le gland. Certains éclaircissements semblent plus favorables que d'autres à assurer une croissance soutenue dès le premier "flush", le nombre de feuilles moyens dans le cas de la simazine est égal à 7,74 alors qu'il tombe à 5,48 pour les témoins et à 4,50 pour l'atrazine, ce qui devrait nous conduire à étudier en fonction du temps, la distribution spectrale du rayonnement solaire en relation avec les conditions environnementales créées par les différents traitements chimiques et mécaniques, pour définir ainsi un optimum de croissance pour Quercus sessiliflora.

Nous n'avons pas constaté de différence significative entre les différents traitements quant à la germination et à l'accroissement des tiges au cours de la première année de végétation. Par contre, la densité des plantules à la fin de la deuxième année végétative est très différente d'un traitement à l'autre (figure 12). Les témoins et les "atrazines" ont perdu environ 50 % de leurs effectifs chacun et les "simazines"

seulement 8 %. La baisse des effectifs dans le cas des témoins est le fait de la compétition exercée par les herbacées et semenciers assez proches ( 5m ) mais pour l'atrazine ou les compétiteurs sont absents comme pour la simazine, les pertes d'effectifs sont apparemment dues à un manque d'effet d'ombre ou à une action lente de l'atrazine sur les racines qui contrairement à la simazine est un peu soluble dans l'eau (28 ppm). D'autre part les semis traités se caractérisent par une organogénèse apicale et axillaire plus soutenue que dans le cas des témoins, qui se traduit par une augmentation très nette de la surface foliaire totale et un accroissement de la capacité photosynthétique totale.

L'utilisation des analyses de données dans l'étude des populations végétales est encore peu répandue, la méthode des boules optimisées nous permet de mettre en évidence la relative vulnérabilité des plantules traitées, aux attaques parasitaires (oïdium) et à la prédation foliaire par rapport aux plantules témoins.

Ces attaques parasitaires sont d'autant plus préjudiciables au développement des plantules qu'elles modifient très rapidement le fonctionnement physiologique de la plante en diminuant le taux de photosynthèse nette, et la photorespiration, en augmentant le taux de transpiration et la respiration nocturne chez les jeunes feuilles comme nous le montrent Hewitt et Ayres (1975) dans une étude sur l'infection des feuilles de Quercus robur par Microsphaera alphitoïdes.

	A 1	B h	A 21	A 22	B
<b>MATIERE ORGANIQUE</b>	<b>E en 10<sup>-3</sup> du sol à l'Air</b>				
Mat...org...tot... en 10 <sup>-2</sup>	3,4	7,7	1,0	0,5	0,5
C (Meth. Coulomet.)	19,78	44,80	5,87	2,94	3,04
N (Meth. Kjeld. Techn.)	1,40	2,60	0,42	0,29	0,25
C/N	14,0	17,2	13,8	9,9	11,9
<b>COMPLEXE ADSORB...</b>	<b>D en milli-équivalents (m-é) pour 100g de sol sec à l'Air</b>				
Avec 10g de sol Ca <sup>++</sup>	0,25	0,63	0,06	0,03	0,07
et 200 ml de : Mg <sup>++</sup>	0,05	0,17	0,02	0,02	0,02
K <sup>+</sup>	0,01	0,15	0,01	0,01	0,01
Na <sup>+</sup>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Somme	0,32	0,96	0,10	0,07	0,11
T (Ca) à pH 7-0	7,5	11,5	3,0	2,0	2,0
100 S/T = V %	4	8	3	4	6
pH H <sub>2</sub> O (20g/50ml)	4,5	4,3	5,1	5,1	5,2
pH KCl 1N (20g/50ml)	3,5	3,3	4,3	4,5	4,5

Annexe 1A : Analyse chimique sur les horizons de la Parcelle 329 :  
Matière organique et complexe adsorbant.



	A 1	B H	A 21	A 22	B
<i>Fraction analysée</i>	SOL FIN 0-2 mm $\phi$				
<i>Perte au feu totale</i>	4,40	8,65	1,90	1,23	1,35
<i>Résidu total :</i>	89,65	85,60	92,90	93,40	92,55
<i>SiO<sub>2</sub> "Silicates"</i>	2,80	2,80	2,25	2,40	2,85
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	1,85	1,45	1,75	1,70	1,80
<i>Fe total en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	1,00	0,78	0,80	0,80	0,90
<i>Ti O<sub>2</sub></i>	0,32	0,29	0,30	0,32	0,32
<i>Mn O<sub>2</sub> : N ou Mn O : P</i>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
<i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i>	0,03	0,05	0,02	0,01	0,02
<i>Ca O</i>	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05
<i>Mg O</i>	0,09	0,08	0,09	0,11	0,11
<i>K<sub>2</sub>O</i>	0,16	0,15	0,15	0,17	0,18
<i>Na<sub>2</sub>O</i>	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03
<i>TOTAL (G ou Z)</i>	100,42	99,96	100,25	100,23	100,17
<i>Si O<sub>2</sub> / R<sub>2</sub> O<sub>3</sub></i>	1,90	2,43	1,68	1,84	2,03
<i>Si O<sub>2</sub> / Al<sub>2</sub> O<sub>3</sub></i>	2,56	3,27	2,18	2,39	2,68
<i>Ca O% x 35,663338</i>	2,14	2,14	1,78	1,78	1,78
<i>Mg O% x 49,603174</i>	4,46	3,97	4,46	5,46	5,46
<i>K<sub>2</sub> O% x 21,231423</i>	3,40	3,18	3,18	3,61	3,82
<i>Na<sub>2</sub> O% x 32,26118</i>	1,61	1,29	0,97	0,97	0,97
<i>Somme des mé</i>	11,61	10,58	10,39	11,82	12,03
<i>Minéraux identifiés :</i> <i>Rayons X</i> <i>Microscope polarisant</i>	quartz trac.Felds paths	quartz	quartz	quartz traces Feldspaths	quartz trac.Feldsp.
<i>H<sub>2</sub>O - % du Sol Fin Sec</i>	0,86	1,29	0,58	0,37	0,45

Annexe 1B : Analyse totale sur sol fin de la parcelle 329 :

Horizons A1, Bh, A21, A22, B.

