

MINISTERE DE L'AGRICULTURE  
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE  
DE MONTPELLIER



DIPLOME D'AGRONOMIE APPROFONDIE

Mise en valeur du milieu naturel  
Mention "Agronomie Méditerranéenne"  
Option "Arboriculture - Horticulture"

MODELISATION DE LA CROISSANCE ET DE L'ARCHITECTURE  
DE L'ABRICOTIER

Réalisé au CTIFL Balandran (Gard) dans le cadre d'une CONVENTION CTIFL-CIRAD

par CLAIRE CHAVANEAU

Mémoire présenté le 25 Septembre 1989 devant le jury d'Examen

MM. P. VILLEMUR  
P. DE REFFYE  
J. LICHOU  
M<sup>lle</sup> E. COSTES  
M. P.E. LAURI

MINISTERE DE L'AGRICULTURE  
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE  
DE MONTPELLIER



DIPLOME D'AGRONOMIE APPROFONDIE

Mise en valeur du milieu naturel  
Mention "Agronomie Méditerranéenne"  
Option "Arboriculture - Horticulture"

## MODELISATION DE LA CROISSANCE ET DE L'ARCHITECTURE DE L'ABRICOTIER

Réalisé au CTIFL Balandran (Gard) dans le cadre d'une CONVENTION CTIFL-CIRAD

Par CLAIRE CHAVANEAU

Mémoire présenté le 25 Septembre 1989 devant le jury d'Examen

MM. P. VILLEMUR  
P. DE REFFYE  
J. LICHOU  
M<sup>lle</sup> E. COSTES  
M. P.E. LAURI

## REMERCIEMENTS

J'exprime ici ma gratitude envers toutes les personnes qui ont consacré beaucoup de temps à m'aider dans mon travail et sans lesquelles je n'aurais pu mener à bien ce stage:

Jean Lichou, mon maître de stage, pour avoir proposé ce sujet et accepté ma candidature, et pour avoir partagé avec moi ses connaissances sur l'abricotier,

Philippe De Reffye, pour m'avoir initiée et intéressée à la modélisation de l'architecture des plantes, et pour son aide précieuse au niveau de la compréhension et de l'interprétation des résultats,

Pierre Villemur, pour m'avoir encouragée à choisir ce stage, et pour l'apport de son enseignement en arboriculture et horticulture au cours de cette année de spécialisation,

Evelyne Costes, avec qui j'ai eu le plaisir de faire très souvent équipe dans la longue phase de relevés de terrain, pour m'avoir enseigné la méthode d'observation des arbres et m'avoir fait part de ses connaissances et réflexions sur la croissance de l'abricotier,

Eric Elguero, pour avoir mis à ma disposition ses programmes d'ajustement et m'avoir aidé à les utiliser et pour ses précieuses explications mathématiques,

Michel Jay, pour m'avoir aidée dans les observations de terrain et pour sa gentillesse et son humour qui m'ont beaucoup soutenue tout au long du stage,

Alain Audubert, pour m'avoir accueillie à la station de Torreilles et avoir fait équipe avec nous dans les relevés de terrain,

Hervé Rey, pour avoir largement contribué aux relevés de terrain et pour m'avoir aidé à utiliser le logiciel LOTUS,

Yves Cariglio, pour nous avoir aidés aux relevés de terrain et pour ses observations sur l'architecture de l'abricotier,

Thérèse Puel, pour m'avoir aidée dans ma recherche bibliographique et pour sa sympathie et sa compréhension,

Marie-Hélène Fonteyreud, pour m'avoir si gentiment "hébergée" dans son bureau et m'avoir aidée à utiliser le logiciel WORDPERFECT.

## RESUME

En vue de maintenir l'intérêt économique de l'abricot, des essais d'intensification des vergers passant par l'expérimentation de nouvelles formes, de porte-greffe nanisants et de régulateurs de croissance ont été entrepris dans plusieurs stations de recherche.

Les problèmes auxquels se sont heurtés ces expérimentations ont montré l'insuffisance actuelle des connaissances sur l'abricotier et l'intérêt de la modélisation.

Les méthodes utilisées en architecture et modélisation ont été appliquées à l'étude de l'abricotier: elles se basent sur des relevés précis concernant la structure de l'arbre, une saisie informatique des données, et l'ajustement par des lois mathématiques des distributions aléatoires observées.

L'étude de la croissance de l'abricotier, espèce tempérée doit prendre en compte le facteur temps réel, ce qui n'est pas le cas des espèces tropicales. L'étude de cette espèce a conduit à déterminer les lois qui régissent les processus de croissance, de mort et de ramification.

Les paramètres de ces lois mettent en évidence des différences entre les variétés, les porte-greffe et montrent la très grande sensibilité de l'arbre aux conditions extérieures (sol, climat).

La poursuite de l'étude sur abricotier devra concerner la réaction de l'arbre aux interventions culturales afin de les optimiser.

**MOTS-CLEF:** abricotier - modélisation - simulation - architecture - croissance - méristème - ramification - mode de conduite - polycyclisme - probabilité

# SOMMAIRE

INTRODUCTION . . . . .	1
<b>PREMIERE PARTIE: SITUATION ECONOMIQUE ET CONDUITE DE L'ABRICOTIER INTERET DE LA MODELISATION . . . . .</b>	<b>2</b>
<b>1 IMPORTANCE ECONOMIQUE DU VERGER D'ABRICOTIER EN FRANCE</b>	<b>2</b>
1.1 <u>Production mondiale et européenne</u> . . . . .	2
1.2 <u>La production française</u> . . . . .	3
1.2.1 Le tonnage . . . . .	3
1.2.2 Les superficies . . . . .	4
1.2.3 Les variétés . . . . .	5
1.3 <u>Le marché de l'abricot et les échanges         commerciaux</u> . . . . .	6
1.3.1 La consommation . . . . .	6
1.3.2 Les prix . . . . .	6
1.3.3 Les échanges commerciaux . . . . .	7
<b>2 SITUATION ACTUELLE DE LA CONDUITE DE L'ABRICOTIER . . .</b>	<b>8</b>
2.1 <u>Le mode de conduite couramment utilisé</u> . . . . .	8
2.1.2 La taille . . . . .	9
2.1.3 L'éclaircissage . . . . .	10
2.2 <u>Les nouveaux systèmes de conduite</u> . . . . .	11
2.2.1 Les nouvelles formes . . . . .	12
2.2.2 Les porte-greffe nanisants . . . . .	16
2.2.3 Les régulateurs de croissance . . . . .	17
<b>3 SYNTHESE ET LIMITES DE LA CONNAISSANCE MORPHOLOGIQUE DE L'ABRICOTIER; OBJECTIF DE LA MODELISATION . . . . .</b>	<b>19</b>
3.1 <u>Le système végétatif</u> . . . . .	19
3.1.1 Les organes végétatifs . . . . .	20
3.1.2 La croissance . . . . .	21
3.2 <u>La reproduction</u> . . . . .	23
3.2.1 Les bourgeons floraux . . . . .	23
3.2.2 La floraison . . . . .	24
3.2.3 La fructification . . . . .	24
3.3 <u>Objectif de la modélisation</u> . . . . .	24



TROISIEME PARTIE: RESULTATS ET INTERPRETATION. . . . .	50
INTRODUCTION . . . . .	50
1 LE PROCESSUS DE CROISSANCE ET LA MORTALITE . . . . .	49
1.1 <u>Les accroissements</u> . . . . .	49
1.1.1 La première UC . . . . .	49
1.1.2 La deuxième UC . . . . .	54
1.2 <u>La mortalité</u> . . . . .	55
1.3 <u>Résultat de ces deux phénomènes (accroissements-</u> <u>mortalité):distribution de la longueur des</u> <u>UC</u> . . . . .	56
1.3.1 La loi d'ajustement . . . . .	56
1.3.2 Les différences variétales . . . . .	57
1.3.3 Influence des conditions extérieures . . . . .	59
2 LE POLYCYCLISME . . . . .	60
2.1 <u>La fréquence</u> . . . . .	60
2.2 <u>Le temps de repos entre les UC</u> . . . . .	61
2.3 <u>Comparaison de la croissance des UC</u> . . . . .	62
3 LA RAMIFICATION . . . . .	63
3.1 <u>La probabilité de ramification</u> . . . . .	63
3.1.1 La probabilité de ramification par noeud . . . . .	63
3.1.2 La distribution des ramifications . . . . .	64
3.2 <u>L'acrotonie</u> . . . . .	66
3.2.1 Croissance des UC en fonction de la position . . . . .	66
3.2.2 Le polycyclisme . . . . .	67
3.3 <u>L 'élagage des axes courts</u> . . . . .	68
4 FLORAISON - FRUCTIFICATION . . . . .	69
4.1 <u>Le nombre de fleurs par noeud</u> . . . . .	69
4.1.1 Le nombre moyen de fleurs et de fruit par noeud . . . . .	69
4.1.2 La distribution du nombre de fleurs sur un noeud . . . . .	70
4.2 <u>Evolution de fleurs en fruits</u> . . . . .	71
DISCUSSION ET CRITIQUE . . . . .	72
CONCLUSION . . . . .	75

## INTRODUCTION

L'abricot connaît depuis quelques années un renouveau, lié à des améliorations techniques qui ont permis à cette espèce de prendre un réel intérêt économique.

Afin de poursuivre l'amélioration de cette production, le CTIFL (Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes) a engagé plusieurs travaux de recherches et d'expérimentations, notamment concernant la conduite des vergers en vue de leur intensification.

Le souci d'acquérir une meilleure connaissance de l'abricotier a engendré un travail d'analyse fine de la croissance et de l'architecture de l'arbre.

Cette étude sur la modélisation de l'abricotier a été entreprise en 1988 dans le cadre d'une convention signée entre le CTIFL et le laboratoire de modélisation du CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement). Elle s'est poursuivie en 1989 dans le même cadre et a notamment été l'objet du présent mémoire.

Après avoir souligné l'importance économique de l'abricotier et montré l'intérêt de la modélisation pour la conduite de l'arbre, nous exposerons les méthodes utilisées dans cette étude et analyserons et interprèterons les résultats observés.

PREMIERE PARTIE

SITUATION ECONOMIQUE ET CONDUITE DE L'ABRICOTIER

INTERET DE LA MODELISATION



## 1. IMPORTANCE ECONOMIQUE DU VERGER D'ABRICOTIER EN FRANCE

### 1.1. Production mondiale et européenne

En 1985, la production mondiale d'abricots s'élève à 1,9 millions de tonnes (source FAO). Depuis 15 ans elle suit une progression régulière d'environ 1% par an. Les principaux pays producteurs sont localisés sur le pourtour méditerranéen: Europe du Sud, Turquie (1<sup>er</sup> producteur mondial avec 200 000 tonnes), Afrique du Nord (Maroc, Syrie). Outre ces pays, l'URSS et les USA assurent une production importante ( cf schémas 1 et 2).

L'essentiel de la production de la C.E.E., 579 000 tonnes en 1988 provient de quatre gros pays producteurs:

* Italie	180 000 tonnes	31,1%
* Espagne	155 000 tonnes	26,8%
* Grèce	143 000 tonnes	24,7%
* France	94 000 tonnes	16,2%

Le Portugal, 5<sup>e</sup> pays producteur en Europe se place loin derrière avec 5 000 tonnes en 1988 soit 0,8% du total européen.

Les vergers d'abricotiers de la C.E.E. occupaient 60 000 hectares en 1986. Globalement, au cours des 10 dernières années, les superficies et la production ont augmenté de 15% mais cette dernière connaît de fortes fluctuations annuelles.

L'Italie a connu une forte expansion depuis 1980; celle-ci est due notamment à un effort important de renouvellement du verger qui est passé de 10 000 hectares en 1980 à plus de 16 000 actuellement.

La production espagnole continue à stagner, les superficies diminuent.

Enfin la Grèce enregistre une forte alternance de production (schéma 3).

## 1.2. La production française

### 1.2.1. Le tonnage

Avec ses 94 000 tonnes en 1988, la France occupe le 4<sup>e</sup> rang européen et le 7<sup>e</sup> mondial; après une phase de progression importante à partir de 1980, sa production paraît actuellement globalement se stabiliser (cf schéma 3) avec cependant une évolution différente selon les régions.

Les régions productrices sont exclusivement localisées dans le quart Sud-Est de l'Hexagone ( cf schéma 4). Cette limitation géographique est liée au comportement de l'abricotier vis à vis du climat et notamment à sa sensibilité au gel printanier et à l'humidité atmosphérique.

En 1988, les régions se partageaient la production de la façon suivante:

* <u>Rhône-Alpes</u> dont Drôme	37 003 tonnes	39,5%
* <u>Languedoc- Roussillon</u> dont P.O.	34 860 tonnes 17 000	37,2%
* <u>P.A.C.A.</u> dont Bouches du R.	21 000 tonnes 11 840	22,4%

On assiste aujourd'hui à une migration de la production; en effet, en 1986, le Languedoc-Roussillon était encore la première région productrice réalisant 55% du total national, alors que la région Rhône-Alpes n'y contribuait que pour 22%. Celle-ci semble à l'heure actuelle avoir rattrapé et même légèrement dépassé le niveau de production de la région Languedoc-Roussillon.

Ce phénomène est plus particulièrement lié d'une part à une baisse de la production dans les Pyrénées Orientales, d'autre part à une forte augmentation du tonnage dans la Drôme.

La région Provence-Alpes-Côte-d'Azur s'est maintenue au même niveau (tableau 1 ).

La répartition de la production dans ces trois régions présente un intérêt quant au calendrier de l'offre. En effet, les premiers abricots français sur le marché proviennent de la région Languedoc-Roussillon ( début Juin au 15 Juillet). Le relais est assuré par la production de la région P.A.C.A. s'étalant du 10 Juillet à la fin du mois de Juillet, puis par celle de la région Rhône-Alpes couvrant la fin du mois de Juillet et tout le mois d'Août.

Cependant, à la veille de l'ouverture du grand marché européen, les producteurs notamment du Languedoc-Roussillon doivent envisager leur calendrier de production en tenant compte de la concurrence espagnole qui apporte sur le marché des abricots dès la fin du mois de Mai.

Le bénéfice de la précocité perdra de sa valeur et devra être compensé par d'autres moyens: augmentation de la productivité, production de fruits de qualité (calibre, coloration, fermeté), ce qui passe par une très bonne maîtrise des techniques culturales et de leur adaptation au comportement de la variété cultivée.

### 1.2.2. Les superficies

En 1988, le verger s'étend sur 13 725 hectares (1988, source S.C.E.E.S.) ce qui représente une augmentation de 2,7% par rapport à 1987.

Le verger français a connu une période d'extension importante jusqu'en 1972 où il atteignait la superficie de 22 000 hectares. Puis en raison de l'arrachage et de la mortalité importants, accompagnés de l'absence de renouvellement, les surfaces ont beaucoup diminué les années suivantes (12 600 hectares en 1981).

Depuis 1982, on assiste à un phénomène de replantation, d'où le léger accroissement des superficies. Ce renouveau est lié à la fois aux progrès en matière de sélection variétale et de protection phytosanitaire et au redressement des prix de vente.

En relation directe avec ce phénomène, on a assisté au vieillissement du verger jusqu'en 1982, année où plus de 60% du verger dépassait les dix ans d'âge. Le schéma 5 nous montre l'évolution du verger français de 1978 à 1986; on y observe une augmentation importante de la classe 0-5 ans, témoignant du renouvellement important ces dernières années.

Toutefois, la classe âgée ( 22 ans et plus ) demeure non négligeable.

Ces évolutions diffèrent selon les régions. Ainsi, le verger roussillonnais s'est réduit, notamment au cours des années 70-80, et le rythme de plantation s'est ralenti, alors que le verger de la Drôme a subi une forte extension dans les quinze dernières années et le rythme de plantation s'est maintenu à un niveau élevé ( cf tableau 2 ).

Finalement, en 1987 le verger français présente une pyramide des âges équilibrée; la forme de cette pyramide et la superficie totale vont vraisemblablement se maintenir dans les années à venir.

Par contre, on doit s'attendre à une augmentation des rendements, à l'image de ce que l'on observe déjà sur les vergers les plus récents. Ce phénomène sera la conséquence de travaux et recherches sur les techniques culturales, sur l'amélioration variétale et de façon plus générale sur le fonctionnement précis de l'espèce.

### 1.2.3. Les variétés

Du fait des exigences thermiques, notamment des besoins en froid ( levée de dormance ) et en chaleur, propres à chaque variété, la répartition géographique variétale obéit à une forte spécificité régionale.

Ainsi la variété Rouge du Roussillon est la plus représentée dans les Pyrénées Orientales où elle occupe 64,4% de la superficie du verger. Elle est de plus en plus représentée par le clone A 157, un peu plus tardif que la moyenne de la population. Sur le plan national (schéma 6), cette variété qui représentait presque la moitié du verger français en 1978 régresse depuis une dizaine d'années.

Dans la région de Tain-Tournon (Drôme), le verger repose presque exclusivement (à 95%) sur la variété Bergeron, qui peut produire à des altitudes allant de 100 à 600 mètres et sur des types de sol assez différents. Cette variété est en extension dans le verger français.

La région des Baronnies est encore le fief de la variété Polonais (95%), même si quelques variétés comme Modesto essaient de se faire une place.

Le Gard est le seul à présenter une gamme variétale plus large. Polonais a longtemps été la variété dominante malgré sa mauvaise adaptation à la région. Il a aujourd'hui beaucoup régressé au profit de variétés comme Rosé de Fournès, Rouge de Sernhac, Colomer; cependant la diversification variétale se poursuit avec des variétés comme Lambertin n°1 et Précoce de Tirynthe.

### 1.3. Le marché de l'abricot et les échanges commerciaux

#### 1.3.1. La consommation

La consommation française d'abricot a connu un renouveau au début des années 80, en relation avec l'augmentation de la production française et des importations, l'étalement de l'offre et l'amélioration du calibre.

La consommation moyenne par habitant est de l'ordre de 1,5 kilogramme par an, l'autoconsommation représentant environ 10%.

Le calendrier de mise en marché de l'abricot demeure assez étroit bien qu'il se soit élargi grâce au développement de variétés précoces ( Beliana, Lambertin n°1, Tirynthe ) et tardives: la variété Bergeron a permis d'étendre la période de présence des abricots sur les étalages à tout le mois d'Août . L'abricot reste quand même un fruit d'été; de ce fait les consommateurs en vacances représentent 20% du total (cf schéma 7).

Au niveau européen la consommation n'est importante que dans les pays producteurs. Ce phénomène est lié à la fragilité traditionnelle de l'abricot, à l'étroitesse du calendrier, et à une certaine inadaptation aux exigences qualitatives des consommateurs.

Ce dernier point est à prendre en considération par les producteurs: le consommateur exige de plus en plus un fruit gros, coloré, ne présentant pas de défauts majeurs et savoureux. Ces facteurs ne pourront être améliorés que par une bonne maîtrise des techniques culturales et une information poussée sur les variétés.

#### 1.3.2. Les prix

L'abricot reste un produit cher; en 1988 son prix moyen de vente s'élevait à 11,35 francs le kilogramme. Le prix présente une forte variation au cours de la saison (cf schéma 8); on enregistre un minimum au mois de Juillet, en période de pleine production.

Le schéma 8 montre que les prix de printemps sont inférieurs à ceux d'automne. Ceci est à mettre en relation avec l'arrivée en Mai de la production espagnole sur le marché, et le fait qu'en fin de saison la France reste le seul pays producteur.

Il apparaît également que l'écart de prix entre les différents calibres s'est creusé au cours des dernières années. Il devient de plus en plus intéressant de produire des gros fruits.

### 1.3.3. Les échanges commerciaux

Les quatre principaux pays producteurs européens (Italie, Espagne, Grèce, France ) sont également exportateurs; les échanges commerciaux ont essentiellement lieu entre ces quatre pays exportateurs-importateurs et l'Allemagne Fédérale importatrice. La Suisse, la Belgique, le Royaume-Uni, les Pays-Bas et l'Autriche constituent en outre de petits marchés pour les exportateurs européens.

L'Espagne, premier pays exportateur, 30 600 tonnes en 1988 a pour principaux clients l'Italie, la France et la Suisse cf schéma 9).

Les exportations de la Grèce s'élèvent à 28 600 tonnes dont 63% vers l'Allemagne Fédérale.

L'essentiel de la production Italienne reste sur le marché intérieur; seulement 6,5% de la production a été exporté en 1988.

La France a exporté 13 075 tonnes en 1988. Ses deux principaux clients sont l'Italie (37,2%) et l'Allemagne Fédérale. Viennent ensuite la Suisse, la Belgique et le Royaume-Uni (cf schéma 10).

Les exportations françaises ont régulièrement progressé depuis 1984, alors que depuis 1981, les importations oscillent autour de 14 000 tonnes (12 503 en 1988). En 1987 et 1988 la balance commerciale a même été excédentaire (cf schéma 11).

A la veille de l'ouverture européenne ces résultats sont encourageants. Un effort peut encore être fait pour promouvoir l'abricot dans les pays européens non producteurs et peu consommateurs afin d'accroître la demande.

Les producteurs français doivent donc jouer la carte de la compétitivité. Elle passera par l'amélioration technique liée à une bonne connaissance du comportement de l'espèce et des particularités des différentes variétés.

## 2. SITUATION ACTUELLE DE LA CONDUITE DE L'ABRICOTIER

On assiste actuellement à une évolution importante concernant le mode de conduite de l'abricotier; les deux principaux changements sont le passage du gobelet taille courte au gobelet taille longue et l'intensification du système de plantation.

D'autre part, l'intérêt croissant envers les systèmes de haute densité ont suscité des expérimentations de nouveaux modes de conduite adoptant des formes très différentes et de nouvelles techniques culturales (porte-greffe nanisants, régulateurs de croissance).

### 2.1. Le mode de conduite couramment utilisé

L'objectif de la conduite des arbres est d'assurer un bon éclaircissement du système végétatif aérien afin d'optimiser la photosynthèse, et de réaliser l'équilibre entre les différentes parties ( végétative et fructifère ) dans un but productif.

#### 2.1.1. La densité

Le choix du système de plantation doit permettre un bon éclaircissement de tous les arbres du verger et le passage aisé entre les rangs du matériel agricole utilisé pour la conduite de l'arbre.

La densité moyenne des vergers d'abricotier a évolué assez lentement ces dernières années: 385 arbres par hectare en 1986 (cf schéma 12). Cependant, les jeunes vergers présentent en général des densités de 400 à 500 arbres par hectare, ce qui laisse supposer un accroissement de la densité moyenne dans les années à venir.

Les distances de plantation (en moyenne 5x5 m) ne peuvent pas être universelles; elles doivent tenir compte des caractéristiques du végétal et de son environnement (sol, climat). Ainsi les distances ne seront pas les mêmes pour un Lambertin n°1 à port très érigé et pour un Rouge du Roussillon à port plus ouvert.

Le porte-greffe joue également un rôle très important; l'utilisation d'un porte-greffe moins vigoureux que la moyenne, permet de réduire légèrement les distances de plantation.

Etant donné le système de taille utilisé actuellement (cf 2.1.2.) et la vigueur des porte-greffe, il paraît difficile d'intensifier davantage le verger tel qu'il est conçu aujourd'hui. L'intensification fait toutefois l'objet de recherches que nous envisagerons au paragraphe 2.2.

### 2.1.2. La taille

La forme fondamentale adoptée pour l'abricotier est le gobelet, mais sa conception a évolué. Alors qu'autrefois le système de formation de l'arbre variait selon les régions, on assiste aujourd'hui à une homogénéisation de cette pratique.

Les premiers vergers d'abricotiers n'étaient pas taillés du tout et présentaient de gros problèmes d'alternance, de petits calibres, de maladies et de faible rendements.

#### 2.1.2.1. *Le gobelet taille courte*

Cette taille traditionnelle (Vidaud, 1980) est aujourd'hui plutôt pratiquée en zone de coteaux qu'en culture irriguée.

Les charpentières sont rabattues l'hiver suivant la plantation d'un tiers de leur hauteur. Le deuxième hiver on conserve un ou deux départs par charpentières en les rabattant d'un tiers de leur longueur.

Cette taille présente l'avantage de former un arbre petit donc facilite la récolte. Cependant il s'agit d'une taille trop sévère qui provoque l'apparition de nombreux gourmands, nécessitant un travail supplémentaire de taille en vert. De plus la base de l'arbre se dégarnit et ne produit pas. Le nombre important de plaies de taille accroît le risque de chancre. Enfin la mise à fruit est longue.

Ces raisons font que ce type de taille est peu à peu abandonné au profit d'un gobelet moins sévère.

#### 2.1.2.2. *Le gobelet taille longue*

Ce type de taille aussi appelé "gobelet moderne" vise à préserver les prolongements des charpentières et s'appuie sur une taille en vert très importante (schéma 13).

A la plantation, le scion est rabattu à 40-60 cm; au printemps, on sélectionne 3 ou 4 charpentières qui seront pendant l'été débarrassées des anticipés à leur extrémité pour les empêcher de trop se courber. L'hiver, l'arbre n'est pas taillé sauf si les extrémités des charpentières sont trop minces ou mal aoûtées.



Au printemps de la deuxième année, on supprime les rameaux concurrençant les charpentières sauf ceux du tiers inférieur qui constitueront les sous-mères. L'été les chiffonnes et gourmands du tronc et de la base des charpentières seront éliminés.

L'hiver suivant, on sélectionne 1 ou 2 sous-mères par charpentière. Les années suivantes on maintient la structure pyramidale de chaque charpentière; les extrémités sont effilées et les rameaux raccourcis.

Ce type de taille, moins sévère, apparaît très avantageux par rapport au gobelet traditionnel pour plusieurs raisons:

- la mise à fruit est plus rapide, puisqu'on peut obtenir une récolte dès la 3<sup>e</sup> année;
- les rendements sont plus élevés et plus réguliers, le phénomène d'alternance est atténué; l'arbre produit sur tout son volume, alors que le gobelet court localise la production essentiellement au sommet;
- la forme pyramidale laisse bien pénétrer la lumière jusqu'à la base;
- les charpentières, plus flexibles, sont moins cassantes;
- le calibre et la coloration des fruits sont améliorés;
- le nombre de coupes est moins important et limite ainsi les risques phytosanitaires;
- cette taille est moins coûteuse en main d'oeuvre.

L'inconvénient de cette taille est le risque de déformation par le vent; il faut dans ce cas assurer un bon renouvellement des branches et utiliser des haies brise-vent. D'autre part la hauteur des arbres nécessite un matériel spécial pour la taille et la récolte (échelle, passerelle de récolte...).

### 2.1.3. L'éclaircissage

L'éclaircissage est actuellement peu pratiqué sur abricotier; pourtant plusieurs arguments incitent à généraliser cette pratique.

La raison essentielle pour laquelle l'éclaircissage est aujourd'hui fortement conseillé concerne le calibre des fruits. Certes la recherche variétale a permis la sélection de cultivars produisant des fruits de calibre intéressant, mais pour une même variété, l'éclaircissage est un moyen efficace pour améliorer ce facteur.

Or, produire des fruits de calibre élevé présente un intérêt économique certain. Le consommateur est non seulement attiré par les gros fruits, mais il est également prêt à les payer plus cher.

D'autre part, des expérimentations sur plusieurs variétés d'abricotier (schéma 14) ont montré que la pratique de l'éclaircissage permettait de réduire fortement l'alternance. Cette régulation de l'alternance est liée au phénomène d'inhibition de l'induction florale par les fruits. Cette inhibition est d'autant plus marquée que la charge en fruits est importante, donc une année de forte production implique un taux de floribondité plus faible l'année suivante et inversement. L'éclaircissage a pour but d'attribuer à l'arbre une charge équilibrée afin de maintenir une floribondité régulière.

Des études économiques tenant compte des coûts de main d'oeuvre pour l'éclaircissage ont montré que cette pratique pouvait permettre à l'agriculteur d'augmenter sa marge bénéficiaire de façon non négligeable (cf schéma 15).

Enfin, l'éclaircissage a un effet positif sur l'indice réfractométrique, donc augmente la saveur sucrée du fruit; c'est un facteur non négligeable étant donnée l'évolution du goût des consommateurs vers des fruits de qualité gustative élevée.

L'éclaircissage demeure encore une opération manuelle, bien que des recherches soient en cours pour l'utilisation de la voie chimique.

Il est à noter cependant que cette pratique n'est pas universelle; elle doit s'adapter aux particularités de chaque variété. Or actuellement cette pratique repose uniquement sur des bases empiriques.

Une connaissance plus approfondie des phénomènes de floraison et de fructification et de leur localisation permettrait de définir pour les différentes variétés le taux optimal et la meilleure distribution de l'éclaircissage.

## 2.2. Les nouveaux systèmes de conduite

Les exigences du marché poussent les agriculteurs à être de plus en plus compétitifs. La hausse des rendements est un des facteurs recherchés par les producteurs. L'intensification est un moyen de jouer sur le rendement. Or avec le système de taille ( gobelet moderne ) et les porte-greffe actuellement utilisés, il est difficile de réduire énormément les distances de plantation.

C'est pourquoi plusieurs stations expérimentales, en France et à l'étranger, ont entrepris des essais de formes nouvelles, de porte-greffe moins vigoureux et de substances régulatrices de la croissance.

### 2.2.1. Les nouvelles formes

Les essais relatifs à ces nouveaux modes de conduite sont assez récents. Van den Ende (1984) et son équipe ont travaillé à l'Irrigation Research Institute sur une forme particulière, le Tatura Trellis en haute densité.

Dans leurs travaux, Guerriero et Al (Université de Pise) sont intéressés au Tatura et à l'axe et ont en outre testé un système de très haute densité lié à une pratique de la taille par rabattage.

Des expérimentations de haute densité ont également été entreprises en Israël par l'équipe de Gaash.

Enfin, le C.T.I.F.L. et l'A.R.F.E.L. ( Lichou, Garcin) ont mis en place dans la région de Tournon un essai comparatif de différents modes de conduite: Tatura, axe, palmettes, Y, gobelet Renaud.

#### 2.2.1.1. *Le Tatura Trellis (schéma 16)*

Les scions sont rabattus à 20 cm. Au printemps de la première année, on sélectionne deux charpentières opposées qui sont attachées sur un palissage en V perpendiculaire au rang (l'angle d'ouverture du V est de 60°).

La deuxième année, des sous-mères sont sélectionnées et palissées à 45° par rapport aux charpentières. Les ramifications partant vers l'intérieur du rang sont rabattues à 40 cm.

Les années suivantes on élimine les gourmands qui se développent à l'intérieur du rang.

Cette forme palissée a fait l'objet d'essais de haute densité: à la station de Tatura, les densités pratiquées allaient de 1170 à 2000 arbres par hectare. En Italie Guerriero a planté des abricotiers en Tatura à des densités allant de 1111 à 2222 ; enfin le Tatura de l'essai ARFEL a été planté à raison de 1000 arbres par hectare.

Ces essais ont donné de bons résultats de rendement, de calibre et de précocité de mise à fruit (dès la deuxième feuille). L'avantage de ce mode de conduite est de pouvoir combiner un système de haute densité avec une forme ouverte, permettant une bonne pénétration de la lumière. Cette forme ne nécessite pas une taille importante pendant la formation. Enfin, la récolte est très facile.

Toutefois, cette forme trop rigide rend difficile la régulation de la charge par la taille. D'autre part, elle présente le risque d'éloignement de la production, étant donné que les rameaux productifs ont tendance à sortir en extrémité.

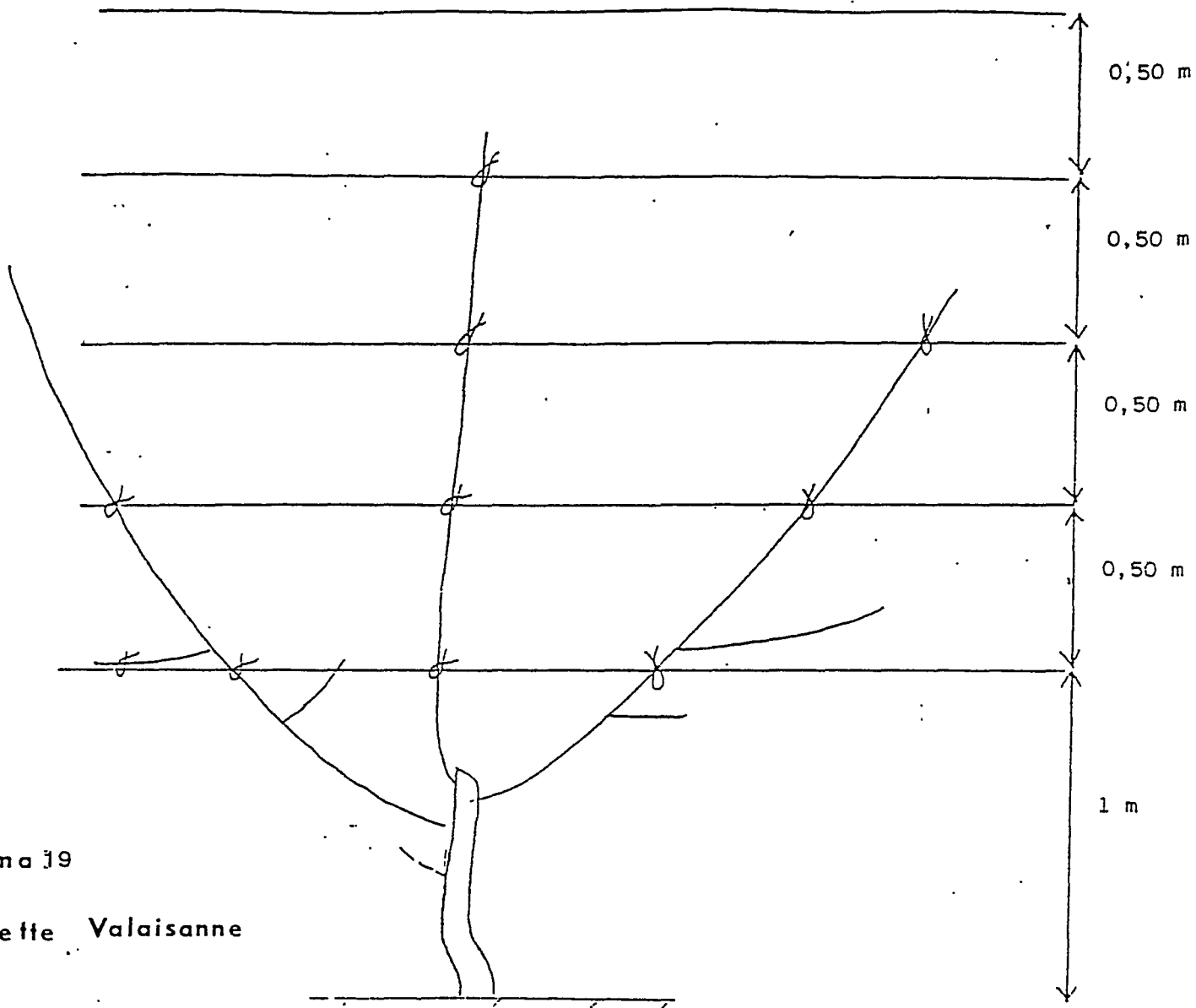


schéma 19

palmette Valaisanne

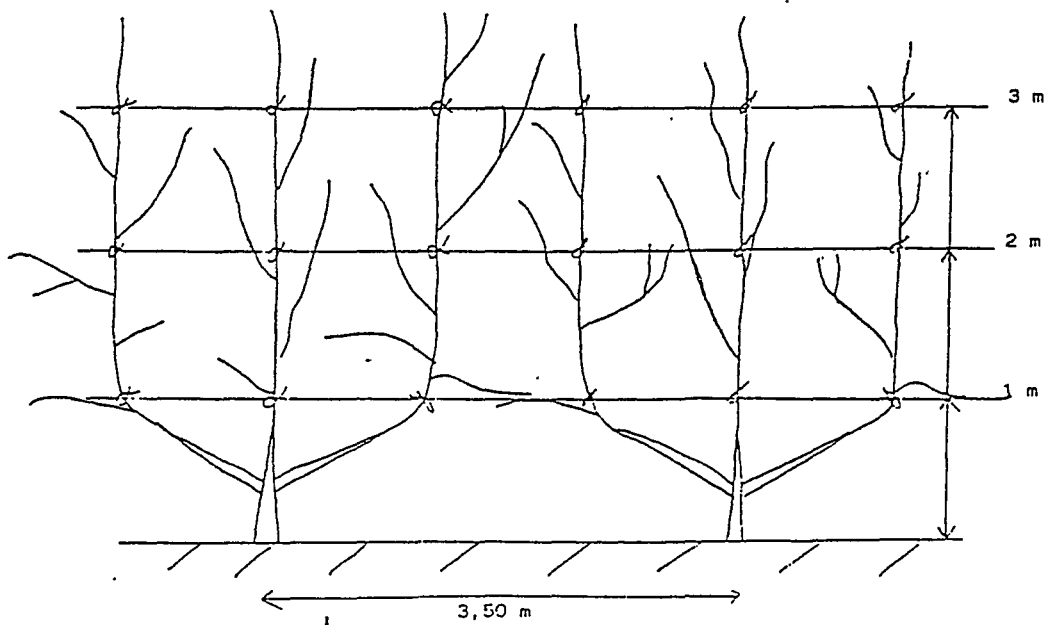


schéma 20

PALMETTE 3 AXES. S. Bellagha, 1987

Néanmoins l'arbre a tendance à trop se développer en hauteur; si l'on essaie de limiter la hauteur en rabattant le sommet de l'axe, on est obligé de garder des branches à la base. Cela crée un encombrement qui, de même que la hauteur excessive, constitue une gêne pour le travail de récolte.