TRAITEMENT DE A2-01 1

2.	6.	8.	11.	13.	16.	0.			
0.60	1.30	2.80	6.44	7.13	8.00	0.00			
-0.5108		0.2624	1.0296		1.8625	1.9643	2.0794		

A= 2.07944 B= 1.00000 K= 0.20000 N= 0.31270

VARIANCE DES PARAMETRES

0.00019	-0.00965	0.00076	0.00485
-0.00965	7.66103	-0.46173	-3.55440
0.00076	-0.46173	0.02811	0.21243
0.00485	-3.55440	0.21243	1.66015

CORRELATION PARAMETRES

1.00000	-0.24982	0.32314	0.26967
-0.24981	1.00000	-0.99495	-0.99666
0.32313	-0.99495	1.00000	0.98332
0.26967	-0.99666	0.98332	1.00000

A= 2.33621 B= 4.93986 K=-0.40464 N= 1.47518

ETK= 0.1606

-0.4673	0.5947	1.0850	1.6969	1.9796	2.2117
---------	--------	--------	--------	--------	--------

SE= -0.27915

TRAITEMENT TERMINE POUR A2-01 1

TRAITEMENT DE N3-01 2

2.	5.	7.	10.	14.	16.	0.			
0.90	3.38	6.12	13.44	20.35	20.35	0.00			
-0.1054		1.2179	1.8116	2.5982	3.0131	3.0131			

A= 3.01308 B= 1.00000 K= 0.20000 N= 0.27777

VARIANCE DES PARAMETRES

0.00003	-0.00314	0.00024	0.00059
-0.00314	2.03826	-0.12114	-0.37343
0.00024	-0.12114	0.00737	0.02190
0.00059	-0.37343	0.02190	0.06890

CORRELATION PARAMETRES

1.00000	-0.36638	0.48097	0.37740
-0.36639	1.00000	-0.98812	-0.99653
0.48098	-0.98812	1.00000	0.97175
0.37741	-0.99653	0.97175	1.00000

A= 3.16428 B= 3.02366 K=-0.34908 N= 0.73811

ETK= 0.0290

-0.1192	1.0972	1.7756	2.5060	2.9699	3.0643
---------	--------	--------	--------	--------	--------

SE= 0.39688

TRAITEMENT TERMINE POUR N3-01 2

ANNEXE 2A : ESTIMATION DES PARAMETRES DE LA FONCTION DE RICHARDS

-----  
 APPLIQUEE A LA SURFACE FOLIAIRE AVEC LA METHODE DE MARQUARDT.  
 -----

Annexe 2B : Valeurs des paramètres primaires et des variances sur  
la surface foliaire : Plantules A1-02 à S1-01.

PARC	NUM	A	B	K	N	VA	VH	VK	VN
A1-02	1	2.59971	2.02724	0.29731	0.67426	0.00005	9.090	0.01775	0.41547
A1-02	2	2.99629	3.02577	0.31464	0.77868	0.00002	1.910	0.00482	0.08584
A1-02	3	3.54340	3.02359	0.29959	0.77929	0.00002	1.629	0.00385	0.07259
A1-02	4	3.37149	4.01060	0.35667	0.81211	0.00006	4.106	0.01332	0.12192
A1-02	5	2.82699	3.02641	0.30881	0.71418	0.00008	4.183	0.01222	0.12088
A1-02	6	2.61604	3.01491	0.40744	0.80913	0.00010	6.640	0.03032	0.33525
A1-02	7	2.59789	4.02474	0.41927	0.82337	0.00011	4.796	0.02077	0.15371
A1-03	1	2.00333	2.98311	0.31769	0.85905	0.00009	4.630	0.01489	0.27312
A1-03	2	2.92781	2.02530	0.27719	0.49536	0.00005	6.124	0.01289	0.07371
A1-03	3	3.30430	3.01949	0.31973	0.74085	0.00004	2.604	0.00757	0.08915
A1-03	4	3.11376	3.01894	0.30886	0.75259	0.00017	8.944	0.02615	0.32001
A1-04	1	2.63329	3.99564	0.40619	0.90250	0.00011	3.950	0.01862	0.16943
A1-04	5	3.38644	2.02852	0.38389	0.40039	0.00005	4.433	0.01993	0.02155
A1-05	6	2.49374	2.03309	0.33954	0.45887	0.00021	26.011	0.07788	0.23742
A1-06	5	2.66138	3.02256	0.41491	0.77625	0.00004	2.693	0.01289	0.11414
A1-08	6	2.80780	1.03868	0.36354	0.23608	0.00017	135.728	0.28439	0.15721
A1-11	1	3.13136	4.02238	0.42459	0.84545	0.00002	6.848	0.00399	0.03004
A1-11	2	2.86217	3.05297	0.36951	0.68685	0.00020	18.481	0.06495	0.51486
A1-11	3	2.60083	4.00575	0.52546	0.82974	0.00015	5.746	0.04306	0.18187
A2-01	1	2.33621	4.93986	0.40464	1.47518	0.00019	7.665	0.02813	1.66097
A2-01	2	2.38878	2.00391	0.29486	0.47797	0.00001	1.712	0.00481	0.01694
A2-01	3	3.12766	4.00667	0.36838	0.80977	0.00002	1.021	0.00393	0.02854
A2-01	4	2.58191	3.99256	0.40738	0.91801	0.00008	2.694	0.01278	0.12388
A2-01	5	2.38659	3.02107	0.37170	0.76651	0.00015	8.935	0.03388	0.35967
A2-01	6	2.80558	3.02606	0.35258	0.73854	0.00013	7.363	0.02529	0.25352
A2-03	1	2.59854	2.02384	0.30580	0.46717	0.00003	4.976	0.01283	0.04782
A2-03	2	2.29461	1.01813	0.27674	0.26592	0.00002	7.548	0.01406	0.01261
A2-03	3	2.41646	1.02763	0.24157	0.22739	0.00011	31.405	0.04609	0.02790
A2-03	4	2.21006	3.00049	0.33063	0.75736	0.00002	1.169	0.00396	0.04186
A2-05	1	2.61006	2.01945	0.29067	0.50238	0.00009	12.824	0.03154	0.16438
A2-05	3	3.52237	3.03542	0.30495	0.71657	0.00004	2.910	0.00751	0.09208
A2-05	4	3.46800	2.02351	0.27111	0.39855	0.00007	9.561	0.02152	0.04775
A2-05	5	3.31544	3.99203	0.33062	0.95036	0.00002	1.585	0.00445	0.08943
A2-07	2	2.34870	4.00911	0.42385	0.82302	0.00018	6.339	0.03236	0.18654
A2-08	5	2.50942	2.02609	0.31857	0.49615	0.00008	9.277	0.02660	0.11315
A2-08	6	2.06729	2.02157	0.29710	0.68401	0.00002	2.684	0.00634	0.12004
A2-09	1	2.51133	2.02804	0.32159	0.46023	0.00008	9.705	0.02827	0.08762
A2-09	2	2.44028	2.00606	0.31395	0.49283	0.00001	0.812	0.00266	0.00902
A2-09	5	2.72304	4.00003	0.38202	0.94354	0.00004	1.681	0.00612	0.09364
A2-09	11	2.03833	2.01108	0.29579	0.73148	0.00001	1.376	0.00353	0.07960
A2-09	13	2.12236	2.00712	0.30355	0.70434	0.00001	1.565	0.00403	0.07917
A2-09	14	2.42241	3.00251	0.36243	0.78793	0.00005	3.049	0.01335	0.12745
A2-11	2	2.94798	4.00490	0.36994	0.93077	0.00012	5.250	0.01752	0.27500
A2-14	4	3.01636	3.04033	0.45607	0.69946	0.00011	8.635	0.04780	0.24238
A3-01	6	2.03474	3.02397	0.38206	0.78742	0.00037	23.356	0.09814	1.03656
A3-02	4	3.37864	3.02706	0.31470	0.79126	0.00003	2.312	0.00587	0.11193
A3-02	5	3.30027	4.00333	0.35244	0.91479	0.00004	1.769	0.00564	0.08589
A3-02	6	2.56658	3.99440	0.34339	0.86617	0.00008	4.710	0.01544	0.17228
A3-02	7	2.99989	4.00981	0.39089	0.89371	0.00007	3.222	0.01313	0.13932
A3-03	3	3.11613	4.02759	0.40250	0.76546	0.00019	8.506	0.03649	0.19641
A3-03	4	3.40898	2.03722	0.30974	0.35375	0.00023	30.951	0.08295	0.09546
S1-01	1	1.78023	2.00243	0.33665	0.57211	0.00004	3.169	0.01049	0.06476
S1-01	2	2.32881	3.00084	0.38103	0.79218	0.00004	1.806	0.00776	0.07720
S1-01	3	2.40526	3.00397	0.36422	0.78083	0.00002	1.162	0.00464	0.04666
S1-01	4	2.71280	4.00365	0.40636	0.90202	0.00050	21.691	0.09619	0.93677