Le problème de cette forme est donc qu'elle n'est pas adaptée à la vigueur actuelle des abricotiers. C'est pourquoi il sera intéressant d'envisager cette forme combinée à des moyens de régulation de la vigueur des arbres (cf 2.2.2 et 2.2.3.).

#### 2.2.1.4. *La palmette valaisanne*

Cette forme nouvelle a été pour la première fois expérimentée en Suisse à la station de Fougères (Evequoz, 1983). Il s'agit d'une forme oblique palissée structurée sur trois charpentières dans le plan de palissage (schéma 19).

La première année on sélectionne trois charpentières. Les autres rameaux sont pincés, sauf ceux situés trop bas qui sont ébourgeonnés en Mai. Fin Juin, les anticipés sont éliminés.

A la fin de l'hiver de la deuxième année, les charpentières sont palissées: une verticale, deux obliques inclinées à 45° par rapport à la verticale. Le palissage comprend 5 niveaux de fil de fer. En Juin, les anticipés et gourmands qui concurrencent les prolongements sont pincés. Des ramifications sont sélectionnées pour être palissées afin de combler l'espace entre les charpentières.

Les atouts de ce mode de conduite sont une mise à fruit rapide, des fruits bien colorés et d'un calibre intéressant. Cette forme permet également un passage facile entre les arbres et on peut envisager un resserrement des rangs. Les travaux d'entretien sont simplifiés.

Par contre, comme l'axe, cette forme confère de la vigueur à l'arbre qui a tendance à se développer exagérément en hauteur. De plus, du fait de la rigidité de la forme et de la vigueur de l'espèce, on est obligé de garder des branches sur l'extérieur; il paraît donc difficile de maintenir l'arbre dans un plan. La palmette présente enfin l'inconvénient d'une installation onéreuse, difficilement rentabilisable.

#### 2.2.1.5. *La palmette 3 axes*

C'est une variante de la forme précédente, expérimentée par l'ARFEL. Elle diffère de la palmette valaisanne par le fait que les deux charpentières latérales sont palissées verticalement. Entre la 2<sup>e</sup> et la 3<sup>e</sup> pousse, les deux charpentières sont ouvertes de part et d'autre de l'axe central et disposées de façon à maintenir une distance constante de 1 mètre entre les charpentières (schéma 20). Le fil de fer n'est tendu qu'à trois niveaux.

D'après les résultats de l'ARFEL, la production par arbre est comparable pour les deux formes de palmette, mais la palmette trois axes permet d'augmenter la densité.

L'objectif initial de la palmette trois axes était de "partager" la vigueur entre les trois axes et de diminuer ainsi la hauteur par rapport à l'axe unique. Or il s'avère que les arbres sont aussi hauts. D'autre part, les trois axes sont très serrés et les branches se gênent.

#### 2.2.1.6. *Le gobelet Renaud*

Ce gobelet est caractérisé par un grand nombre de charpentières (obtenues par dédoublement). On ne sélectionne pas de sous-mère.

Cette forme présente apparemment peu d'intérêt (faible production, pas d'intensification possible), sauf peut-être pour des variétés particulièrement peu ramifiées.

#### 2.2.1.7. *Taille par rabattage*

Guerriero et Al (Université de Pise, 1985) ont mis en place un essai de très haute densité (2500 à 8900 arbres par hectare) en utilisant des techniques de rabattage régénérant l'arbre en entier ou alternativement tous les deux ans.

Cet essai donne des résultats mitigés: la taille par régénération complète de l'arbre paraît plus intéressante que la taille alternée qui provoque une forte baisse de la production par arbre lié à une mauvaise induction florale.

Avec ce type de taille la limite de l'intensification paraît se situer autour de 4500 arbres par hectare (1,5 x 1,5 m). Au-delà on observe une baisse du rendement par hectare et les problèmes de taille et de récolte sont accentués.

Finalement, Guerriero arrive à la conclusion que des axes conduits à des distances de 4,5 x 2 m sont plus intéressants que des arbres rabattus et plantés à très haute densité car leur coût de mise en place et de conduite est inférieur alors que le rendement cumulé est similaire.

L'équipe de Gaash en Israël a également travaillé sur la très haute densité mais a rencontré des problèmes liés à la vigueur des arbres (malgré une taille sévère). Le recours à des régulateurs de croissance a permis d'endiguer le phénomène.

Ces essais ont donné des résultats intéressants mais montrent également les limites de ces pratiques. Les expérimentateurs se sont notamment heurtés au problème de la vigueur excessive de l'abricotier, difficile à combiner avec une conduite intensive.

C'est pourquoi il est intéressant de rechercher des moyens de réguler et maîtriser cette vigueur, tout en conservant un potentiel de production élevé.

### 2.2.2. Les porte-greffe nanisants

Des essais à la station CTIFL de Torreilles (Audubert 1987 et 1988) ont montré que l'utilisation de porte-greffe nanisants pouvait être une voie d'intensification intéressante.

MP43 (déjà diffusé sous le nom commercial Torinel) est un porte-greffe qui diminue la vigueur des arbres et permet de réduire les distances de plantation.

Toutefois il ne permet pas de conduire les arbres en haute densité; c'est pourquoi des expérimentations sur de nouveaux porte-greffe dotés d'un pouvoir réellement nanisant sont en cours, notamment à la station de Torreilles et à l'ARFEL.

Les deux porte-greffe étudiés sont le P2038 (hybride Myrobolan x Pr besseyi) et le Pixy (St Julien).

L'essai P2038 de Torreilles met en place trois densités: 3 x 1.50 m, 3 x 2m et 3 x 3 m. On observe un effet dépressif sur la vigueur d'autant plus marqué que la densité est importante (baisse de vigueur allant jusqu'à 40%); la production par arbre diminue, mais le rendement par hectare augmente de façon importante (tableau 3). Par contre, on remarque que les deux premières années de production le calibre est inférieur au témoin.

L'économie de main-d'oeuvre pour la récolte est considérable; la suppression des échelles de récolte permet de diminuer de moitié le temps de travail.

Le porte-greffe Pixy a été expérimenté par l'ARFEL dans la région Rhône-Alpes; il présente également un effet nanisant (baisse de vigueur de 40 à 50%), et ne semble pas induire une baisse de calibre.

Les résultats de ces deux porte-greffe sont intéressants, mais il est nécessaire de poursuivre les expérimentations notamment en ce qui concerne la compatibilité au greffage avec différentes variétés et leur adaptation aux conditions édaphiques. Il sera également intéressant de suivre le vieillissement de l'arbre afin de connaître l'influence de ces porte-greffe sur le maintien de la production et du calibre.

### 2.2.3. Les régulateurs de croissance

L'utilisation de substances inhibitrices de la croissance sur l'abricotier a fait récemment l'objet de quelques expérimentations. Ces essais s'articulent essentiellement autour d'une nouvelle substance, le paclobutrazol PP333 (élaboré par ICI sous le nom commercial de Cultar).

Ce produit est absorbé passivement par les racines ou par les feuilles. Il migre dans le xylème (ou dans le phloème lorsqu'il est absorbé par les feuilles) en direction des feuilles et des bourgeons et s'accumule dans les apex. Il agit sur les méristèmes en inhibant la synthèse des gibbérellines, donc l'élongation cellulaire.

Les effets macroscopiques se manifestent par un ralentissement de la croissance aérienne et souterraine, voire un arrêt (dans le cas de doses trop élevées), un raccourcissement des entre-noeuds.

L'application du produit se fait soit au sol, soit en pulvérisation foliaire.

Les essais de l'INRA de Montpellier (Clanet et Salles, 1984) ont mis en évidence sur jeunes vergers une réduction de la longueur des axillaires alors que le nombre de ramifications courtes est accru, comme si la dominance du bourgeon apical se trouvait réduite. Ce résultat est intéressant notamment pour les variétés produisant essentiellement sur rameaux courts.

Ces essais ont en outre montré un effet positif du Paclobutrazol sur l'induction florale, ce qui représente une voie de recherche importante en vue de l'extension des aires d'adaptabilité de certaines variétés.

Gaash en Israël (1985) a utilisé du Paclobutrazol en expérimentation dans les vergers de haute densité. Le PP333 a un effet réducteur sur la croissance des rameaux d'autant plus important qu'il est utilisé à des doses élevées. L'effet sur le calibre des fruits est également lié à la concentration appliquée. L'application au sol à l'automne semble plus efficace que la pulvérisation foliaire.

Le CTIFL a réalisé des essais Paclobutrazol en application au sol sur des abricotiers de la région de Tain Tournon (Lichou, Garcin et Vidaud, 1987). Outre les effets de réduction de la croissance des rameaux et de diminution de la longueur des entre-noeuds, on a observé l'absence d'anticipés sur les arbres traités et un arrêt définitif après la première unité de croissance plus fréquent que sur les témoins.

Ces essais permettent de mettre en évidence les effets du Paclobutrazol sur la croissance; l'application de ce produit pose cependant certains problèmes notamment l'accentuation du phénomène d'alternance. D'autre part, si le produit agit davantage sur la réduction de la longueur des entre-noeuds que sur le nombre d'entre-noeuds, il risque de se poser un problème de surcharge, donc d'éclaircissage supplémentaire.



Enfin une réflexion sur les problèmes d'environnement serait à envisager afin de savoir s'il est plus prudent de limiter l'utilisation de cette substance à un emploi comme solution de correction plutôt que comme technique culturale.

Ces essais sur les porte-greffe nanisants et sur les régulateurs de croissance sont d'une importance capitale pour l'avenir de la culture de l'abricotier, car ils vont permettre de conduire les vergers à haute densité et d'augmenter ainsi les rendements tout en économisant une main-d'oeuvre importante et coûteuse, car les travaux de taille et la récolte seront considérablement simplifiés (conception du verger "piéton", à hauteur d'homme).

D'autre part, ces recherches doivent aller de pair avec l'acquisition d'une connaissance plus précise du comportement des différentes variétés afin d'appliquer ces méthodes de façon optimale en vue de produire en quantité des fruits de qualité (calibre, fermeté, couleur, saveur, jutosité...etc...).

### 3. SYNTHÈSE ET LIMITES DE LA CONNAISSANCE MORPHOLOGIQUE DE L'ABRICOTIER; OBJECTIF DE LA MODELISATION

Originnaire de Mandchourie et introduit sur le pourtour Méditerranéen par les Grecs et les Romains, l'abricotier cultivé appartient au genre *Prunus*, caractérisé par:

- des feuilles alternes
- une formule florale =  $5S + 5P + 25E + 1C$
- un ovaire supère
- un style terminal
- un carpelle à deux ovules
- un fruit charnu (drupe) à une graine (un ovule avorte)

Le sous-genre de l'abricotier est *Prunophora* dont les caractéristiques sont la croissance sympodiale et le sillon longitudinal sur le fruit.

Enfin l'espèce, *Armeniaca*, se distingue par ses fleurs sessiles et la pubescence de l'ovaire et du fruit.

#### 3.1. Le système végétatif

Nous évoquerons dans ce paragraphe les connaissances et dénominations utilisées en arboriculture fruitière. Elles seront à rapprocher des terminaisons architecturales (cf II.1.).

L'abricotier est un arbre vigoureux qui mesure en moyenne 5 mètres mais qui peut aller jusqu'à 17 mètres en port naturel. Son envergure au niveau du feuillage se situe entre 6 et 12 mètres de diamètre. Le tronc, 20 à 30 cm de diamètre, est spiralé et à écorce mince.

##### 3.1.1. Les organes végétatifs

###### 3.1.1.1. *Les bourgeons*

Ils se développent seuls ou par 2 ou 3 à l'aisselle des feuilles. Sur le bois d'un an ils sont différenciés en bourgeons végétatifs (ou yeux à bois), petits et coniques, et bourgeons floraux (boutons). Ces bourgeons formés en même temps que le bois porteur entrent en dormance jusqu'à l'année suivante.

Toutefois quelques bourgeons végétatifs se développent aussitôt leur formation et donnent des anticipés. Dans ce cas il n'y a pas formation d'un véritable bourgeon (pas d'écaïlle); les anticipés naissent directement du méristème à l'aisselle de la jeune feuille (photo 1).

l'aisselle de la jeune feuille (photo 1); ce sont des rameaux à développement immédiat.

Parmi les bourgeons qui entrent en dormance, certains ne débourent pas l'année suivante, mais restent à l'état latent et peuvent donner des reperçements sur vieux bois. ce sont des rameaux à développement retardé.

### 3.1.1.2. *Les différents types de rameaux* -----

L'arboriculteur distingue plusieurs type de rameaux selon leur longueur et le type de bourgeons qu'ils portent:

- le gourmand (auxiblaste=rameau long) est un rameau très vigoureux, de 80cm à 1m, issu d'un reperçement sur vieux bois; il porte généralement des bourgeons floraux à sa base, et de nombreux anticipés;

- le rameau à bois, d'environ 40cm et ne portant pas de boutons est rare chez l'abricotier;

- le rameau mixte (mésoblaste), de 40cm, porte les deux types de bourgeons;

- la chiffonne (5 à 15 cm) et le bouquet de mai (0 à 5 cm) sont des rameaux courts (brachyblastes) portant les deux types de bourgeons. Ces productions courtes intéressent l'arboriculteur car elles produisent des fruits de calibre et de teneur en sucre supérieurs à ceux des rameaux longs.

### 3.1.1.3. *Un essai de classification*

Guerriero et Xiloyannis (Université de Pise) ont classé les variétés d'abricotier en quatre groupes selon le type d'organes végétatifs (schéma 21).

groupe A: ces arbres sont en général peu vigoureux; leur ramification subit une forte acrotonie. Les entre-noeuds sont plus courts que la moyenne. La production s'effectue essentiellement sur rameaux courts.

- groupe B: il s'agit d'arbres vigoureux mais portant peu d'anticipés. La ramification est acrotone ou mésotone et la fructification s'effectue à la fois sur rameaux mixtes et sur productions courtes.

- groupe C: les arbres de ce groupe sont d'une vigueur variable. Les entre-noeuds sont plutôt longs. La ramification est distribuée de façon régulière; on observe peu d'anticipés, mais un grand nombre de rameaux courts qui portent l'essentiel de la production.

- groupe D: ces arbres sont très vigoureux et portent de nombreux anticipés. La ramification est basitone. La longueur des entre-noeuds est moyenne ou supérieure à la moyenne. La fructification sur rameaux longs et anticipés est importante.

Nous rappellerons que le comportement d'une même variété peut être très variable d'une région à l'autre; ces groupes ont été décrits pour des variétés observées dans la région de Pise. Le classement des variétés serait certainement assez différent si les observations avaient eu lieu dans le Roussillon ou le Valais suisse.

### 3.1.2. La croissance

L'abricotier a une croissance sympodiale, c'est à dire qu'en fin de période de croissance le bourgeon terminal avorte et chute; la croissance peut se poursuivre grâce au redémarrage du bourgeon le plus distal.

Les avortements peuvent avoir lieu à tout moment de la période de croissance (Rivals, 1965). Ils affectent en général avec le méristème terminal quelques très jeunes feuilles. Chez l'abricotier le phénomène est brutal et provoque l'abscission rapide des parties affectées ( voir photos 2 et 3).

Le bourgeon terminal présente alors deux comportements possibles: soit il entre en dormance jusqu'à l'année suivante, soit il entre en croissance quelques semaines après l'avortement du terminal et donne une nouvelle pousse. Celle-ci fait un léger angle avec la première (cf photo 4). La reprise de croissance peut avoir lieu sur certains rameaux alors que d'autres n'ont pas encore subi d'avortement et poursuivent leur première pousse.

On observe ainsi chez l'abricot des rameaux présentant une seule période de croissance et d'autre ayant 2, quelquefois 3, plus rarement 4 périodes de croissance la même année. L'état de lignification des pousses permet de distinguer les périodes de croissance: la première pousse est souvent plus foncée et davantage pourvue de lenticelles.

On notera que le déterminisme d'avortement du méristème apical a été peu étudié et reste encore mal connu. Il y aurait une incidence trophique, mais elle n'explique pas complètement le phénomène.