S1-01	7	3.04176	4.01877	0.37246	0.87026	0.00036	14.9039	0.05567	0.57668
S1-02	1	2.41930	2.00784	0.31348	0.49367	0.00003	2.7984	0.00826	0.03147
S1-02	2	2.78793	2.01607	0.30141	0.44349	0.00005	4.7224	0.01312	0.03434
S1-02	3	3.42938	4.00704	0.36880	0.83408	0.00008	3.6342	0.01375	0.11396
S1-02	4	3.18708	4.01313	0.41905	0.87490	0.00022	10.1698	0.04698	0.40419
S1-02	5	2.89632	4.01778	0.41984	0.76211	0.00015	5.2883	0.02647	0.11402
S1-06	5	2.95936	2.07226	0.39211	0.56622	0.00018	57.4624	0.17075	1.37173
S1-06	7	3.11718	3.06390	0.42032	0.64428	0.00019	20.2170	0.08405	0.44509
S1-06	8	3.26610	3.04050	0.42685	0.65880	0.00007	7.0224	0.03435	0.15386
S1-06	9	2.91980	2.02379	0.41594	0.37765	0.00010	10.1516	0.05278	0.03899
S1-06	10	2.50122	2.01784	0.31112	0.50995	0.00004	6.1632	0.01581	0.08643
S1-08	3	2.58295	1.03404	0.33136	0.26978	0.00012	59.9314	0.11640	0.11768
S1-08	4	2.94273	2.02010	0.33768	0.47527	0.00005	8.0177	0.02337	0.08582
S1-08	6	2.46964	3.03027	0.35843	0.71489	0.00006	4.5456	0.01686	0.13657
S1-08	7	2.72949	3.01153	0.33240	0.81995	0.00004	2.5568	0.00862	0.13241
S2-01	4	2.63373	2.03386	0.37006	0.47127	0.00015	22.3960	0.08111	0.22575
S2-01	6	2.65832	3.01149	0.35106	0.80039	0.00003	1.9631	0.00664	0.09426
S2-02	1	1.92358	1.99789	0.33338	0.56349	0.00002	1.8359	0.00616	0.03565
S2-02	2	2.31199	2.00285	0.31933	0.51145	0.00001	0.8915	0.00277	0.01170
S2-03	1	2.09056	2.03045	0.32322	0.52801	0.00004	5.2356	0.01421	0.08367
S2-03	2	1.85904	5.92870	0.47690	1.77696	0.00014	6.8162	0.02731	2.15584
S2-04	2	2.49766	4.01121	0.43018	0.82937	0.00028	9.7314	0.05067	0.29987
S2-04	3	1.98371	1.02096	0.24518	0.37350	0.00004	17.4195	0.02092	0.12135
S2-04	4	2.13806	2.00363	0.27255	0.49430	0.00002	2.5282	0.00576	0.02875
S2-04	6	2.45406	4.01325	0.36692	0.80894	0.00016	5.2772	0.02035	0.14587
S2-05	5	2.81581	2.03475	0.32586	0.39013	0.00022	26.4196	0.07363	0.12523
S2-05	9	3.33416	4.02459	0.46086	0.82669	0.00005	2.3234	0.01155	0.07557
S2-06	2	0.91998	0.97798	0.34696	0.47991	0.00003	11.0432	0.02814	0.20558
S2-06	3	2.32913	2.98897	0.36486	0.83540	0.00001	0.7268	0.00301	0.03879
S2-06	4	2.22925	3.02065	0.33283	0.78101	0.00008	4.9143	0.01660	0.20847
S2-06	5	1.97006	3.98720	0.42249	0.95471	0.00005	1.7534	0.00890	0.09678
S2-06	6	2.14849	2.01382	0.30977	0.46785	0.00001	0.7426	0.00242	0.00673
S2-07	5	2.65644	1.03627	0.31047	0.26893	0.00012	63.9272	0.10889	0.12282
S2-07	6	2.76390	1.01219	0.31816	0.28560	0.00006	25.2233	0.05524	0.05751
S2-07	7	2.53520	3.01537	0.35141	0.80981	0.00005	3.2355	0.01191	0.16001
S3-01	1	1.73704	1.01719	0.28774	0.37310	0.00007	32.9148	0.05336	0.22978
S3-01	3	2.01090	2.03347	0.33528	0.53670	0.00005	6.8024	0.02119	0.11375
S3-01	4	2.48494	1.02202	0.30737	0.29591	0.00002	6.1336	0.01428	0.01568
S3-01	5	2.13537	1.01858	0.31060	0.25759	0.00003	11.1259	0.02539	0.01639
S3-01	7	2.06337	1.02863	0.29212	0.36632	0.00002	5.8046	0.01218	0.03513
S3-01	8	2.74955	3.01036	0.36160	0.78074	0.00004	3.7588	0.01417	0.16302
S3-01	9	2.63463	1.02509	0.28906	0.31329	0.00004	14.4368	0.02970	0.04682
S3-01	10	2.64642	1.02260	0.28157	0.30846	0.00006	21.0195	0.04130	0.06406
S3-01	11	2.60585	2.02618	0.30520	0.47704	0.00006	8.2802	0.02208	0.08629
S3-01	12	1.90724	1.01951	0.29775	0.24621	0.00003	13.8320	0.02917	0.01712
S3-02	4	2.75638	2.03480	0.29876	0.66150	0.00006	12.2556	0.02624	0.51373
S3-02	5	2.83179	3.03763	0.35137	0.75584	0.00004	4.2341	0.01353	0.17141
N1-02	5	2.93447	2.01268	0.26055	0.42901	0.00015	17.4612	0.03735	0.11062
N1-03	1	3.13887	4.95228	0.34641	1.28956	0.00035	16.2350	0.04556	1.99541
N1-03	2	2.87437	4.01591	0.39529	0.85433	0.00003	1.4227	0.00551	0.05241
N1-03	4	2.37259	4.00994	0.38603	0.83398	0.00019	6.4919	0.02766	0.20235
N1-03	5	2.77215	4.02023	0.46882	0.87729	0.00012	5.9094	0.03213	0.24583
N1-03	6	3.35995	4.02539	0.40464	0.82435	0.00014	5.9373	0.02399	0.19073
N1-05	4	3.04618	3.07027	0.43410	0.61170	0.00030	34.2585	0.14857	0.61765
N1-05	5	2.79421	4.03531	0.53410	0.78555	0.00009	4.9074	0.03407	0.13162