Clanet et Salles (INRA Montpellier, 1974) ont observé la croissance métrique de trois variétés d'abricotier. Ils ont mis en évidence un arrêt environ 3 semaines entre les deux premières périodes de croissance. Ils ont également observé que des rameaux à deux périodes de croissance présentent pour la première période de croissance des allongements supérieurs à ceux des rameaux n'ayant qu'une seule période de croissance. Autrement dit, ils croissent plus rapidement. Par contre ils s'arrêtent plus tôt.

### Préformation et néoformation

Assaf (1965) a étudié plus précisément la croissance des rameaux des arbres fruitiers: il a observé que les bourgeons végétatifs donnent soit des pousses à croissance très brève, soit des pousses à croissance prolongée. Il suppose cependant que tout bourgeon a la potentialité de donner une pousse à croissance prolongée s'il est bien alimenté. Ce fait est illustré par les effets de la taille d'hiver. -

Or le bourgeon ne peut contenir toutes les ébauches foliaires du rameau à croissance prolongée. Assaf introduit donc les notions de préformation et néoformation. Les feuilles préformées sont celles qui se trouvent déjà dans le bourgeon à l'état d'ébauches foliaires. Les feuilles néoformées sont créées au cours du processus de croissance de la pousse. La croissance internodale et la croissance apicale décrites par Rivals correspondent respectivement au déploiement des ébauches foliaires contenues dans le bourgeon (préformées) et à la néoformation.

En disséquant des bourgeons, Assaf a mis en évidence le fait que le nombre de préfeuilles était spécifique pour chaque espèce. Il apparaît que le nombre de préfeuilles dans le bourgeon d'abricotier est très souvent 11, quelquefois 10, rarement 9. Assaf a en outre observé que les bourgeons à 9 ou 10 préfeuilles se situent plutôt à la base des rameaux.

Il classe les rameaux selon 4 types correspondant à des processus de croissance différents:

- le 1<sup>er</sup> type, essentiellement chez les arbres jeunes, correspond à des rameaux de très grande vigueur et à croissance prolongée jusqu'au plein été; ils ont tendance à émettre des anticipés. On observe un ralentissement de la croissance un mois après le débourrement, qui correspondrait à la fin de la croissance internodale.

- les rameaux du 2<sup>e</sup> type ont le même fonctionnement mais la croissance s'arrête 3 semaines plus tôt. On peut observer une reprise de croissance par le subterminal.

- les rameaux du 3<sup>e</sup> type ont une croissance brève et printanière. Ils déploient normalement le tronçon préformé mais ralentissent leur croissance avant la fin de celui-ci. Les noeuds du tronçon néoformé sont très serrés. Il peut se développer une seconde pousse.

- le 4<sup>e</sup> type correspond à des rameaux de faible dimension à croissance très brève. Ils déploient seulement les organes ébauchés; souvent même le nombre de feuilles déployées est inférieur au nombre spécifique de feuilles préformées.

Cette typologie nous donne une description intéressante de la croissance des rameaux. Toutefois les frontières entre ces différents types sont parfois difficiles à cerner car on peut observer tous les intermédiaires. Nous verrons que la modélisation ne tient pas compte de cette typologie, qu'elle considère l'ensemble des rameaux et en étudie la variabilité. Une typologie basée sur la position ou la période de croissance paraît plus justifiée car non arbitraire.

### 3.2. La reproduction

#### 3.2.1. Les bourgeons floraux

Chez l'abricotier les fleurs émanent toujours de bourgeons porteurs d'écaillés, autrement dit la différenciation des ébauches florales est intragemmaire (par opposition à extragemmaire lorsque les fleurs se différencient immédiatement à partir de méristème primaire).

Les bourgeons d'abricotier sont des boutons vrais, c'est à dire qu'ils ne contiennent que des ébauches florales et n'engendrent aucun organe végétatif (par opposition aux bourgeons mixtes engendrant une pousse feuillée porteuse de fleurs). Le bouton vrai ne possède pas de méristème végétatif apical; il a subi une sexualisation totale. Un bouton n'engendre en général qu'une seule fleur.

Les boutons de l'abricotier sont exclusivement portés sur du bois de 1 an par rapport à l'année de floraison, en position axillaire. On les trouve en général seul, par deux de part et d'autre d'un bourgeon végétatif ou par trois sur le même noeud.

La position des boutons sur le rameau porteur a été assez peu étudiée. Selon Clanet et Salles (1974), sur les rameaux à deux unités de croissance, la proportion de bourgeons floraux serait supérieure sur la deuxième unité de croissance, avec des variations importantes selon les variétés.

#### 3.2.2. La floraison

La date de floraison, qui précède de quelques jours la feuillaison, est variable selon les variétés et les conditions climatiques. En effet la levée de dormance des bourgeons floraux n'a lieu que s'il y a eu satisfaction des besoins en froid; puis les boutons floraux ont besoin d'une certaine quantité de chaleur pour évoluer en fleur (Legave, 1983 - cf schéma 22).

La floraison semble se produire de façon basitone, et les rameaux courts fleurissent plus tôt que les longs.

La floraison très précoce de l'abricotier est soumise au risque de gel printanier; les variétés présentent des sensibilités différentes aux gelées, ce qui contribue à l'adaptation régionale très étroite.

### 3.2.3. La fructification

L'abricotier est une espèce autofertile. Le grossissement du fruit a lieu par multiplication et surtout grossissement des cellules. Au moment du durcissement du noyau, la croissance est ralentie (schéma 23).

La répartition de la fructification selon le type d'organe est variable selon les variétés. Certaines variétés comme Lambertin n°1 produisent essentiellement sur rameaux courts; d'autres ont une production plus répartie (annexe 3).

### 3.3. Objectif de la modélisation

Les études agronomiques du *Prunus Armeniaca* dont nous venons de faire la synthèse apportent certaines connaissances sur le comportement de l'arbre, mais restent fort incomplètes.

Ainsi les techniques culturales et notamment le mode de conduite se basent encore sur des méthodes empiriques. Une connaissance insuffisante de l'arbre a amené à expérimenter des formes, comme le Y, inadaptées au mode de croissance de l'abricotier. Les problèmes de vigueur excessive dans la conduite en axe ou en palmette auraient pu être également mieux envisagés, si l'on avait eu une connaissance quantitative des phénomènes de croissance.

Enfin l'éclaircissage pourrait être davantage optimisé grâce à une information précise sur la position et l'abondance des fleurs et des fruits.

Les études davantage "botaniques" de cette espèce (Clanet et Salles, Assaf, Guerriero) nous ont donné un aperçu de sa complexité. Les typologies ne s'accordent pas toujours; ceci est lié au fait qu'elles font intervenir une part importante d'arbitraire. Enfin ces observations restent essentiellement qualitatives, et en ce sens fort incomplètes.

L'objectif de l'étude sur abricotier est de décrire la croissance et la fructification de cette espèce par des lois mathématiques paramétriques. On va s'efforcer de rechercher les lois mathématiques correspondant à l'espèce. Ces lois permettront de décrire toutes les variétés; chaque variété sera définie par un ensemble de paramètres qui lui seront propres.

Le modèle devrait aussi permettre de quantifier l'influence du porte-greffe, du climat, et de l'ensemble des techniques culturales (fumure, irrigation, densité, taille, éclaircissage...) afin de les optimiser.



DEUXIEME PARTIE

PRINCIPES ET METHODES UTILISES EN ARCHITECTURE ET MODELISATION

APPLICATION A L'ABRICOTIER

## 1. BREF HISTORIQUE

La première approche de l'arbre fruitier a été celle de l'arboriculteur . Comme nous venons de le voir , l'observation agronomique de l'espèce a permis d'accumuler une certaine quantité d'informations assez détaillées sur la morphologie de l'arbre. Cependant, ces connaissances concernent davantage les différents types d'organes végétatifs et reproducteurs que le comportement de l'arbre dans son ensemble.

L'étude architecturale (Hallé et Oldeman, 1970) dont nous exposons les principes ci-dessous, vise à décrire le comportement global de l'arbre. Toutefois la description reste très générale et notamment n'entre pas dans le détail de la morphogénèse des axes.

Les travaux de Champagnat (1975), en particulier sur les phénomènes de dormance et de corrélations entre bourgeons, ont permis d'avoir une approche plus précise de la croissance de l'arbre. Il a notamment mis en évidence l'effet de dominance du bourgeon apical (acrotonie) qui empêche le développement des bourgeons à la base du rameau et induit la plagiotropie des axillaires sous-jacents.

Il a également étudié la dominance des bourgeons de la face supérieure des rameaux plagiotropes. Ces corrélations entre bourgeons sont toutefois soumis à l'influence de facteurs du milieu: pesanteur, lumière. Champagnat a également beaucoup travaillé sur les phénomènes hormonaux qui régissent ces corrélations.

La croissance des arbres fruitiers a été très précisément observée et décrite par Rivals (1975). La description part des bourgeons végétatifs et de la relation entre leur volume et leur âge. Puis Rivals observe, lors de la croissance des jeunes pousses, le devenir des écailles et des feuilles réduites (variable selon les espèces) et le passage , progressif ou brutal, des écailles aux vraies feuilles.

Il analyse ensuite les rythmes de croissance du rameau en étudiant les processus de pré- et néoformation (cf I.3.1), d'arrêts et ralentissements de la croissance, chez des espèces sympodiales et monopodiales.

Enfin, Rivals observe également la différenciation des bourgeons floraux et la morphogénèse des organes reproducteurs. Il analyse le contenu des bourgeons reproducteurs et leur évolution en relation avec celle des bourgeons végétatifs.

Tous ces travaux ont contribué à l'élargissement de la connaissance des arbres, mais cette connaissance est restée très qualitative. Les quelques mesures effectuées sur les arbres basées sur des échantillons trop faibles, ou sur des méthodes peu adaptées n'ont pas vraiment apporté de précision supplémentaires.

Or la science mathématique dispose d'outils permettant une analyse précise et intelligente des phénomènes quantitatifs. Ce sont ces outils que P. De Reffye a cherché à utiliser pour modéliser la croissance des végétaux.

Sa méthode de modélisation que nous décrivons au paragraphe 2, a été développée à partir de l'étude du caféier. L'unité de croissance du caféier se confond avec l'entre-noeud. L'unité de base du modèle est donc l'entre-noeud.

L'étude sur le caféier a mis en évidence la croissance uniforme de la tige et amortie des rameaux plagiotropes. Elle a permis l'analyse précise de la croissance de différents clones et de la liaison quantitative entre le rendement de l'arbre et son architecture.

L'étude sur le caféier a aussi concerné la mesure précise de l'effet de la fumure sur la production, et l'étude du phénomène de verse en fonction de l'âge et de la production. Enfin, ce travail a conduit à définir des densités optimales de culture de cette espèce.

De Reffye et l'équipe du Laboratoire de Modélisation du Cirad ont poursuivi les travaux de modélisation à travers l'étude d'autres espèces (cotonnier, litchi, bambou, bégonia, ...).

L'étude du litchi (Costes, 1988), dont la croissance est sympodiale, rythmique et acrotone, a amené à distinguer les unités de croissance successives. L'étude a cependant montré que la probabilité de réaliser un entre-noeud était la même que la probabilité de faire une nouvelle UC.

L'étude montre que la longueur en entre-noeuds des unités de croissance suit normalement une loi de poisson.

En 1988 le Laboratoire de modélisation a entrepris l'étude d'espèces tempérées (peuplier, abricotier). Ces études ont notamment conduit à introduire les notions de préformation et néoformation, développées par Assaf (cf partie I, 3.1.).

Nous rappelons ainsi que l'analyse de la croissance des arbres par la méthode de modélisation se nourrit abondamment des informations qualitatives apportées par les observations précises des botanistes que nous avons évoquées plus haut (Hallé, Champagnat, Rivals...).

## 2. ARCHITECTURE VEGETALE

### 2.1. Eléments de base

Ces notions s'appuient sur les travaux de Hallé Oldeman et Tomlison (1978) et ceux d'Edelin (1984). Elles ont pour objectif la description de la forme et du développement des arbres.

#### 2.1.1. La croissance

La croissance en longueur de l'axe feuillé résulte de l'activité du méristème terminal par un double processus de division cellulaire (mérèse) et d'élongation des cellules (auxèse),- mettant en place une succession d'entre-noeuds. La durée de création d'un entre-noeud est appelée plastochrone.

Lorsque le méristème fonctionne sans arrêt, la croissance est dite continue. Elle est rythmique lorsque la croissance est interrompue par des phases de repos du méristème. La portion de tige mise en place entre deux phases de repos est appelée Unité de croissance (UC).

Deux unités de croissance successives sont en général séparées par une série d'entre-noeuds courts correspondant aux écailles du bourgeon.

#### 2.1.2. La ramification

La ramification est le plus souvent le résultat de l'activité des bourgeons axillaires.

Lorsque le méristème apical poursuit son activité la ramification est dite monopodiale. Lorsqu'il meurt, et que les bourgeons axillaires sous-jacents assurent le relais, la ramification est sympodiale.

La ramification est continue si tous les bourgeons axillaires donnent naissance à un rameau, diffuse si la distribution des rameaux est fortuite, rythmique si les rameaux apparaissent par séries.

Quand le développement du rameau démarre immédiatement après la formation du méristème, la ramification est sylleptique. Elle est proleptique si le bourgeon axillaire présente une période de repos avant le développement du rameau.

On définit un ordre de ramification (cf schéma 24): l'ordre 1 correspond au premier axe formé, l'ordre 2 aux rameaux portés par l'axe d'ordre 1, l'ordre 3 aux rameaux portés par les axes d'ordre 2 ...etc...

### 2.1.3. Le polymorphisme des axes végétatifs

Les axes d'un même arbre ne sont pas tous morphologiquement semblables: on distingue des axes à croissance verticale (orthotropes), souvent associés à une phyllotaxie spiralée et à une ramification radiale et des axes à croissance horizontale (plagiotropes) associés généralement à une phyllotaxie distique et à une ramification dans un plan.

On définit plusieurs modalités de plagiotropie et d'orthotropie (cf schéma. 25).

Le polymorphisme est aussi illustré par les distinctions axes courts et axes longs, axes portant des fleurs et axes n'en portant pas.

On notera que le polymorphisme des axes est souvent en étroite relation avec les ordres de ramification.

### 2.1.4. La position de la sexualité

La position des fleurs peut être latérale ou terminale. Elle joue de ce fait un rôle important dans le caractère monopodial ou sympodial de la ramification.

### 2.1.5. Le concept de modèle architectural

Les caractères définis précédemment se combinent pour conférer à l'arbre sa propre architecture. Il semble toutefois qu'il n'existe qu'une vingtaine de combinaisons possibles; ce sont les modèles architecturaux décrits par Hallé et son équipe (1970, 1978).

Ces modèles sont définis sur la base de 4 catégories de complexité croissante:

- \* arbres non ramifiés
- \* arbres ramifiés
  - axes végétatifs tous équivalents et orthotropes
  - axes végétatifs différenciés
  - axes végétatifs à structure mixte

Ces 20 modèles (cf annexe 1) définissent des caractéristiques architecturales majeures mais permettent de multiples variations architecturales mineures.

### 2.1.6. La réitération

La réitération est un processus par lequel l'arbre réplique son architecture. On observe ainsi sur des arbres de plusieurs années l'apparition de complexes réitérés, structures élémentaires qui répliquent en totalité ou en partie la structure de l'arbre jeune ( cf schéma 26).

On distingue la réitération adaptative, génétiquement programmée et correspondant au développement normal de l'arbre, de la réitération traumatique provoquée par la suppression accidentelle ou volontaire (taille) du méristème terminal.

La réitération adaptative peut naître d'un bourgeon resté à l'état de dormance et réactivé: on parle alors de réitération proleptique. Elle peut également être issue de branches séquentielles en croissance par un phénomène de métamorphose architecturale: il s'agit alors de réitération sylleptique.

La réitération traumatique est liée au phénomène de dominance du bourgeon apical sur les bourgeons axillaires.

La réitération permet à l'arbre de développer plus rapidement sa ramification et donc de mieux capter l'énergie lumineuse. Elle nécessite cependant pour sa mise en place des conditions d'environnement pouvant répondre à des besoins énergétiques importants.

## 2.2. Application à l'abricotier

### 2.2.1. *La croissance*

L'abricotier a une croissance rythmique. Outre le polycyclisme interannuel dû au repos végétatif hivernal, l'arbre présente un polycyclisme annuel; on peut ainsi observer plusieurs unités de croissance (UC) par an. Toutefois la croissance des différentes UC n'est pas synchrone sur tous les rameaux: un rameau peut réaliser 3 UC pendant qu'un autre n'en fera qu'une très longue.



### 2.2.2. La ramification

L'arbre est un sympode. Sa ramification est diffuse. La plupart des rameaux sont proleptiques.

Les UC relais (position subterminale) se développent après une période de dormance de quelques semaines. Les autres rameaux se développent un an après l'axe qui les porte.

---On rencontre cependant des rameaux sylleptiques (anticipés), notamment sur les axes vigoureux et chez l'arbre jeune. En effet la première croissance met en place un axe portant des séries d'anticipés (schéma 27); ces rameaux se développent alors que l'axe porteur n'a pas terminé sa croissance. Cette ramification sylleptique apparaît par niveaux; elle aurait donc tendance à être rythmique, alors que la ramification proleptique est plutôt diffuse.

L'abricotier présenterait 4 ordres de ramification dont l'ultime serait le bouquet de Mai et un phénomène important de métamorphose (schéma 28). La notion d'ordre est cependant difficile à définir chez l'abricotier car on observe tous les intermédiaires entre le bouquet de Mai et le rameau long; d'autre part, l'ordre ne tient pas compte de l'acrotonie.

### 2.2.3. la morphologie des axes

Tous les axes sont orthotropes à phyllotaxie spiralée (2/5). Toutefois, selon les variétés les branches se courbent plus ou moins sous l'effet de la charge des fruits.

### 2.2.4. La réitération

On observe chez l'abricotier la mise en place de complexes réitérés liée à la courbure des branches.