Annexe 2C : Valeurs des paramètres primaires et des variances sur  
 la surface foliaire : Plantules S1-01 à N1-05.

PARC	NUM	A	H	K	N	VA	VB	VK	VN
N1-05	6	2.33570	2.01922	0.41694	0.34645	0.00014	14.0613	0.07331	0.03836
N1-06	4	1.09452	0.99453	0.34025	0.42413	0.00009	32.0839	0.08081	0.36078
N1-08	2	2.00961	3.98904	0.47037	0.94093	0.00007	2.9768	0.01837	0.15579
N1-08	5	1.46766	2.00620	0.32026	0.68454	0.00004	3.7953	0.01067	0.16030
N2-01	1	3.05798	5.94592	0.40375	1.53621	0.00021	10.5193	0.03215	1.81289
N2-01	2	2.47762	2.04860	0.30835	0.61654	0.00007	14.3466	0.03203	0.45445
N2-01	4	2.06671	1.02046	0.26063	0.30622	0.00005	18.1486	0.03023	0.05350
N2-02	2	2.83778	1.04450	0.30483	0.30547	0.00009	44.9677	0.08004	0.14003
N2-02	3	2.33716	2.02577	0.27334	0.67592	0.00002	3.4285	0.00611	0.15600
N2-02	4	2.81125	3.02634	0.29266	0.76534	0.00003	2.4328	0.00555	0.10123
N2-02	6	1.85474	3.93232	0.36588	1.34180	0.00001	0.4856	0.00180	0.11279
N2-02	7	1.83882	2.99563	0.32260	0.89555	0.00004	2.1722	0.00699	0.16097
N2-05	1	2.51575	3.00011	0.35014	0.84774	0.00001	0.7572	0.00276	0.04512
N2-05	2	2.95762	3.01040	0.32589	0.79671	0.00002	1.0561	0.00338	0.04864
N2-06	7	1.19439	1.97836	0.36231	0.80687	0.00003	2.5595	0.01060	0.20922
N2-06	8	0.91326	1.92572	0.30984	0.94803	0.00003	2.5487	0.00814	0.40780
N3-01	1	2.69987	2.02728	0.31773	0.52908	0.00004	4.4453	0.01270	0.07004
N3-01	2	3.16428	3.02366	0.34908	0.73811	0.00004	2.0383	0.00737	0.06890
N3-01	3	3.17639	1.02041	0.25801	0.26941	0.00002	7.6654	0.01261	0.01347
N3-01	5	2.52571	1.01739	0.28507	0.27336	0.00018	44.0178	0.08321	0.08319
N3-01	6	1.89262	2.01551	0.28246	0.69752	0.00002	2.9818	0.00600	0.14426
N3-01	7	2.15347	3.00709	0.31171	0.81088	0.00002	1.9274	0.00515	0.09566
N3-01	8	1.48921	1.00363	0.26059	0.43046	0.00001	4.6327	0.00712	0.05288
N3-03	3	2.85640	3.02961	0.32149	0.77221	0.00003	2.5867	0.00678	0.11402
N3-03	4	2.40328	1.01764	0.28927	0.27289	0.00015	37.0252	0.07179	0.06953
N3-03	5	1.69881	4.00869	0.38878	0.81628	0.00014	6.0579	0.02498	0.17457
N3-04	1	2.27287	1.02764	0.33917	0.29654	0.00011	30.8693	0.08158	0.08071
N3-05	1	1.33624	1.02101	0.31058	0.30438	0.00007	17.6898	0.03897	0.05147
N3-05	2	2.09628	1.02998	0.32044	0.34431	0.00003	7.9739	0.01868	0.03784
N3-08	6	2.77144	4.01739	0.36679	0.82001	0.00027	21.6893	0.08096	0.66246

**Annexe 2D : Valeurs des paramètres primaires et des variances sur**

**la surface foliaire : Plantules N1-05 à N3-08.**

PARC	NUM	RGR	AGR	DG	VRGR	VAGR	VDG
A1-02	1	0.17415	0.71397	19.7147	0.00044	0.26485	15.891
A1-02	2	0.17541	1.12013	18.1213	0.00015	0.13684	4.474
A1-02	3	0.16707	1.84531	18.9854	0.00013	0.32179	4.472
A1-02	4	0.19208	1.80397	16.7974	0.00075	0.68969	10.247
A1-02	5	0.17481	0.93495	19.0458	0.00090	0.21961	17.060
A1-02	6	0.21841	0.95112	15.1295	0.00100	0.39645	10.316
A1-02	7	0.22402	0.97169	14.4332	0.00108	0.23414	8.061
A1-03	1	0.16629	0.39765	19.4140	0.00043	0.05473	13.972
A1-03	2	0.17803	1.00615	20.2433	0.00191	0.29051	30.050
A1-03	3	0.18067	1.56174	17.9167	0.00041	0.36799	8.186
A1-03	4	0.16557	1.18636	20.8418	0.00152	0.85185	33.892
A1-04	1	0.20830	0.94924	15.2375	0.00079	0.21912	8.102
A1-04	5	0.26694	2.32463	13.9246	0.00539	1.03957	14.933
A1-05	6	0.19707	0.74222	21.9925	0.01395	0.73050	84.035
A1-06	5	0.23018	1.05146	13.9495	0.00052	0.17959	4.423
A1-08	6	0.18906	1.06070	35.6446	0.11544	4.93001	253.429
A1-11	1	0.22896	1.70045	13.5809	0.00019	0.12925	1.457
A1-11	2	0.19610	1.07678	18.8511	0.00408	1.32672	39.801
A1-11	3	0.27689	1.20827	11.8222	0.00247	0.46989	7.201
A2-01	1	0.17311	0.59425	17.5309	0.00049	0.22415	2.073
A2-01	2	0.19702	0.64273	17.5358	0.00091	0.03497	9.613
A2-01	3	0.20215	1.48671	15.5433	0.00027	0.11965	2.910
A2-01	4	0.20896	0.90686	14.9594	0.00049	0.13660	5.337
A2-01	5	0.20038	0.69059	16.9874	0.00153	0.27172	18.644
A2-01	6	0.19411	1.01676	17.4453	0.00139	0.45881	18.425
A2-03	1	0.20194	0.81418	17.8374	0.00229	0.14677	21.244
A2-03	2	0.21231	0.59550	19.0462	0.00564	0.08431	38.890
A2-03	3	0.17751	0.57483	31.8219	0.02228	0.34501	226.816
A2-03	4	0.18661	0.54215	17.0535	0.00023	0.02099	3.925
A2-05	1	0.17639	0.73509	21.9814	0.00464	0.37346	61.121
A2-05	3	0.17454	1.86099	18.7057	0.00046	0.56712	10.024
A2-05	4	0.18280	1.74559	22.0353	0.00580	1.32001	64.544
A2-05	5	0.16835	1.52798	18.2153	0.00010	0.21949	3.437
A2-07	2	0.22264	0.75605	14.8731	0.00212	0.20898	13.538
A2-08	5	0.19991	0.74798	18.7293	0.00405	0.25862	35.945
A2-08	6	0.17447	0.43023	18.7599	0.00023	0.03006	7.002
A2-09	1	0.20663	0.76947	18.5484	0.00527	0.26964	38.790
A2-09	2	0.20902	0.71948	16.2129	0.00048	0.02152	4.111
A2-09	5	0.19523	0.97847	15.7350	0.00014	0.09347	2.622
A2-09	11	0.16992	0.41182	18.8404	0.00009	0.01592	3.604
A2-09	13	0.17699	0.46394	18.2215	0.00013	0.02146	3.920
A2-09	14	0.19813	0.71583	16.3324	0.00068	0.10755	8.986
A2-11	2	0.18749	1.16764	16.8784	0.00041	0.41985	8.669
A2-14	4	0.25448	1.63811	13.5476	0.00306	1.31181	12.931
A3-01	6	0.18574	0.44356	20.1402	0.00392	0.38727	47.181
A3-02	4	0.17404	1.63087	18.2862	0.00017	0.36055	5.291
A3-02	5	0.18247	1.62208	16.9438	0.00016	0.26564	3.671
A3-02	6	0.17856	0.75700	18.0198	0.00075	0.15760	13.636
A3-02	7	0.20276	1.32994	15.5308	0.00050	0.33127	6.271
A3-03	3	0.21577	1.56564	15.8133	0.00286	1.10055	19.266
A3-03	4	0.19329	1.80029	26.5273	0.02629	4.50206	148.624
S1-01	1	0.20950	0.38088	16.2486	0.00106	0.02460	10.244
S1-01	2	0.21027	0.69194	15.1094	0.00033	0.05400	3.940
S1-01	3	0.20299	0.71995	15.5867	0.00022	0.03713	2.926
S1-01	4	0.18729	0.91315	19.0250	0.00351	1.35251	39.304