La description de l'architecture des abricotiers observés est rendue difficile par le fait que ces arbres sont greffés. Il semble que le greffage accélère le processus de réitération qui se produit alors précocement. Tout se passe comme si les axes qui se mettent en place étaient d'emblée des complexes réitérés.

### 2.2.5. Le modèle

L'abricotier se rapprocherait du modèle de Champagnat (schéma 29). Dans ce modèle les axes végétatifs sont à structure mixte (orthotropes à leur base et plagiotropes à leur extrémité); il n'y a pas de différenciation morphologique ou fonctionnelle des axes

La croissance des arbres se construisant selon ce modèle se fait par juxtaposition indéfinie d'axes végétatifs à structure mixte. Chez l'abricotier, les structures qui s'empilent ne sont pas des axes simples mais des complexes ramifiés.

La phyllotaxie est généralement spiralée. La partie distale de l'axe est séparée de la partie basale par une courbe à très grand rayon, favorisant ainsi l'émission d'axes relais.

Le comportement de l'abricotier semble suivre grossièrement ce modèle, de façon plus ou moins marqué selon les variétés.

On remarque que la description architecturale de l'abricotier n'est pas aisée. Elle mérite d'être approfondie dans le travail ultérieur.

#### 2.2.6. Cas particulier de la variété Fournès

Les branches de cette variété ont une tendance très forte à s'affaïsser et à prendre une allure courbée (schéma 30).

Cette courbure favorise le développement de relais, non plus en extrémité mais en milieu d'UC. Très souvent, ces rameaux longs se développent à partir de rameaux courts (A4).

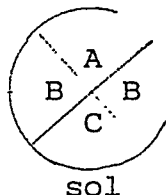
Si l'on partage la branche en trois zones de courbure de la façon suivante (schéma 31):

- zone 1: partie basale orthotrope
- zone 2: partie horizontale
- zone 3: extrémité de la branche

on montre que les axillaires longs susceptibles de former des relais se développent préférentiellement sur la zone horizontale de la branche (schéma 32).

Des comparaisons de moyennes de longueur en entre-noeuds ont en outre montré que les rameaux se développant dans la zone 3 étaient beaucoup plus courts que ceux développés sur la zone 2.

Si on découpe la section de la branche porteuse en zones



44% des axillaires longs se développent sur la zone supérieure A, 24% sur chacune des 2 zones latérales (B) et 8% sur la zone inférieure (C). On met ainsi en évidence le phénomène d'épitonie.



### 3. MODELISATION ET SIMULATION DE L'ARCHITECTURE DES PLANTES

L'architecture permet de décrire qualitativement le développement du végétal; le souci de quantifier ce développement et sa variabilité a donné naissance à une nouvelle façon de décrire le phénomène, basée sur des outils mathématiques.

La modélisation se fonde sur le paramétrage des états de la structure du végétal et sur le processus de passage d'un état à l'autre (Thom, 1972).

Il y a deux moyens fondamentaux d'envisager la modélisation; l'un se base sur un modèle théorique qui est à posteriori confronté au réel: c'est la modélisation logique, développée par Thom (1978), Jean (1983 et 1985), Buis et Al. (1983). L'autre modélisation est fondée sur la comparaison préalable avec le réel: c'est la modélisation analogique, développée par Cohen (1967), Honda et Fischer (1977), et De Reffye (1979) dont nous avons suivi le modèle.

Nous allons donc décrire ici la méthode de modélisation et de simulation mise au point par le Laboratoire de Modélisation du CIRAD à Montpellier.

#### 3.1. Principe de la modélisation stochastique

"La croissance d'un axe peut être représentée par des processus à accroissements aléatoires. Ces processus sont cachés et ne peuvent être mis en évidence que par la manifestation expérimentale des irrégularités locales de la structure du végétal." (De Reffye)

L'arbre se construit à partir du fonctionnement des méristèmes; or De Reffye considère que l'âge du méristème n'est pas lié au temps, mais à sa propre activité organogénétique. Il y a trois états possibles pour le méristème:

- l'état d'inhibition (dormance)
- l'état d'activité (croissance)
- l'état d'arrêt du fonctionnement (mortalité)

On met en évidence le caractère aléatoire de chaque état auquel on associe une probabilité.

### 3.1.1. Rappels sur les lois de probabilités

#### 3.1.1.1. *Loi de probabilité*

On définit  $\Omega$  (espace des possibles) par l'ensemble des événements élémentaires. Un événement élémentaire  $\delta$  correspond à une éventualité; par exemple lorsqu'on lance un dé, "obtenir la face 5" est un événement élémentaire et l'ensemble  $\Omega$  contient 6 éléments correspondant aux six faces.

Une loi de probabilité  $Pr$  est une application de  $\Omega$  dans  $[0,1]$ :

$$\begin{array}{l} \Omega \text{ ---} \rightarrow [0,1] \\ \delta \text{ ---} \rightarrow Pr(\delta) \end{array}$$

#### 3.1.1.2. *Variable aléatoire*

Une variable aléatoire  $X$  est une application de  $\Omega$  dans l'ensemble  $R$  des réels. Une variable aléatoire discrète ne peut prendre qu'un nombre entier de valeurs.

Dans notre cas toutes les variables aléatoires sont discrètes et à valeurs dans  $N$ : à tout événement  $\delta$  de  $\Omega$  on associe un entier positif. Dans l'exemple du dé, la variable aléatoire  $X$  peut être l'application qui associe à l'événement "obtenir la face  $i$ " le naturel  $i$ .

$$\begin{array}{l} \Omega \text{ ---} \rightarrow N \\ \delta \text{ ---} \rightarrow X(\delta) \end{array}$$

On transpose alors la loi de probabilité de  $\Omega$  sur  $N$  avec:

$$P[X(\delta)] = Pr(\delta)$$

Si  $X(\delta)=i$ , cette probabilité s'écrit aussi:

$$P_x(i) = P(X=i)$$

Ainsi la probabilité d'obtenir la face 5 s'écrit:

$$P_x(5) \text{ ou } P(X=5)$$

La loi de probabilité associée à une variable aléatoire discrète est une loi discrète

### 3.1.1.3. *Espérance et variance*

L'espérance (ou moyenne)  $E$  et la variance  $V$  d'une variable aléatoire discrète  $X$  sont données par les expressions:

$$E(X) = \sum_{k=0}^{\infty} k P(X=k)$$

$$V(X) = E [(X - E(X))^2]$$

### 3.1.2. La croissance

L'unité de mesure est l'entre-noeud. Les accroissements correspondent donc à des variables aléatoires discrètes.

Le méristème est soumis à une série de tests d'accroissements dont la fréquence est gérée par une horloge interne et dont le succès dépend de la loi de probabilité propre au méristème.

Dans les travaux sur les espèces tropicales, De Reffye a introduit la notion de dimension ( $N$ ), comme étant le nombre de tests d'accroissements subis par le méristème. Cette notion est à différencier de la taille qui représente le nombre de réussites aux tests d'accroissements (taille réelle de l'axe).

Si l'on considère que les accroissements sont indépendants, alors la tige correspond à la somme de  $N$  variables aléatoires  $U_i$  indépendantes qui ne prennent comme valeur que 0 ou 1 (événement de Bernouilli) avec

$\Pr(U_i=1)=b_i$       probabilité de faire un entre-noeud à la dimension  $i$  = activité du bourgeon

$\Pr(U_i=0)=1-b_i$

Dans une population d'axes ayant tous la même dimension et la même activité, la taille moyenne  $X$  et la variance  $V$  s'expriment de la façon suivante:

$$X = \sum b_i$$

$$V = \sum b_i(1-b_i)$$

Lorsque la croissance est uniforme ( $b_i = b$  constant), alors la distribution de la taille des tiges suit une loi binomiale de paramètres  $N$  et  $b$  :  $B(N,p)$ . la probabilité d'avoir une taille  $Y$  s'exprime alors:

$$P(Y) = C_N^Y b^Y (1-b)^{N-Y}$$

La taille moyenne et la variance de la population deviennent:

$$X = Nb$$

$$V = Nb(1-b)$$

La relation entre la variance et la moyenne est linéaire; inversement, on montre que si la relation moyenne-variance apparaît linéaire, on en déduit que l'activité est constante.

Un autre exemple simple est celui de la croissance amortie ( $b_i = b^i$ ) qui se traduit par une relation quadratique entre la variance et la moyenne:  $V = k(E+E^2)$ .

### 3.1.3. Viabilité et mortalité

Le processus de mortalité est important à étudier étant donnée son influence sur la structure de l'arbre (forme, hauteur).

Le taux de mortalité d'un méristème à la dimension  $K$  est la probabilité pour ce méristème de parvenir à la dimension  $K$  et d'avorter à la dimension  $K+1$ . On le note  $dF_k$ .

Le taux de viabilité d'un méristème à la dimension  $K$  est la probabilité de passage de la dimension  $K-1$  à la dimension  $K$ . On le note  $c_k$ .

Si on considère les étapes successives d'avortement indépendantes, alors on a:

$$dF(k) = \prod_1^k c_i (1-c_{k+1})$$

La dimension moyenne d'avortement vaut:

$$N = \sum k dF_k = \sum \prod_1^k c_i$$

et la variance:

$$V = \sum dF_k (k-N)^2$$

Cas particulier: le taux de mortalité est constant

$c_i = c$  alors

$$dF_k = c^k (1-c)$$

d'où  $F_k = 1-c^{k+1}$

On en déduit donc que dans ce cas, la répartition des classes d'avortement suit une exponentielle décroissante.

### 3.1.4. La ramification

On se place dans le cas où le méristème fonctionne entre-noeud par entre-noeud; il forme un bourgeon axillaire à chaque noeud. On suppose que l'unité de dimension est la même pour l'axe et les axillaires et que activité et viabilité valent 1.

Trois cas se présentent pour le bourgeon axillaire apparu à la dimension X:

- le bourgeon démarre aussitôt sa formation (syllepsie). Sa longueur est N-X.

- le bourgeon démarre après une dormance de k unités de dimension (prolepsie). Sa longueur est N-X-k.

- le bourgeon reste dormant pendant la période N-X . La ramification est nulle.

Si  $dF(N-X-k)$  est la probabilité de retard k et  $a_k$  la probabilité de fonctionnement après k unités de dormance, on a:

$$dF(N-X-0) = a_1$$

$$dF(N-X-1) = (1-a_1) a_2$$

$$dF(N-X-k) = a_{k+1} \prod (1-a_i)$$

Si  $a_k$  est constant et vaut a, on déduit la moyenne de la longueur des rameaux proleptiques:

$$Y = N - x - (1-a)(1 - (1-a)^{N-x})$$

Si l'activité du bourgeon axillaire n'est pas constante ( $b_i$ ), la taille moyenne des rameaux sera:

$$Y = \sum_{k=0}^{N-X} dF(N-X-k) \left( \sum_{i=0}^{N-X-k} b_{X+k+i} \right)$$

### 3.2. La simulation

La simulation de l'architecture des plantes étudiées selon la méthode de modélisation qui vient d'être décrite, est réalisée grâce au logiciel AMAP (Atelier de Modélisation de l'Architecture des Plantes) mis au point au Laboratoire de modélisation du CIRAD (De Reffye, Jaeger, Edelin).

Ce logiciel permet la visualisation en 3 dimensions d'images de synthèse d'arbres et de plantes.

La simulation est basée sur la notion de moteur de croissance qui est un programme décrivant l'évolution de la topologie d'un ensemble de noeuds issu d'un noeud fixe et organisé selon les principes de croissance, mortalité et ramification (Jaeger, 1987). Le programme permet la simulation de l'arbre à un âge donné.

Le moteur de croissance comprend deux fonctions:

- le moteur proprement dit
- les lois de croissance

Etant donné l'impossibilité de faire fonctionner tous les méristèmes simultanément, le moteur est construit selon un parcours en mode préfixé, c'est-à-dire qu'en partant de la base d'un axe, on s'arrête à chaque ramification pour l'explorer avant de poursuivre la description de l'axe porteur.

Toutefois, ce mode, qui ne met pas en place les entre-noeuds selon la chronologie réelle ne permet pas de rendre compte des phénomènes de gêne entre axes.

Les lois de croissance sont les lois de probabilité qui gèrent les processus de croissance, viabilité et ramification (cf 3.1.). Le programme intègre ces lois en tenant compte de la position et de la nature de l'UC.

La simulation fait en outre appel à des notions géométriques; à chaque noeud (=constituant), on associe un identifiant, qui est un nombre caractérisant le noeud (feuille, fleur, fruit...). Des données sur l'insertion, la direction de développement, la flexion de l'axe et l'origine géométrique du méristème sont alors nécessaires pour définir la géométrie des constituants.

La simulation d'une espèce particulière passe par l'intégration des lois, des paramètres de ces lois et des données géométriques qui la définissent.

L'annexe 18 présente des dessins d'abricotier simulés par le programme actuel.

#### 4. MATERIEL ET METHODES UTILISES POUR L'ETUDE DE L'ABRICOTIER

La méthode utilisée par le Laboratoire de Modélisation du CIRAD a pour première étape un ensemble exhaustif d'observations précises sur les arbres. Ce travail de terrain ainsi que la mise en fichier des données ont occupé la majeure partie du stage, le temps restant ayant été consacré à l'exploitation mathématique.

##### 4.1. Le matériel végétal

Les observations ont concerné des arbres en port naturel (non taillés) sur la station CTIFL de Balandran (Gard) et sur celle de la SICA CENTREX à Torreilles (Pyrénées Orientales).

##### 4.1.1. Les vergers

Les arbres observés à Balandran se situent sur une petite parcelle de 7 ares ; le sol est limono-argileux, son pH vaut 7. L'irrigation se fait par aspersion.

Cette plantation a eu lieu en 1983 (greffage à oeil dormant) dans le cadre d'un essai "Port naturel". En effet les arbres, plantés à une densité de 417 par hectare (4.80 x 5 m) n'ont jamais été taillés; 6 variétés et 4 porte-greffes différents font l'objet de cet essai (voir plan de la parcelle, annexe 2 et tableau 4).

Deux variétés, Royal Rosa et Modesto, ont été plantées plus tard (1985) en remplacement.

Le verger de Torreilles comprend 6 variétés plantées en 1982 et 7 en 1985. Tous les arbres, non taillés, sont greffés sur Brompton et font partie d'un essai "Port naturel", analogue à celui de Balandran.

Le travail effectué par le CTIFL sur ces arbres a consisté jusqu'à présent à des observations qualitatives sur le port des arbres et en des mesures de fructification: production par arbre, par type d'organe, poids moyen des fruits. Les résultats de ces observations sont reportés en annexe 3.

Ces observations montrent que les variétés peuvent naturellement avoir des ports naturels très différents, allant du port érigé de Tardif de bordaneil au port plus étalé de Rosé de Fournès.

Les mesures de production mettent en évidence une différence entre les variétés qui produisent davantage sur rameaux courts (Rouge du Roussillon, Tyrinthe, Colomer...) et d'autres, comme Beliana ayant une production plus répartie entre rameaux longs et rameaux courts.

L'intérêt de ces arbres pour notre étude réside dans le fait qu'il n'ont subi aucune intervention de taille; nous allons donc pouvoir étudier leur développement spontané. D'autre part, il sera intéressant de comparer le comportement d'une même variété dans deux régions différentes.

#### 4.1.2. Les variétés

L'étude architecturale de 1989 s'est intéressée à trois variétés et deux porte-greffes. L'annexe 4 comporte les fiches variétales correspondant à ces variétés (INRA, Audergon).

##### 4.1.2.1. *Rouge du Roussillon*

Nous avons vu que cette variété occupe encore une place importante au sein du verger national; elle est plus particulièrement spécifique des Pyrénées Orientales, dont elle est originaire.

L'arbre a un port moyen, il est assez ramifié et se conduit facilement en gobelet. Le schéma 33 nous montre la silhouette d'un Roussillon greffé sur Manicot à Balandran (port naturel, 1988).

la floraison est demi-précoce à moyenne selon la classification d'Audergon. L'époque de maturité des fruits se situe en moyenne vers le 15 Juillet dans le Gard (très variable selon les années). La productivité est importante, mais le calibre des fruits petit et leur chair plutôt pâteuse; c'est un bon fruit pour la confiture.

Cette variété ne se comporte bien que dans les Pyrénées Orientales. Dans le Gard, elle est soumise à une chute importante de jeunes fruits et une assez forte alternance.

##### 4.1.2.2. *Rouge de Fournès*

Cette variété originaire du Gard a un port plutôt semi-dressé; sa ramification tortueuse rend l'arbre difficile à former. Le schéma 34 nous montre la silhouette d'un arbre en 6<sup>e</sup> feuille.

La floraison est demi-précoce, d'abondance moyenne. La maturité des fruits a lieu environ 11 jours avant Rouge du Roussillon. La productivité est assez importante et très régulière. le calibre du fruit, naturellement petit peut être fortement amélioré par l'éclaircissage; par contre ses qualités gustatives sont médiocres.



#### 4.1.2.3. Modesto

Modesto est une variété californienne sélectionnée par F.V. Anderson. L'arbre peut être très vigoureux; son port dressé s'ouvre sous le poids des fruits.

Sa floraison est précoce et abondante. La maturité des fruits se place à une période intermédiaire entre Fournès et R. du Roussillon. La productivité est bonne et régulière.

Le calibre du fruit est très gros, ses qualités gustatives moyennes.

Cette variété semble assez bien s'adapter dans les différentes régions françaises.

#### 4.1.2.4. Les porte-greffes

\* Le Manicot GF 1236 (obtention INRA) est un franc d'abricotier. Il présente en général une très bonne compatibilité avec les différentes variétés. Il induit une forte vigueur, une bonne productivité, mais provoque un léger retard de maturité et une perte de coloration. Il n'émet pas de drageons.

Il présente l'inconvénient d'être sensible à l'asphyxie racinaire.