**Annexe 2E : Valeurs des paramètres secondaires et des variances sur  
la surface foliaire : Plantules A1-02 à S1-01.**

PARC	NUM	RGR	AGR	LG	VRGR	VAGR	VDG
S1-01	7	0.18222	1.23844	19.0332	0.00250	1.50487	33.870
S1-02	1	0.20580	0.69622	16.9271	0.00137	0.06546	12.387
S1-02	2	0.20231	0.98077	18.1000	0.00287	0.21027	24.704
S1-02	3	0.19630	1.96293	16.3494	0.00080	0.77727	9.605
S1-02	4	0.21081	1.65812	15.8546	0.00194	1.71747	17.389
S1-02	5	0.22967	1.33524	14.5232	0.00235	0.49978	12.517
S1-06	5	0.19759	1.09612	21.4749	0.00814	4.95006	64.940
S1-06	7	0.22789	1.61078	16.4309	0.00615	2.87340	31.617
S1-06	8	0.24599	2.02174	14.0292	0.00295	1.50751	13.275
S1-06	9	0.28479	1.56443	14.4084	0.01559	1.07349	29.071
S1-06	10	0.19815	0.73235	18.0305	0.00207	0.15518	22.217
S1-08	3	0.20993	0.84817	26.1637	0.04058	1.30328	146.844
S1-08	4	0.21804	1.24664	16.9066	0.00370	0.54622	24.814
S1-08	6	0.20271	1.24876	16.4039	0.00107	0.41209	12.164
S1-08	7	0.17999	0.88666	17.6932	0.00030	0.13605	6.983
S2-01	4	0.21686	0.93554	19.3420	0.01344	1.01169	60.832
S2-01	6	0.19316	0.86358	16.4191	0.00023	0.09368	4.185
S2-02	1	0.21048	0.44028	15.9727	0.00068	0.01898	6.453
S2-02	2	0.20995	0.63868	16.0479	0.00042	0.01786	3.771
S2-03	1	0.20485	0.50337	17.1326	0.00165	0.06253	16.539
S2-03	2	0.18864	0.41249	15.6326	0.00110	0.08912	1.231
S2-04	2	0.22023	0.86985	15.4539	0.00317	0.44404	19.607
S2-04	3	0.16413	0.35264	24.4778	0.00391	0.07632	75.717
S2-04	4	0.17914	0.45730	19.3672	0.00097	0.02587	15.215
S2-04	6	0.19559	0.73585	16.8341	0.00145	0.16092	15.528
S2-05	5	0.20165	1.03531	23.0964	0.01918	1.25694	102.731
S2-05	9	0.24934	2.25926	12.6622	0.00053	0.57842	2.931
S2-06	2	0.22279	0.16654	16.4118	0.00222	0.01362	19.577
S2-06	3	0.19794	0.65723	15.7352	0.00010	0.02116	1.691
S2-06	4	0.18105	0.53703	18.1779	0.00076	0.09405	14.702
S2-06	5	0.21409	0.50674	14.3625	0.00026	0.02854	2.911
S2-06	6	0.20987	0.53588	16.2534	0.00049	0.01072	4.069
S2-07	5	0.19357	0.84726	28.7965	0.03805	1.41002	178.293
S2-07	6	0.22303	1.03630	21.1275	0.01919	0.66997	83.886
S2-07	7	0.19065	0.77152	16.8435	0.00043	0.12785	7.778
S3-01	1	0.17805	0.30523	24.5271	0.00974	0.11967	100.739
S3-01	3	0.20849	0.86619	17.1358	0.00245	0.26107	21.530
S3-01	4	0.23074	0.78987	16.8897	0.00492	0.12753	25.205
S3-01	5	0.23704	0.56840	17.9533	0.01051	0.11065	44.386
S3-01	7	0.20711	0.47524	18.0446	0.00280	0.04929	23.920
S3-01	8	0.19872	0.99130	16.3302	0.00059	0.23288	8.572
S3-01	9	0.20516	0.83298	20.8324	0.00933	0.36133	65.674
S3-01	10	0.19417	0.80677	23.6841	0.01335	0.51224	102.131
S3-01	11	0.19532	0.80040	19.1673	0.00376	0.25610	36.532
S3-01	12	0.22761	0.43423	19.5633	0.01275	0.07998	60.925
S3-02	4	0.17225	0.82285	20.5178	0.00077	0.51230	25.932
S3-02	5	0.19596	1.05464	16.6426	0.00050	0.27166	8.582
N1-02	5	0.16150	0.93172	27.0564	0.00890	0.79098	128.908
N1-03	1	0.15210	1.12353	21.2418	0.00022	1.62049	14.997
N1-03	2	0.21156	1.21669	14.7376	0.00023	0.10906	2.527
N1-03	4	0.20138	0.70140	16.4255	0.00173	0.18776	16.592
N1-03	5	0.24260	1.26012	13.2816	0.00121	0.52774	7.171
N1-03	6	0.21469	1.99558	15.1994	0.00124	1.23972	10.717
N1-05	4	0.21951	1.46124	18.3799	0.01310	4.34561	51.708
N1-05	5	0.29090	1.52684	11.2170	0.00208	0.56294	5.250

**Annexe 2F : Valeurs des paramètres secondaires et des variances sur la surface foliaire : Plantules S1-01 à N1-05.**

PARC	NUM	RGR	AGR	DG	VRGR	VAGR	VDG
N1-05	6	0.28765	0.87965	15.4068	0.02478	0.45859	40.903
N1-06	4	0.20043	0.18157	21.3570	0.01130	0.05139	73.314
N1-08	2	0.23840	0.58498	13.0678	0.00054	0.06387	3.910
N1-08	5	0.18663	0.25259	17.7220	0.00039	0.01491	9.103
N2-01	1	0.16689	1.18832	18.0378	0.00031	1.00726	2.223
N2-01	2	0.17891	0.64724	20.2143	0.00141	0.34509	32.171
N2-01	4	0.18290	0.77031	24.4222	0.00983	0.39032	101.815
N2-02	2	0.19227	0.99832	25.9389	0.02323	1.51952	136.061
N2-02	3	0.16150	0.51880	20.3792	0.00018	0.05227	8.329
N2-02	4	0.16374	0.86683	19.5809	0.00021	0.10574	7.425
N2-02	6	0.15691	0.34937	18.3036	0.00003	0.00571	0.230
N2-02	7	0.16869	0.34488	18.5271	0.00014	0.01939	5.212
N2-05	1	0.18882	0.75692	16.4554	0.00008	0.02925	1.670
N2-05	2	0.18026	1.11360	17.4747	0.00014	0.08342	3.149
N2-06	7	0.19931	0.20921	16.0461	0.00019	0.00906	4.090
N2-06	8	0.16135	0.12911	19.4730	0.00016	0.00440	3.170
N3-01	1	0.20164	0.91197	17.3487	0.00158	0.18476	16.397
N3-01	2	0.19817	1.48901	16.2774	0.00045	0.26737	5.875
N3-01	3	0.19715	1.33787	20.5459	0.00500	0.44080	46.133
N3-01	5	0.18587	0.70434	30.3054	0.03173	0.80027	201.566
N3-01	6	0.16474	0.34136	19.8146	0.00014	0.02075	7.106
N3-01	7	0.17050	0.47169	18.5413	0.00014	0.02648	4.968
N3-01	8	0.17758	0.23277	20.0481	0.00095	0.00990	18.670
N3-03	3	0.17939	0.99367	17.8541	0.00023	0.14539	5.881
N3-03	4	0.19496	0.64418	27.5693	0.02742	0.54065	164.028
N3-03	5	0.20567	0.36380	16.0216	0.00156	0.04432	14.377
N3-04	1	0.22770	0.65959	21.7888	0.02751	0.48178	96.097
N3-05	1	0.21996	0.24413	19.9408	0.01255	0.03556	64.569
N3-05	2	0.22920	0.54161	16.7949	0.00477	0.08041	25.831
N3-08	6	0.17296	0.90011	21.2391	0.00480	1.23019	57.689

**Annexe 2G : Valeurs des paramètres secondaires et des variances sur la surface foliaire : Plantules N1-05 à N3-08.**





## B I B L I O G R A P H I E

- AIKMAN D.P. et WATKINSON A.R., 1980. A model for growth and self-thinning in even-aged monocultures of plants. *Ann. Bot.*, 45 : 419 - 427.
- AMER F.A. et WILLIAMS W.T., 1957. Leaf growth in *Pelargonium zonale*. *Ann. Bot.*, 21 : 339 - 342.
- AUCLAIR A.N. et COTTAM G., 1971. Dynamics of black cherry (*Prunus serotina* Ehrh.) in Southern Wisconsin oak forests. *Ecol. Monogr.*, 41: 153-177.
- BELLEFLEUR P. et LAROCQUE G., 1983a. Compétition pour le rayonnement solaire en début de succession secondaire dans une érablière à bouleau jaune et hêtre. *Can. J. For. Res.*, 13 : 514 - 521.
- BELLEFLEUR P. et LAROCQUE G., 1983b. Comparaison de la croissance d'espèces ligneuses en milieu ouvert et sous couvert forestier. *Can. J. For. Res.*, 13 : 508 - 513.
- BROUGHAM R.W., 1962. The leaf growth of *Trifolium repens* as influenced by seasonal changes in the light environment. *J. Ecol.*, 44 : 448 - 459.
- BUIS R. et BARTHOUS H., 1984. Relations dimensionnelles dans une série organique en croissance chez une plante supérieure. *Rev. Bio-math.*, 85 : 3 - 19.

- CAUSTON D.R., ELIAS C.O. et HADLEY P., 1978. Biometrical studies of plant growth. I. The Richards function, and its application in analysing the effects of temperature on leaf growth. *Plant Cell and Envir.*, 1 : 163 - 184.
- CHAMPAGNAT P. et LAMOND M., 1980. Contribution à l'étude biologique du chêne (*Quercus pedunculata* Ehr.) et du hêtre (*Fagus silvatica* L.). D.G.R.S.T., contrat n° 77.7.1135., Clermont II.
- CHEVILLOTTE H., 1981. Evolution des semis de chêne (*Quercus sessiliflora*) en rapport avec différentes techniques d'exploitation. D.E.A., Univer. de Paris VII.
- CHEVILLOTTE H. et CANCELA DA FONSECA J.P., 1984. Observations on the dynamics of three populations of oak seedlings (*Quercus sessiliflora* Ehrh.) in the Fontainebleau forest. *Veget. Sci.*, 13 : 251 - 255.
- CROIZEAU D. et ROGUET M., 1976. Faculté de reprise de glands prélevés en forêt après germination. *Rev. Forest. franç.*, 28 : 275 - 279.
- CZARNOWSKI M., 1974. Influence of microclimatic conditions on the course of gas exchange in assimilation organs. *Bull. Acad. Polon. Sci.*, 22 : 335 - 342.
- CZARNOWSKI M., 1975. Studies on ecophysiological method for estimation of photosynthetic production in leaves of chosen plant species. *Bull. Acad. Polon. Sci.*, 23 : 413 - 420.
- DIXON K.R., LUXMOORE R.J. et BEGOVICH C.L., 1978. CERES - A model of forest stand biomass dynamics for predicting trace contaminant nutrient and water effects. I. Model description. *Ecol. Modelling*, 5 : 17 - 38.

- DAGNELIE P., 1981. Principes d'expérimentation. Les Presses Agronomiques de Gembloux, A.S.B.L., 177 p.
- DENNETT M.D., AULD B.A. et ELSTON J., 1978. A description of leaf growth in *Vicia faba* L. Ann. Bot., 42 : 223 - 232.
- DENNETT M.D., ELSTON J. et MILFORD J.R., 1979. The effect of temperature on the growth of individual leaves on *Vicia faba* L. in the field. Ann. Bot., 43 : 197 - 208.
- DUCHAUFOUR P., 1965. Précis de pédologie. 2ème ed., Masson, Paris, 481 p.
- DUCHAUFOUR P. et MANGENOT F., 1957. Recherches sur l'évolution expérimentale de certains humus. II. Humification biologique et abiologique. Ann. Agr., 4 : 573 - 583.
- DUCREY M., 1981. Etude bioclimatique d'une futaie feuillue (*Fagus silvatica* L. et *Quercus sessiliflora* Salisb.) de l'Est de la France. III Potentialités photosynthétiques des feuilles à différentes hauteurs dans le peuplement. Ann. Sci. forest., 38 : 71 - 86.
- EDWARDS M.C. et AYRES P.G., 1982. Effects of materials from oak leaf surfaces on germination of *Microsphaera alphitoides* conidea. Trans. Br. mycol. Soc., 78 : 123 - 128.
- FARDJAH M., 1978. Dynamique comparée de l'eau du sol sous futaie de hêtre et en clairière à *Calamagrostis epigeios* en Forêt de Fontainebleau. Thèse de docteur - ingénieur, Univ. Paris-Sud, 146 p.
- FLAMENBAUM G., THIERY J. et BENZECRI J.P., 1979. Agrégation en boules de rayon fixe et centres optimisés (boules optimisées). Rev. Les Cahiers de l'Analyse de Données, 4 : 357 - 364.

- HACKETT C. et RAWSON H.M., 1974. An exploration of carbon economy of tobacco plants. II. Patterns of leaf growth and dry matter partitioning. Austral. J. Plant Physiol., 1 : 271 - 281.
- HADLEY P., 1978. Growth and photosynthetic activity of individual leaves of plants during growth. Ph D thesis, Univ. of Wales.
- HARI P. et KELLOMAKI S., 1981. Modelling of the functioning of the tree in a stand. Stud. Forest. Suec., 160 : 39 - 42.
- HEWITT H.G. et AYRES P.G., 1974. Changes in CO<sub>2</sub> and water vapour exchanges rates in leaves of *Quercus robur* infected by *Microsphaera alphitoides* (powdery mildew). Physiol. Plant Pathol., 7 : 127 - 137.
- HINCKLEY T.M., ASLIN R.G., AUBUCHON R.R., METCALF C.L., et ROBERTS J.E., 1978. Leaf conductance and photosynthesis in four species of the oak-hickory forest type. For. Sci., 24 : 73 - 84.
- JARVIS P.G., 1981. Plant water relations in models of tree growth. Stud. Forest. Suec., 160 : 51 - 60.
- KENDALL M.G. et STUART A., 1977. The advanced theory of statistics. Vol I, 4th ed., Griffin & Co, London.
- KPAVODE H.Z., 1982. Contribution à l'étude de la ribulose 1,5 bisphosphate carboxylase - oxygénase chez le palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.). Effet de la carence hydrique sur les deux activités de l'enzyme. Thèse de doctorat de 3ème cycle, Univ. Paris VII.
- LANDSBERG J.J., 1981. The number and quality of the driving variables needed to model tree growth. Stud. Forest. Suec., 160 : 43 - 50.