\* Le Brompton E.M., sélectionné en Grande Bretagne (East Malling) appartient à l'espèce *Prunus domestica* (prunier). Il présente une assez bonne compatibilité avec les variétés. Il confère vigueur, productivité et une bonne coloration du fruit. Il a tendance à émettre des drageons.

Il est un peu moins sensible à l'asphyxie racinaire que le Manicot. Enfin, son adaptation au sol est assez étroite: il ne se comporte bien qu'en sols limono-sableux et limoneux.

## 4.2. Méthodes d'observation

La méthode de modélisation développée par l'équipe du CIRAD exige une grande quantité d'observations. En effet pour déterminer les lois décrivant la variabilité des phénomènes de croissance et de floraison, il faut avoir une expression de cette variabilité réelle la plus exacte possible. Or un échantillon trop faible ne nous permettrait pas de mettre en évidence la répartition de cette variabilité.

L'exactitude serait obtenue avec un effectif infini; ceci est évidemment irréalisable. Nous verrons que l'étude entreprise cette année s'est heurtée à ces problèmes d'effectifs et nous nous efforcerons de définir les limites inférieures aux quantités d'observations nécessaires, en deçà desquelles toute interprétation s'avère difficile.

Trois types d'observations ont été réalisées sur les abricotiers. Des observations dynamiques de rameaux en croissance, des observations statiques sur des rameaux ayant terminé leur croissance, enfin des observations sur la floraison et la fructification.

#### 4.2.1. Le suivi de croissance

Ces observations dynamiques ont concerné deux arbres de la variété Rouge du Roussillon sur le porte-greffe Manicot à Balandran.

125 rameaux par arbre ont été marqués pour être observés deux fois par semaine; l'observation portait sur la pousse 1989 relais c'est-à-dire en position subterminale. On notera qu'à la première date seulement 25 rameaux ont été observés.

Chaque relevé consiste à noter le nombre de feuilles de l'Unité de croissance à la date X; on a distingué les feuilles réduites (r) de la base qui chutent assez rapidement laissant une cicatrice, des feuilles "normales (F) qui persistent en général jusqu'à l'automne.

On note également pour chaque rameau l'arrêt ( $m^*$ ) du fonctionnement puis la chute ( $m_x$ ) du méristème apical (schéma 35).

Les observations ont porté sur les trois unités de croissance de 1989; cependant assez peu de rameaux ont réalisé une troisième UC.

En complément de ces observations, des longueurs d'entre-noeuds ont été mesurées sur une partie des premières UC.

#### 4.2.2. Les relevés statiques

Ces relevés ont porté sur des pousses ayant terminé leur croissance, c'est-à-dire sur des unités de croissance des années 1986, 1987, 1988 et parfois sur la première UC 1989.

Ils ont été réalisés sur Rouge du Roussillon sur Manicot et Brompton, Modesto sur Brompton, Rosé de Fournès sur Manicot.

Les trois Modesto de Balandran ont été décrits intégralement. Les autres arbres ont été échantillonnés : le tableau 6 rassemble les effectifs de rameaux observés par arbre.

tableau 6 : relevés statiques

VARIETE	PORTE GREFFE	Date de plantation	lieu	Nombre de rameaux échantillonnés
R. du Roussillon	Manicot	1983	Balandran	100 (2 arbres)
R. du Roussillon	Brompton	1983	Balandran	100 (2 arbres)
R. du Roussillon	Brompton	1982	Torreilles	50 (2 arbres)
Modesto	Brompton	1985	Balandran	3 arbres en entier
Modesto	Brompton	1985	Torreilles	50 (4 arbres)
R. de Fournès	Manicot	1983	Balandran	100 (2 arbres)

Les observations consistent à compter les noeuds des différentes unités de croissance rencontrées sur le rameau et à noter la position des ramifications.

Le relevé de ces observations se fait sous la forme d'un dessin de l'ensemble du rameau sur lequel on note l'âge des unités de croissance (1.87 = 1<sup>ère</sup> UC 1987, 2.88 = 2<sup>e</sup> UC 1988...) et leur nombre de noeuds. Sur le bois de 1987 et 1986 on distingue les yeux latents (b), les cicatrices de fruit (OF), les cicatrices de feuilles (0), les axillaires vivants (a) et morts (am). Le schéma 36 nous montre un exemple de relevé.

#### 4.2.3. Les observations floraison-fructification

Ces relevés ont portés uniquement sur les UC de 1987 et 1988 des variétés R. du Roussillon sur Manicot et Brompton et R. de Fournès. Le tableau 7 rassemble les effectifs observés par arbre.

tableau 7: relevés de floraison

VARIETE	PORTE GREFFE	Date de plantation	lieu	Nombre de rameaux échantillonnés
R. du Roussillon	Manicot	1983	Balandran	100 (2 arbres)
R. du Roussillon	Brompton	1983	Balandran	50 (2 arbres)
R. du Roussillon	Brompton	1982	Torreilles	50 (2 arbres)
R. de Fournès	Manicot	1983	Balandran	50 (2 arbres)

Les observations ont été effectuées à trois stades deux seulement à Torreilles):

- juste avant la floraison (stade phénologique B, cf annexe 5)
- au stade jeune fruit (stade phénologique I)
- au stade fruit mûr

A Torreilles, le stade jeune fruit n'a pas été observé.

Les observations consistent à compter le nombre de fleurs (ou de fruits) par noeud et de noter leur position.

Le relevé de floraison (1<sup>er</sup> stade) est basé sur un dessin selon le même principe que les relevés statiques précédemment décrits. On y fait en plus figurer sur les UC 1988 le nombre de bourgeons par noeud et la nature de ces bourgeons, floraux ou végétatifs (cf schéma 37)

Ainsi 2F1V signifie qu'il y a deux bourgeons floraux et un végétatif sur le même noeud, 0 qu'il n'y a pas de bourgeon, 1F qu'il y a seulement un bouton...etc...

Les rameaux n'ont pas été redessinés pour les relevés aux stades fruit jeune et fruit mûr. On a simplement noté par rameau la position et le nombre de fruits restants. On mentionnera que la position 1 correspond au bourgeon subterminal, la position 2 étant celle du noeud sous-jacent et ainsi de suite; la numérotation des noeuds se fait par rapport au sommet de l'UC.

### 4.3. L'exploitation des données observées

#### 4.3.1. La mise en fichiers

4 types de fichiers ont été créés à partir des relevés dont nous venons de décrire le principe. Un type de fichier correspond au suivi de croissance, un autre aux relevés fleurs fruits et deux types sont créés à partir des relevés statiques.

##### 4.3.1.1. *Les fichiers "suivi de croissance"*

Ces fichiers ont été créés avec l'éditeur SLATE sous le logiciel SAS.

On a créé un fichier pour chaque unité de croissance. Une ligne correspond à une pousse et une colonne à une date. Les intersections (i,j) sont affectées du nombre total (r+F) de feuilles de la pousse i à la date j.

Lorsque la croissance est arrêtée (fin de l'UC), l'intersection est affectée d'un -1 (annexe 6).

##### 4.3.1.2. *Les fichiers "longueur d'UC"*

Ces fichiers ont été créés sous le logiciel STATITCF au CTIFL de Balandran. Chaque observation correspond à une UC ( UC "étudiée"). Les variables introduites sont les suivantes:

- âge de l'unité de croissance portant l'UC "étudiée"
- position de l'UC étudiée sur l'UC "porteuse"
- âge de l'UC étudiée
- nombre de noeuds de l'UC étudiée

Prenons par exemple l'UC fléchée sur le schéma 36; la ligne correspondant à cette observation s'écrit:

2.87    1    1.88    41

##### 4.3.1.3. *Les fichiers "ramification"*

Ces fichiers ont été créés sous le logiciel MULTIPLAN au CTIFL à partir des relevés statiques.

Chaque ligne correspond à une UC observée. La première colonne correspond à l'âge de l'UC, les colonnes suivantes aux positions des noeuds par rapport au sommet de l'UC.

Les cellules sont affectées d'un 1 s'il y a une ramification sur le noeud j de l'UC i ou d'un 0 dans le cas contraire.

Ainsi une ligne qui s'écrit:

1.88    1    1    1    0    1    1    0    0

correspond à une première UC 1988 qui présente 8 noeuds dont les trois premiers sont ramifiés, le 4<sup>e</sup> ne l'étant pas, les 5<sup>e</sup> et 6<sup>e</sup> ramifiés, les deux derniers non ramifiés.

#### 4.3.1.4. Les fichiers "floraison-fructification"

Ils ressemblent de très près aux fichiers de ramification. Ils ont été créés sous le logiciel LOTUS au CIRAD à Montpellier.

Grâce à des précisions sur la position des UC (N° du rameau, position de l'UC), les fichiers jeunes fruits et fruits mûrs sont créés par modification du fichier fleurs, ce qui permet de corriger les éventuelles erreurs.

Les cellules sont affectées de 0, 1, 2, 3, ou 4 selon le nombre de fleurs ou de fruits sur le noeud en question.

### 4.3.2. Calculs et histogrammes

#### 4.3.2.1. Histogrammes

Les fichiers "longueurs d'UC" sont triés par unité de croissance et on met en évidence la distribution de longueur de chaque type d'UC à l'aide d'histogrammes.

Les fichiers "suivi de croissance" sont découpés en fichier "accroissement entre deux dates". Ces fichiers se présentent sous la forme de fréquences  $y$  de pousses ayant formé  $x$  feuilles entre les deux dates considérées.

On déduit également des fichiers "suivi de croissance" les histogrammes "finaux" des longueurs d'UC (lorsque toutes les UC ont terminé leur croissance).

En ce qui concerne la ramification, on a réalisé des histogrammes correspondant d'une part au nombre  $y$  de séries de  $x$  noeuds successifs ramifiés, et d'autre part au nombre  $y$  de séries de  $x$  noeuds successifs non ramifiés (distance entre deux ramifications successives).

#### 4.3.2.2. Calculs

Des calculs de probabilité de ramification en fonction de la position ont été effectués sur multiplan.

Les mesures métriques de la longueur des entre-noeuds ont engendré des calculs de moyennes.

La variété Fournès, qui a un comportement un peu particulier a fait l'objet de calculs statistiques.

Enfin, des calculs de moyennes de nombre de fleurs et fruits par noeud ont été effectués.

#### 4.3.3. Méthodes d'ajustements

La méthode de modélisation utilisée passe par la recherche des lois stochastiques correspondant aux processus observés. Nous avons donc tenté d'ajuster les histogrammes réels par des lois de probabilité discrètes, en utilisant la méthode du maximum de vraisemblance.

L'allure de l'histogramme des observations réelles nous aide à choisir la loi la plus adéquate et une "fourchette" pour les paramètres de cette loi. Le programme (mis au point au Laboratoire de Modélisation, E. Elguero) se charge ensuite d'estimer les valeurs des paramètres pour lesquelles l'ajustement est le meilleur. Un test du chi 2 nous permet enfin de vérifier la qualité de l'ajustement.

Les lois discrètes qui apparaissent lorsque des conditions simples sont réalisées sont la loi binomiale, la loi de Poisson, la loi géométrique et la loi binomiale négative.

##### 4.3.3.1. *La loi binomiale $B(n,p)$*

C'est la loi de la somme de  $n$  variables de Bernouilli indépendantes (cf § 2.2.). Elle s'exprime de la façon suivante:

$$P(X=k) = C_n^k b^k (1-b)^{n-k}$$

son espérance est  $E(X) = nb$

sa variance  $V(X) = nb(1-b)$

Cette loi peut être illustrée par l'exemple suivant: dans une urne contenant  $N$  boules dont une proportion  $b$  de boules blanches, on tire successivement et avec remise après chaque tirage  $n$  boules. Si  $X$  est la variable aléatoire correspondant au nombre de boules blanches tirées, alors  $X$  suit la loi binomiale de paramètres  $(n,b)$  dont nous venons de donner l'expression.

##### 4.3.3.2. *La loi géométrique*

Reprenons l'opération de  $n$  tirages successifs avec remise dans une urne contenant  $N$  boules dont  $Np$  blanches; la variable aléatoire  $X$  correspondant au nombre de tirages successifs à réaliser pour obtenir la première boule blanche suit une loi géométrique de paramètre  $p$ ; on a alors

une loi géométrique de paramètre  $p$ ; on a alors

$$P(X=k) = (1-p)^{k-1} p$$

$$E(X) = 1/p \quad V(X) = (1-p)/p^2$$

Cette loi caractérise le processus de mortalité lorsque la probabilité de mort  $1-c$  est constante dans le temps: la variable aléatoire liée à la durée de vie de l'objet suit alors une loi géométrique de paramètre  $1-c$ :

$$P(X=k) = c^{k-1} (1-c)$$

#### 4.3.3.3. La loi de Poisson

Une variable aléatoire  $X$  suit une loi de Poisson de paramètre  $\mu$  lorsque l'on a:

$$P(X=k) = (e^{-\mu} \mu^k) / k!$$

Son espérance et sa variance sont égales:

$$E(X) = V(X) = \mu$$

La loi de Poisson est caractéristique d'événements se produisant au hasard dans le temps.

On dit qu'un phénomène suit un processus de Poisson lorsque l'on peut émettre les hypothèses suivantes:

\* la densité des événements est homogène au cours du temps; on ne rencontre par exemple pas de phénomène d'amortissement ou d'accélération

\* les nombres d'événements se produisant sur deux intervalles de temps disjoints sont indépendants.

\* quelle que soit la longueur d'un intervalle, la probabilité d'avoir un événement sur cet intervalle n'est jamais nulle et jamais certaine

La loi de Poisson  $P(\mu)$  peut aussi être définie comme la limite d'une loi binomiale  $B(n,p)$  lorsque  $n$  tend vers l'infini et  $b$  vers 0. On a alors

$$\lim_{\substack{n \rightarrow \infty \\ b \rightarrow 0}} nb = \mu$$

La caractéristique "b petit" a donné à cette loi



#### 4.3.3.4. La loi binomiale négative

Lors de tirages successifs dans une urne contenant  $N$  boules dont  $Nc$  blanches, soit  $Y$  la variable aléatoire correspondant au nombre de tirages nécessaires pour obtenir  $x$  boules blanches; on a:

$$P(Y=y) = C_{y-1}^{x-1} c^x (1-c)^{(1-c)}$$

si  $X$  est la variable aléatoire associée au nombre de boules non blanches qu'il faut tirer, on a  $X=Y-x$  et  $X$  suit une loi binomiale négative de paramètres  $(x,c)$ :

$$P(X=k) = C_{x+k-1}^k c^k (1-c)^x$$

TROISIEME PARTIE

RESULTATS ET INTERPRETATION

## INTRODUCTION

Les résultats obtenus cette année viennent confirmer et élargir les premières conclusions de 1988 (cf "Etude préliminaire sur la modélisation et la simulation de l'architecture de l'abricotier" et Lambertin, 1988)

Le suivi de croissance nous permet d'étudier à travers les histogrammes d'accroissements le fonctionnement du méristème dans le temps; il nous apporte de nouvelles informations très importantes pour la compréhension du phénomène de croissance.

L'étude sur la ramification a été reprise et également étendue aux différentes variétés.

Enfin, l'exploitation des données sur la floraison et la fructification a été amorcée.

## 1. LE PROCESSUS DE CROISSANCE ET LA MORTALITE

Jusqu'à présent, la modélisation a principalement concerné des espèces tropicales dont le méristème fonctionne par "flush", c'est à dire que la durée de croissance d'une UC est brève et stable.

Dans le cas des arbres tropicaux on ne tient pas compte du temps réel; on introduit la notion de dimension, horloge interne propre au végétal (cf II.2.2.).

Nous allons voir que chez les espèces tempérées comme l'abricotier, le fait que la croissance soit plus étalée dans le temps nous oblige à avoir une approche différente du phénomène de croissance. Nous sommes notamment amenés à réintroduire le facteur temps.

### 1.1. Les accroissements

Le suivi de croissance a porté sur les UC 89 relais de la variété Rouge du Roussillon sur porte-greffe Manicot. Les UC relais se développent en général en position subterminale après la mort du méristème apical.

Ces observations avaient comme premier objectif l'élaboration d'une courbe "moyenne-variance", pour mettre en évidence comme sur le Caféier ou le Litchi (cf II.2.3.), une éventuelle relation linéaire ou quadratique entre ces deux facteurs.

Or nous avons effectué cette courbe pour la première UC (cf schéma 38) et la relation n'est ni linéaire ni quadratique. Il ne s'agit donc pas d'une croissance simple uniforme ou amortie telle qu'elle a été décrite pour le caféier.

Nous nous sommes donc intéressés de plus près au rythme de la croissance, par l'étude des accroissements dans le temps. Nous n'avons pu exploiter que les données concernant les deux premières UC, l'effectif de la troisième s'étant avéré trop faible.

#### 1.1.1. La première UC

Un histogramme d'accroissement représente le nombre d'entrenoeds déployés entre deux dates successives; les relevés ayant eu lieu deux fois par semaine, le délai séparant deux dates successives est alternativement de 3 et 4 jours.

Les histogrammes de la première UC n'ont pu être exploités que jusqu'à la date 18 pour l'arbre 1 et jusqu'à la date 12 pour l'arbre 2. Au delà, les effectifs de rameaux se sont avérés beaucoup trop faibles rendant toute interprétation impossible.

Les histogrammes correspondant aux premiers accroissements (schéma 39 et annexe 7) ont été ajustés par une loi de poisson de paramètre  $\lambda$  dont nous rappelons l'expression: si X est la variable aléatoire correspondant au nombre d'entre-nœuds formés, alors on a:

$$P(X=k) = (e^{-\lambda} \lambda^k)/k!$$

$$\text{et } E(X)=V(X)=\lambda$$

Il est intéressant d'observer l'évolution du paramètre  $\lambda$  dans le temps; le tableau 7 rassemble les valeurs de  $\lambda$  pour les deux arbres. On a calculé un  $\lambda$  pondéré par l'inverse du nombre de jours du délai afin de pouvoir comparer entre elles les valeurs successives du paramètre .