- LAMOND M., 1978. Péricarpe et cinétique de germination des glands de chêne pédonculé. Ann. Sci. forest., 35 : 203 - 212.
- LEMEE G., 1978. La hêtraie naturelle de Fontainebleau. In : BOURLIERE F. et LAMOTTE M., Problèmes d'écologie : Structure et fonctionnement des écosystèmes terrestres. Masson, Paris, pp. 75 - 128.
- LEVERT J., 1977. Etude de l'influence de quelques facteurs physiques sur la germination des glands de chêne pédonculé (*Quercus pedunculata* Ehrh., syn. : *Q. robur* L.). D.E.A., Université de Clermont II.
- LEVERT J. et LAMOND M., 1979. Température et germination des glands de chêne pédonculé. C.R. Acad. Agric. Fr., 65 : 1006 - 1017.
- LOGAN K.T. et KROTKOV G., 1969. Adaptations of the photosynthetic mechanism of sugar maple (*Acer saccharum*) seedlings grown in various light intensities. *Physiol. Plant*, 22 : 104 - 116.
- OSWALD H., 1981. Bases biologiques et modélisation des peuplements forestiers. D.G.R.S.T. contrat n° 78.7.253. Seichamps.
- PENKA M., CERMAK J. et STEPANEK V., 1971. Contribution to studies of the photosynthetic rate in oak (*Quercus robur* L.) *Acta Universitatis agric. (Brno)*, 40 : 283 - 301.
- RICHARDS F.J., 1959. A flexible growth function for empirical use. *J. Exp. Bot.*, 10 : 290 - 300.
- RICKS G.R. et WILLIAMS R.J.H., 1974. Effects of atmospheric pollution on deciduous woodland part 2 : effects of particulate matter upon stomatal diffusion resistance in leaves of *Quercus petraea* (Mattuschka) *Leibl. Environ. Pollut.*, 6 : 87 - 109.

- RICKS G.R. et WILLIAMS R.J.H., 1975. Effects of atmospheric pollution on deciduous woodland part 3 : effects on photosynthetic pigments of leaves of *Quercus petraea* (Mattuschka) Leibl. Environ. Pollut., 8 : 97 - 106.
- VENUS J.C. et CAUSTON D.R., 1979. Confidence limits for Richards functions. J. Appl. Ecol., 16 : 939 - 947.
- VENUS J.C. et CAUSTON D.R., 1981. The biometry of plant growth. Edward Arnold, London, 307 p.
- VON BERTALANFFY L., 1957. Quantitative laws in metabolism and growth. Quart. Rev. Biol., 32 : 218 - 231.
- VOZZO J.A. et YOUNG R. W., 1975. Carbohydrate, lipid, and protein distribution in dormant, stratified, and germinated *Quercus nigra* embryos. Bot. Gaz., 136 : 306 - 311.
- VOZZO J.A., 1978. Carbohydrates, lipids, and proteins in ungerminated *Quercus alba* embryos. Forest Sci., 24 : 486 - 493.
- VUILLEMIN J., 1982. Ecophysiologie comparée du développement initial de *Quercus pubescens* Willd et de *Quercus ilex* L. II Germination et croissance racinaire en condition de stress hydrique. Ecol. Mediterr., 8 : 147 - 151.
- WILLIAMS R.J.H., LLOYD M.M. et RICKS G.R., 1971. Effects of atmospheric pollution on deciduous woodland I : some effects on leaves of *Quercus petraea* (Mattuschka) Leibl. Environ. Pollut., 2 : 57 - 68.

WINER B.J., 1971. Statistical principles in experimental design. 2th ed., Mc Graw-Hill Kogakusha, Tokyo, V+907 p.

ZELAWSKI W., 1981. Modelling of the dry matter accumulation in plants by means of asymptotic (logistic) and exponential functions. Stud. Forest. Suec., 160 : 31 - 38.

ZELAWSKI W. et LECH A., 1980. Logistic growth functions and their applicability for characterizing dry matter accumulation in plants. Acta. Physiol. Plant, 2 : 187 - 194.



## RESUME

CHEVILLOTTE. Hervé

Contribution à l'étude de la dynamique de croissance de Quercus sessiliflora Salisb., en relation avec différents traitements chimiques en Forêt de Fontainebleau.

L'étude de l'influence des traitements herbicides, à l'atrazine et à la simazine, sur la dynamique de croissance des semis de chêne a été réalisée sur une des parcelles en régénération de la Forêt de Fontainebleau.

Le dispositif expérimental mis en place sur la parcelle d'étude repose sur l'expérimentation en blocs aléatoires complets (témoins, atrazine et simazine). A partir de ce dispositif, des mesures périodiques ont été effectuées sur les facteurs abiotiques et les facteurs de croissance.

Les analyses statistiques qui en découlent ont permis de mettre en évidence des différences significatives entre les traitements :

- un net accroissement de la capacité photosynthétique totale chez les plantules traitées, lié à un rythme soutenu de l'organogénèse apicale et axillaire;

- un taux de mortalité de l'ordre de 50% chez les plantules témoins et traitées à l'atrazine et seulement 8% pour les "simazines", la baisse de densité constatée chez les "atrazines" serait due à un manque d'effet d'ombre et à une action lente de l'herbicide sur les racines.

L'étude de la dynamique de croissance foliaire a nécessité dans un premier temps, l'établissement de relations entre les différentes composantes de la feuille (longueur, largeur, poids sec), par les méthodes de régression pour estimer soit la biomasse, soit la surface foliaire, sans avoir à détruire le matériel par des prélèvements.

La modélisation de la croissance foliaire par la fonction de Richards, montre que les différences entre les tailles foliaires et les taux de croissance absolue, à partir du 3ème rang, sont plus importantes chez les plantules traitées que chez les témoins, indiquant un début de comportement autotrophe des plantules, dans des conditions favorables de luminosité et de température.

Les traitements chimiques introduisent des changements dans les profils de croissance foliaire : les surfaces foliaires des "traitées" ont tendance à surpasser celles des témoins.

Une analyse de données (boules optimisées) à partir de mesures réalisées à la fin de la 2ème année de végétation, a montré que les plantules traitées sont plus vulnérables aux attaques parasitaires et à la prédation foliaire que les témoins.

## MOTS CLES :

Quercus sessiliflora  
Croissance foliaire  
Modèle de Richards  
Herbicides