Tableau 7: paramètres des accroissements de la 1<sup>e</sup> UC

Accroissement	nb jours du délai	arbre 1		arbre 2	
		$\lambda$	$\lambda$ pondéré	$\lambda$	$\lambda$ pondéré
1 - 2	3	2.66	0.887	1.96	0.32
2 - 3	4	4.46	1.115	4.19	1.05
3 - 4	3	3.9	1.30	3.76	1.25
4 - 5	4	1.9	0.63	1.2	0.4
5 - 6	4	1.6	0.40	1.5	0.37
6 - 7	3	1.5	0.50	1.38	0.46
7 - 8	4	1.2	0.30	B(2;0.6)	0.4
8 - 9	4	1.69	0.40	B(3;0.5)	0.37
9 - 10	3	0.37	0.12	B(1;0.8)	0.27
10 - 11	4	1.37	0.34	B(2;0.6)	0.3
11 - 12	3	B(4;0.2)	0.28	B(2;0.6)	0.4
12 - 13	4	B(2;0.6)	0.30		
13 - 14	3	B(2;0.6)	0.40		
14 - 15	4	B(3;0.4)	0.30		
15 - 16	3	B(2;0.4)	0.27		
16 - 17	4	B(3;0.5)	0.37		
17 - 18	3	B(6;0.4)	0.80		
18 - 19	4	B(2;0.7)	0.35		

On déduit de ce tableau et du schéma 40 une accélération du rythme de croissance jusqu'à la date 4. Or à la date 4, la moyenne du nombre de feuilles par UC est 13.14 sur l'arbre 1 et 13.66 sur l'arbre 2. Elle est proche du nombre spécifique de préfeuilles caractéristique de l'abricotier (cf I.3).

L'accélération pourrait donc correspondre au déploiement "facile" du tronçon préformé et le ralentissement du rythme de croissance serait lié à l'allongement du tronçon néoformé.

Au début de son fonctionnement le méristème a donc un comportement poissonnier, qui rappelle celui du litchi.

Cependant, à partir de la date 11 chez l'arbre 1 et de la date 7 chez l'arbre 2, les histogrammes d'accroissement ne peuvent plus être ajustés par une loi de Poisson. Par contre ils sont bien ajustés par la loi Binomiale (schéma 41 et annexe 9): la probabilité de former  $k$  entrenoeuds entre deux dates devient:

$$P(X=k) = C_n^k b^k (1-b)^{n-k}$$

En réalité, le passage de la loi de Poisson à la loi Binomiale est progressif: les accroissements intermédiaires peuvent être ajustés par les deux lois (cf annexe 8). Sur l'arbre 1, les accroissements peuvent être ajustés par une loi binomiale à partir de la date 4 (début de la néoformation), mais les ajustements poissonniers sont meilleurs jusqu'à la date 8. De la date 8 à la date 11, les ajustements binomiaux et poissonniers sont équivalents. A partir de la date 11 les distributions sont strictement binomiales.

L'équipe du Laboratoire de Modélisation réfléchit actuellement sur le fonctionnement du méristème selon la théorie des files d'attente. La file serait constituée par le stock d'ébauches foliaires. Au départ, ce stock n'est constitué que d'ébauches préformées, que viennent progressivement remplacer des ébauches néoformées.

Tout se passe comme si tant que le stock d'ébauches foliaires est important, et notamment pendant l'élongation de la partie préformée, le fonctionnement du méristème reste poissonnier. Mais à partir d'un certain moment le stock s'épuise: l'allongement des entre-nœuds devient plus rapide que la néoformation.

Le processus d'accroissement est alors limité; l'épuisement du stock s'avèrerait être un frein à la croissance qui ne peut alors plus relever d'un processus poissonnier; une au moins des hypothèses du fonctionnement poissonnier est transgressée: on peut penser par exemple que la densité des événements n'est plus homogène dans le temps (amortissement) ou bien que sur un intervalle de temps assez court, la probabilité d'élongation d'un entre-nœud est nulle.

Il apparaît une différence entre les deux arbres; l'arbre 2 a été freiné beaucoup plus tôt (2 semaines avant l'arbre 1). En réalité, on se demande si les accroissements du 2<sup>e</sup> arbre ne pas sont davantage binomiaux que poissonniens (voir annexe) et ceci dès le début. Les deux arbres auraient donc un fonctionnement assez différent.

Cette différence est certainement liée à l'hétérogénéité du terrain; en effet l'arbre 2 semble se situer dans une zone beaucoup plus propice à l'asphyxie (présence de flaques). Le modèle permet d'analyser finement ce problème.

### 1.1.2. La deuxième UC

Le démarrage des méristèmes de la deuxième UC n'étant pas synchrone, nous avons décalé les dates de façon à faire démarrer les UC de tous les rameaux au même moment.

Nous observons alors le même phénomène que sur la première UC: les accroissements sont d'abord poissonniens puis deviennent binomiaux. Le tableau 8 présente les paramètres des accroissements successifs et les courbes correspondantes figurent en annexe 10. On n'a pas pondéré le paramètre lambda car étant donné le tassement des fichiers le délai n'est pas toujours homogène.

La différence entre les deux arbres est encore plus marquée que pour la première UC; la croissance est très rapidement freinée sur l'arbre 2 en raison de l'asphyxie racinaire.

tableau 8: paramètre des accroissements de la 2<sup>e</sup> UC

accroissement	arbre 1	arbre 2
1 - 2	3.87	2.46
2 - 3	2.45	3.2
3 - 4	1.89	1.46
4 - 5	1.67	B(2;0.61) 1.22
5 - 6	1.79	B(5;0.47) 2.37
6 - 7	2	
7 - 8	2.28	
8 - 9	2.33	
9 - 10	2.06	
10 - 11	B(2;0.6) 1.2	

Sur l'arbre 1,  $\lambda$  est élevé pour le premier accroissement puis il diminue et semble se stabiliser. Il n'y a pas d'augmentation du paramètre comme sur la première UC.

On peut penser que le nombre de préfeuilles dans le bourgeon est moins important, car elles ont bénéficié de moins de temps pour se former; elles pourraient être alors déjà toutes déployées à la date 2. Le nombre moyen de feuilles à la date 2 avoisine 7. Cette hypothèse serait à vérifier par la dissection de bourgeons subterminaux sur les UC 1, juste avant leur débourrement (bourgeon gonflé).

## 1.2. La mortalité

A partir des fichiers "suivi de croissance" nous avons réalisé les histogrammes de mortalité en fonction de la date.

De même que pour les accroissements, les fichiers correspondant à la deuxième UC ont été tassés, comme si tous les méristèmes avaient démarré en même temps.

Nous avons vu (cf II.2) que, pour les espèces tropicales, si le taux de mortalité  $1-c$  est constant quelle que soit la dimension du méristème, alors la mortalité suit une loi géométrique de paramètre  $c$ . La probabilité de mourir à la dimension  $k$  vaut:

$$P(X=k) = c^{k-1} (1-c)$$

Dans le cas des espèces tempérées, nous considérons la mortalité non plus en fonction de la dimension mais en fonction du temps. Les histogrammes de mortalité en fonction de la date nous montrent que le méristème ne meurt pas ou peu les 3 premières dates pour l'UC 1 et les 2 premières dates pour l'UC 2.

Nous avons donc tenté d'ajuster par une loi géométrique les histogrammes de mortalité à partir de la date 4 pour l'UC 1 et de la date 3 pour l'UC 2 (cf schéma 42 et annexe 11).

Le test du  $\chi^2$  est satisfaisant; on peut ainsi exprimer la probabilité de mourir à la date  $k$  par:

$$P(X=k) = c^{k-1} (1-c)$$

Le taux de mortalité  $(1-c)$  est donc constant dans le temps. Le tableau 9 nous donne les valeurs de  $c$  pour les deux arbres:



tableau 9: taux de mortalité 1-c

	arbre 1	arbre 2
1° UC	0.81	0.54
2° UC	0.78	0.56

On remarque qu'il n'y a pas de différence du taux de mortalité entre la 1° et la 2° UC. Par contre, on note la différence entre les deux arbres: l'arbre 2 présente une probabilité de mort plus élevée; ce résultat est lié au phénomène d'asphyxie déjà rencontré dans l'étude des accroissements.

### 1.3. Résultat de ces deux phénomènes (accroissements-mortalité): distribution de la longueur des UC

#### 1.3.1. La loi d'ajustement

Les histogrammes de la longueur en entre-noeuds des UC ont été ajustés par une loi composée binomiale géométrique (schéma 43 et annexe 12).

Si X est la variable aléatoire correspondant au nombre d'entre-noeuds par UC, X est la somme de deux variables aléatoires Y et Z, Y suivant une loi binomiale B(n,b) et Z une loi géométrique de paramètre c.  $X = Y + Z$

Cette distribution "binomiale-géométrique" du nombre d'entre-noeuds des UC avait déjà été mise en évidence en 1988 à partir d'observations sur la variété Rouge du Roussillon.

La variable aléatoire Y, qui suit une loi Binomiale, correspond à l'élongation de la partie préformée. La partie préformée a une croissance qui rappelle les "flushs" des arbres tropicaux.

Les ajustements effectués cette année nous ont

amenés à introduire une probabilité  $\alpha$  de passage de la préformation à la néoformation.

Ainsi la probabilité qu'une UC ayant terminé sa croissance présente  $k$  entre-noeuds s'exprime par:

$$P(X=k) = (1-\alpha)P(Y=k) + \alpha P(Z=k)$$

On observe alors deux cas:

\*  $\alpha < 1$ : le passage de la préformation à la néoformation n'est pas un événement certain. Il y a un obstacle à franchir; ce phénomène a également été mis en évidence sur le *Zelkova serrata* (Ulmacées).

\*  $\alpha = 1$ : le passage de la préformation à la néoformation est un événement certain. Dans ce cas, on peut obtenir une valeur du paramètre  $n$  assez élevée. Comme tous les rameaux ont une probabilité 1 de passer en néoformation, la variable  $Y$  (binomiale) ne représente plus uniquement la croissance de la partie préformée mais la croissance globale (préformation + néoformation).

On remarque que la caractéristique  $n$  élevée témoigne de la tendance poissonnienne de la croissance que nous avons mis en évidence dans l'étude des accroissements.

On notera que dans les deux cas, le processus de mort (loi géométrique) masque très vite le processus de croissance; ce phénomène est mis en évidence par l'allure des courbes d'ajustement qui subit rapidement l'influence exponentielle marquée de la mortalité (cf schéma 43).

### 1.3.2. Les différences variétales

Les longueurs des UC relais des différentes variétés ont pu être ajustées par la loi qui vient d'être décrite.

Les tableaux 10 et 11 rassemblent les paramètres estimés pour les variétés observées à Balandran. Nous n'avons pas pu exploiter tous nos histogrammes en raison de la faiblesse des effectifs. Ainsi, les données 87 sur Modesto et R. de Fournès n'ont pas donné de résultats.

On peut comparer les trois variétés, R. du Roussillon, Modesto, Fournès, pour l'année 88 dans les conditions de Balandran.

La quantité  $n$  de feuilles préformées susceptibles d'être déployées est la même pour les trois variétés (cas où  $\alpha < 1$ ). Dans le cas où  $\alpha = 1$ , il est difficile de conclure sur la valeur de  $n$ , car la mortalité intervient de façon très prononcée et masque le phénomène de néoformation.

Par contre, l'activité du méristème (b) met en évidence des différences entre les variétés. Les méristèmes en position 1 et 2 de la variété Fournès présentent une faible activité.

Or nous avons vu que l'abricotier de la variété Fournès se construit par empilements successifs de branches. De ce fait il y a une dérive des UC successives et nous venons de mettre en évidence et de quantifier la faiblesse des UC situées en extrémité de rameaux.

Nous noterons cependant que la variance est élevée et que l'on a notamment observé quelques UC assez longues. Ceci est lié au fait que notre échantillon n'est pas parfaitement homogène. En effet, étant donné la petite quantité d'arbres que nous avons à notre disposition (2), nous avons été amené à mesurer des UC dont la situation n'était peut-être pas toujours comparable. Il serait intéressant d'étudier la longueur totale en entre-noeuds, c'est-à-dire le nombre total d'entre-noeuds déployés depuis la base du rameau.

La croissance des variétés R du Roussillon et Modesto se fait davantage par les relais subterminaux. Le méristème subterminal (position 1) de la variété Modesto a une activité comparable à celle de la variété R du Roussillon; par contre, dès la position 2, l'activité est beaucoup plus faible pour la variété Modesto.

On met ainsi en évidence une forte dominance du méristème subterminal pour la variété Modesto, alors que chez la variété R du Roussillon, l'UC en position 2 a plutôt un comportement de relais.

#### *Influence du porte-greffe*

La variété R. du Roussillon a été étudiée sur deux port-greffe différents: Manicot et Brompton.

On remarque que le porte-greffe Brompton induit un meilleur passage de la préformation à la néoformation. La valeur d' $\alpha$  est en effet en général plus élevée.

Par contre, la moyenne  $nb$  est en général plus faible dans le cas du porte-greffe Brompton. La différence est davantage liée à  $n$  qu'à l'activité  $b$ . On ne peut pas rencontrer d'UC aussi longues sur des arbres greffés sur Brompton que sur Manicot.

Nous avons vu au paragraphe II.3. que le porte-greffe Manicot induisait une vigueur importante, plutôt supérieure au porte-greffe Brompton; nous venons de quantifier précisément ces vigueurs et la différence entre les deux porte-greffe.

### 1.3.3. Influence des conditions extérieures

#### \* le climat

Les tableaux 10 et 11 permettent d'étudier la variation du comportement des arbres selon les années. On note que les variations annuelles vont dans le même sens pour les différentes variétés. On en déduit que les différences annuelles sont liées à des conditions extérieures qui peuvent varier d'une année sur l'autre. C'est pourquoi nous avons cherché à mettre en évidence l'influence climatique.

On retrouve chez toutes les variétés une différence entre les années, au niveau de la probabilité  $\alpha$  de passage de la préformation à la néoformation sur la 1° UC. C'est en 1987 qu' $\alpha$  est le plus faible; il prend des valeurs un peu plus élevées en 1988, et en 1989 il vaut systématiquement 1, c'est à dire que tous les méristèmes vivants passent en néoformation.

Or, des 3 années, 1987 a été l'année la plus froide et 1989 la plus chaude (schéma 44). La température du mois de Mars influe sur la croissance de la première UC: or la moyenne de mars à Balandran était de 8°C en 1987, 10°C en 1988 et 11,6°C en 1989.

Ainsi la probabilité  $\alpha$  serait liée positivement à la température extérieure. Toutefois lorsque celle-ci est suffisamment élevée, la probabilité  $\alpha$  vaut systématiquement 1. C'est le cas pour toutes les UC en 1989 et en général pour les 2° et 3° UC toutes les années.

La température du mois de mars a également eu une influence sur la longueur de la 1° UC car la moyenne nb est plus élevée en 89 et le pic de l'histogramme est décalé vers la droite.

Par contre, on note qu'en 1988, la longueur de la 2° UC est supérieure à celle de la 1° UC., alors que c'est l'inverse en 1989. On peut penser que la température du mois d'avril, plus élevée en 1988, a joué sur la croissance de la 2° UC.

Enfin l'étude comparée des deux stations du Gard et des Pyrénées Orientales (voir tableau 12 pour les résultats de la station de Torreilles) met en évidence une différence de comportement de la variété R du Roussillon sur Brompton. Les méristèmes présentent une meilleure activité (b) dans les conditions de Torreilles. Par contre, la variété Modesto semble avoir le même comportement dans les deux stations (paramètres semblables).



## 2. LE POLYCYCLISME

Lorsqu'on observe un rameau d'abricotier, on remarque qu'il est constitué d'un empilement successif d'unités de croissance (UC) successives. On appelle ce phénomène le polycyclisme. L'abricotier peut réaliser plusieurs UC la même année.

### 2.1. La fréquence

Nous avons calculé la probabilité du polycyclisme annuel sur les relais 89 de R du Roussillon sur Manicot à Balandran: sur chacun des deux arbres 72 % des rameaux ont réalisé une 2<sup>e</sup> UC. Les relais présentant 3 UC sont plus rares: environ 23% sur chacun des deux arbres.

Les observations de l'année 88 situent la proportion de relais présentant 2 UC entre 70 et 80% et la proportion de relais présentant 3 UC entre 20 et 30 %.

Il n'y aurait donc pas trop de variation d'une année sur l'autre.

Sur R du Roussillon sur Brompton on a dénombré en 1988 73% de relais à deux UC. Le porte-greffe ne semble ainsi pas avoir d'influence sur le polycyclisme.

Par contre cette fréquence semble bien être une caractéristique variétale, puisque les fréquences de polycyclisme des variétés Modesto et Fournès sont nettement différentes de celles de R du Roussillon:

tableau 13 : fréquence du polycyclisme

VARIETE	R ROUSSILLON /Manicot	R ROUSSILLON /Brompton	MODESTO	FOURNES
fréquence de 2 UC	72%	73%	51%	25%

## 2.2. Le temps de repos entre les UC

Le temps de repos entre les deux UC, observé sur la variété R. du Roussillon sur Manicot en 89, apparaît variable. On peut considérer deux durées: celle séparant l'arrêt de croissance de la première UC (plus d'élongation d'entre-nœud) du démarrage de la 2<sup>e</sup> UC (ébauches foliaires visibles) et celle séparant la chute du méristème de la 1<sup>e</sup> UC du démarrage de la 2<sup>e</sup> UC (schéma 45 et 46).

La durée séparant l'arrêt de croissance et la chute du méristème est cependant assez peu variable: en moyenne 10 jours. La durée moyenne de repos depuis la chute du méristème est assez longue entre les deux premières UC (28 jours) et beaucoup plus brève entre la 2<sup>e</sup> et la 3<sup>e</sup> UC (12 jours).

Il n'est cependant certainement pas très juste de calculer une durée moyenne ou de réaliser un histogramme en mélangeant tous les rameaux.

En effet l'arrêt de croissance de la première UC n'est absolument pas synchrone. Nous avons regroupé les rameaux en fonction de la date d'arrêt de croissance et calculé une moyenne de la durée du repos en fonction de la date d'arrêt de croissance de la 1<sup>e</sup> UC. Il semble que la durée du repos est d'autant plus faible que la première UC s'est arrêtée tard (schéma 47).

Tout se passe comme si la durée du repos tentait de corriger le décalage dû au désynchronisme de l'arrêt de croissance de la 1<sup>e</sup> UC. Ce qu'elle ne réussit que partiellement puisque le démarrage de la 2<sup>e</sup> UC n'est pas synchrone même s'il est moins dispersé que l'arrêt de la première UC.

Beaucoup de rameaux ont terminé leur première UC le 31 mars et un certain nombre l'ont terminée le 3 avril, ce qui nous a permis de construire pour ces deux dates des histogrammes de durée de repos en nombre de délais. Ces histogrammes ont été ajustés par une loi géométrique à partir du délai 12 (schéma 48 et annexe 13). Il pourrait donc y avoir une période de repos "obligatoire" pendant 12 délais, à la suite de laquelle la probabilité de démarrage d'une 2<sup>e</sup> UC après un repos de 12+k délais serait:

$$P(X=k) = c^k (1-c)$$

Par conséquent, après la période de repos obligatoire, la deuxième UC a une probabilité de démarrage constante dans le temps. On pense que cette probabilité est la même quelle que soit la date d'arrêt de la première UC, et que la variation de la durée totale du repos (schéma 47) est due à la variation de la durée du repos obligatoire: plus la première UC s'arrête tard, plus le repos obligatoire est court. Ce phénomène pourrait notamment être lié à des facteurs climatiques.

### 2.3. Comparaison de la croissance des UC

Les différentes UC semblent avoir une croissance du même type; en effet toutes les longueurs d'UC ont été ajustées par la même loi, binomiale-géométrique (voir annexes et tableaux 10 et 11 page 58).

L'étude des accroissements nous a fait supposer que le nombre d'ébauches préformées était inférieur sur la deuxième UC. Ceci est lié au temps réduit dont dispose le méristème pour former les ébauches préformées.

Les tableaux de paramètres nous montrent que le paramètre  $\alpha$  est supérieur sur la deuxième UC. Il est souvent égal à un c'est-à-dire que tous les rameaux passent en néoformation, alors que sur la première UC il peut y avoir un "blocage" entre l'élongation du tronçon préformé et celle du tronçon néoformé.

Toutefois les différences de paramètres entre les UC successives sont chez l'abricotier moins prononcées que chez d'autres espèces comme par exemple le *Zelkova serrata*.

### 3. LA RAMIFICATION

Les arbres observés à Torreilles et à Balandran étant au moins en 4<sup>e</sup> feuille en 89, nous n'avons étudié que la ramification proleptique. L'étude de la ramification sylleptique (anticipés) devra commencer par l'observation d'arbres en première feuille.

#### 3.1. La probabilité de ramification

##### 3.1.1. La probabilité de ramification par noeud

Nous avons calculé la probabilité de ramification pour chaque position de noeud afin de voir son évolution le long des UC. Le schéma 49 nous montre un exemple de cette évolution, les courbes pour l'ensemble des variétés figurant dans l'annexe 14.

Quelle que soit la variété, il ne semble pas y avoir de différence entre les UC de la même année et d'une année sur l'autre. La probabilité de ramification ne serait donc pas soumise à l'influence climatique comme l'est la croissance. Le polycyclisme ne semble pas davantage avoir un effet sur cette probabilité.

Par contre, les courbes mettent bien en évidence un effet acrotone. La probabilité de ramification vaut presque 1 sur le noeud en position 1 (subterminal), puis elle décroît progressivement jusqu'au 6<sup>e</sup> ou 7<sup>e</sup> noeud et enfin se stabilise sur les noeuds suivants.

Nous avons calculé les moyennes de cette probabilité de ramification par noeud dans la zone où elle apparaît constante; le tableau 14 présente ces valeurs moyennes pour les différentes variétés.



tableau 14 : probabilité de ramification

	1°UC87	2°87	3°87	1°88	2°88	3°88	Toutes UC
FOURNES	0.62	0.66	0.67				
MODESTO Balandran	0.35	0.38	0.26	0.38	0.45	0.42	
MODESTO Torreilles	0.37	0.48	0.24	0.43	0.30	0.23	
ROUSSILLON /Er Bal.	0.40	0.31	0.31				
ROUSSILLON /Ma Bal.				0.37	0.25	0.21	

Le tableau met en évidence la particularité de la variété Fournès qui présente une forte probabilité de branchement: cette probabilité est en moyenne deux fois plus élevée que pour les autres variétés.

### 3.1.2. La distribution des ramifications

Nous avons cherché à étudier de plus près la façon dont sont distribuées les séries de ramifications sur les UC. Cette étude a concerné la zone de 1'UC où la probabilité de ramification par noeud est constante, donc au delà du 6<sup>e</sup> ou du 7<sup>e</sup> noeud.

Dans l'hypothèse où la probabilité  $c$  de branchement est constante et où il y a indépendance entre les noeuds successifs d'une même UC, la variable aléatoire  $X$  correspondant au nombre de noeuds successifs ramifiés doit suivre une loi géométrique de paramètre  $c$ .

Or les histogrammes de séries de ramifications successives ne sont pas bien ajustés par une loi géométrique. On pense à deux explications possibles: soit il n'y a pas indépendance entre les noeuds (compétition trophique), soit il y a mélange, c'est-à-dire que la probabilité de branchement est liée à la croissance du futur rameau: ainsi un rameau qui va s'arrêter en préformation n'a pas la même probabilité de démarrage qu'un rameau qui va faire de la néoformation.

Les histogrammes de séries de noeuds successifs ramifiés et de séries de noeuds successifs non ramifiés sont cependant très bien ajustés par la loi Binomiale négative (schéma 50).

La probabilité de rencontrer une série de  $k$  ramifications successives s'exprime par

$$P(X=k) = C_{x+k-1}^k c^k (1-c)^x$$

Les tableaux 15 et 16 rassemblent les valeurs des paramètres  $x$  et  $c$  pour les différentes variétés. Les courbes ajustées figurent en annexe 15.

tableau 15: paramètres des ajustements par la loi binomiale négative des séries de ramifications successives.

	1° UC 87		2° UC 87		1° UC 88		2° UC 88	
	x	c	x	c	x	c	x	c
FOURNES	0.29	0.95	0.50	0.90				
MODESTO Balandran					0.19	0.88	0.36	0.79
MODESTO Torreilles	0.39	0.76	0.40	0.74	0.34	0.75	0.46	0.70
ROUSSILLON /Br Bal.	0.52	0.78	0.41	0.81				
ROUSSILLON /Ma Bal.					0.44	0.78	0.43	0.76

tableau 16: paramètres des ajustements par la loi binomiale négative de la distance entre deux ramifications successives

	1° UC 87		2° UC 87		1° UC 88		2° UC 88	
	x	c	x	c	x	c	x	c
FOURNES	0.85	0.47	0.46	0.70				
MODESTO Balandran					0.47	0.63	0.36	0.75
MODESTO Torreilles	0.41	0.77	0.28	0.78	0.41	0.82	0.31	0.86
ROUSSILLON /Br Bal.	0.54	0.72	0.35	0.81				
ROUSSILLON /Ma Bal.					0.34	0.79	0.35	0.86

### 3.2. L'acrotonie

Le phénomène d'acrotonie a été mis en évidence par deux types types d'observations: la longueur des UC et le polycyclisme.

#### 3.2.1. Croissance des UC en fonction de la position

Les tableaux 10 et 11 (page 58) nous permettent de comparer la croissance de la 1° UC sur les différentes positions. Le paramètre c suit très nettement un gradient décroissant; la probabilité de mort augmente donc au fur et à mesure que l'on s'éloigne du sommet de l'UC .

De même la moyenne nb diminue sur les premiers noeuds puis semble se stabiliser (Modesto).

On remarque que sur la variété Modesto, où l'UC 1 a été suivie jusqu'à la position 5, l'acrotonie est très marquée: l'UC en position 2 a déjà pratiquement un comportement de rameau court.

Sur la variété R. du Roussillon, l'acrotonie est plus progressive. On estime cependant qu'à partir du 5<sup>e</sup> noeud, les axillaires ont un comportement d'axes courts. La longueur des axes courts de 1989 a été ajustée par la loi binomiale-géométrique que nous avons décrite au § 1.3.1.. Elles sont caractérisées par une forte mortalité.

tableau 17: paramètres de la longueur des rameaux courts

	n	b	nb	a	c
arbre 1	14	0.32	4.48	1	0.65
arbre 2	13	0.43	5.59	0.88	0.48

### 3.2.2. Le polycyclisme

Nous avons calculé la proportion de rameaux réalisant deux UC pour chaque position (UC porteuses 87) sur les variétés Modesto et Fournès. Le tableau 18 et le schéma 51 nous présentent les résultats de ce calcul.

Nous retrouvons un effet acrotone très marqué sur la variété Modesto; le polycyclisme annuel est pratiquement nul au delà du 3<sup>e</sup> noeud, quelle que soit l'UC 87.

La variété Fournès a un comportement différent: l'effet acrotone est réel mais la probabilité qu'un axillaire réalise 2 UC n'est jamais nulle même si elle est très faible pour les noeuds proches du subterminal. Le phénomène d'acrotonie semble en effet s'estomper lorsqu'on s'éloigne du sommet de l'UC: les axillaires en milieu d'UC ne semblent plus soumis à la dominance apicale et le taux de polycyclisme n'est pas négligeable. Parmi ces axillaires, les plus vigoureux seront à l'origine d'axes relais (cf II.2.2.).

tableau 18: polycyclisme de Modesto

Position	1	2	3
Fréquence	0.51	0.08	0.010

### 3.3. L'élagage des axes courts

Une partie des axes courts se dessèche et meurt après la première production. Nous avons mesuré cette proportion en fonction de la position des axillaires sur l'UC; pour cela, nous avons compté cette année (1989) sur les UC 87 les axillaires 88 encore vivants et les axillaires 88 morts.

Le schéma 52 et l'annexe 16 nous montrent la quantité d'axillaires encore vivants en 89. On remarque que ces courbes ont une allure similaire à celles de la probabilité de branchement par noeud: la proportion de vivants est élevée en position subterminale puis décroît de façon importante jusqu'au 6<sup>e</sup> noeud à partir duquel elle paraît se stabiliser.

Les variétés Modesto et R du Roussillon semblent présenter une différence entre les UC; l'élagage apparaît plus important sur la 2<sup>e</sup> UC (moins de vivants).

Le tableau 19 présente les taux moyens d'élagage calculés sur la zone de l'UC où ce taux apparaît constant.

tableau 19 : taux moyens d'élagage

	1° UC 87	2° UC 87	3° UC 87
R du ROUSSILLON /Manicot	0.343	0.701	
MODESTO	0.221	0.406	
FOURNES	0.323	0.481	0.556

\* *nombre moyen de fruits mûrs*

Les valeurs étant assez faibles, l'allure des courbes est difficile à interpréter. La différence entre les UC semble s'être un peu estompée, en particulier sur les premiers noeuds (jusqu'au noeud 7). Au delà, on retrouve le même gradient que précédemment: davantage de fruits sur l'UC2 que sur l'UC3 et davantage sur l'UC3 que sur l'UC1.

#### 4.1.2. La distribution du nombre de fleurs sur un noeud

On a vu qu'il pouvait y avoir jusqu'à 5 fleurs par noeud. Nous avons réalisé les histogrammes des nombres de fleurs pour chaque position et cherché à les ajuster.

La loi binomiale donne souvent un bon ajustement (schéma 56 et annexe 17) sauf sur les trois premiers noeuds de la première UC et sur les subterminaux des 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> UC.

Si  $n$  est le nombre maximal de bourgeons pouvant apparaître sur le noeud,  $b_1$  la probabilité d'avoir un bourgeon et  $b_2$  la probabilité qu'un bourgeon soit floral alors la loi binomiale suivie par la variable aléatoire  $X$  associée au nombre de fleurs sur le noeud a pour paramètres  $B(n, b)$  avec  $b = b_1 b_2$ . la probabilité d'avoir  $k$  fleurs est

$$P(X=k) = C_n^k b^k (1-b)^{n-k}$$

#### 4.2. Evolution de fleurs en fruits

Connaître la proportion de fleurs évoluant en fruits et leur localisation présente un intérêt agronomique certain (prévision de récolte, éclaircissage).

Soit  $p_{i,j}$  la probabilité pour que les  $i$  fleurs d'un noeud donnent  $j$  fruits. On s'est demandé s'il y avait indépendance entre les fleurs d'un même noeud.

Pour cela on a calculé les valeurs de  $p_{i,j}$  pour  $0 < i < 2$ ; en effet pour les valeurs de  $i$  supérieures les effectifs sont trop faibles pour que les résultats puissent être exploités.

On a calculé des moyennes de ces probabilités en supposant qu'elles étaient constante entre les noeuds 3 et 15. Le tableau 20 exprime ces valeurs moyennes.

tableau 20: probabilité  $p_{i,j}$ 

	p1,0	p1,1	p2,0	(p1,0)	p2,1	2p1,0p1,1	p2,2	(p1,1)
1e UC 88	0.70	0.30	0.65	0.49	0.24	0.42	0.11	0.09
2e UC 88	0.57	0.43	0.41	0.32	0.39	0.49	0.20	0.18

On remarque d'abord que la probabilité de transformation d'une fleur en fruit est en général plus faible sur l'UC1 que sur l'UC2.

S'il y avait indépendance entre les fleurs d'un même noeud, on devrait avoir :

$$P_{2,0} = (P_{1,0})^2$$

$$P_{2,1} = 2 \times (P_{1,0}P_{1,1})$$

$$P_{2,2} = (P_{1,1})^2$$

Or on a pour les deux UC:

$$P_{2,0} > (P_{1,0})^2$$

$$P_{2,1} < 2 \times (P_{1,0}P_{1,1})$$

$$P_{2,2} > (P_{1,1})^2$$

Lorsqu'il y a deux fleurs à la même aisselle d'un noeud, leur devenir n'est pas indépendant; elles sont liées positivement. On peut essayer de calculer la valeur du couplage:

$$P_{2,0} = r_{2,0} P_{1,0} + (1-r_{2,0}) (P_{1,0})^2$$

$$P_{2,2} = r_{2,2} P_{1,1} + (1-r_{2,2}) (P_{1,1})^2$$

Les valeurs des couplages sont rassemblées dans le tableau 21.

## DISCUSSION ET CRITIQUES



## INTRODUCTION

Ce court chapitre est une réflexion sur les différentes phases du travail, qui pourra, espérons-le, s'avérer utile à la poursuite de l'étude sur abricotier, mais également à l'étude de nouvelles espèces.

Les remarques concernent principalement les observations, l'échantillonnage, et l'étude du polycyclisme.

## 1. LES OBSERVATIONS

Le biais introduit au moment des relevés de terrain peut être notamment lié à l'âge du bois ou à la subjectivité de l'observateur.

### 1.1. L'âge du bois

Lors des relevés statiques, on observe des rameaux ayant jusqu'à deux ans de différence (1987 à 1989). Or, lorsque le bois vieillit, la subérisation et la présence de lenticelles ont tendance à masquer certains noeuds qui sont alors omis dans les relevés.

On notera cependant que Rouge du Roussillon sur Manicot est la seule variété pour laquelle nous avons pu exploiter les observations des 3 années 87, 88 et 89 (les effectifs 87 de la variété Modesto se sont avérés insuffisants et il n'y a pas eu de relevés sur les UC 89 des autres variétés); or les relevés sur les UC 87 et 88 de la variété Rouge du Roussillon sur Manicot ont été effectués en 1988. Par conséquent, dans les résultats que nous venons d'exposer, l'écart d'âge des UC observées la même année ne dépasse pas un an.

Toutefois, même un écart d'une année introduit une variation. On s'est même aperçu que des relevés effectués la même année pouvaient être différents: ainsi lors du suivi de croissance, on a comptabilisé les 2 ou 3 feuilles réduites de la base de l'UC qui tombent en général très vite et que l'on ne compte pas lorsqu'on fait un relevé statique deux mois après.

### 1.2. L'observateur

Les relevés ont été réalisés par plusieurs personnes différentes et même si la méthode d'observation est la même, la subjectivité introduit toujours un biais.

Ainsi par exemple dans le suivi de croissance, l'observateur doit estimer si la feuille est ou non dégagée de l'amas d'ébauches; or il n'est pas sûr que tous les observateurs aient là le même jugement. Il est donc important de veiller à multiplier le moins possible le nombre d'observateurs pour un type de relevé.

Le biais peut aussi être introduit au moment de la traduction des observations par la mise en fichiers. Ainsi, dans l'étude 88, la différence importante de probabilité de ramification entre les arbres de Balandran et ceux de Torreilles était en fait davantage une différence d'opérateurs (on avait d'un côté compté les fruits comme étant des noeuds ramifiés). Ce type d'erreur peut cependant être plus facilement évité que le biais lié aux observations de terrain par différentes personnes.

## 2. L'ECHANTILLONNAGE

Nous avons vu que de trop faibles effectifs ne permettent pas de réaliser un bon ajustement. Les effectifs que nous avons observés sont très variables pour plusieurs raisons.

Les effectifs relatifs aux histogrammes d'accroissement (125 par arbre au départ) diminuent dans le temps d'une part en raison de la mortalité qui intervient de façon exponentielle, d'autre part en raison de la fréquence du polycyclisme impliquant un plus faible effectif pour la deuxième UC.

On mentionnera qu'à la date 1, nous n'avions échantillonné que 25 rameaux par arbre, avant de se rendre compte que le processus de mortalité allait très vite réduire notre échantillon.

Lorsque l'on observe un rameau sur deux ou trois ans, l'effectif augmente avec l'âge du bois du fait des ramifications, relais multiples... Ainsi, sur les arbres de la variété Modesto observés à Torreilles, on a comptabilisé 81 1<sup>e</sup> UC 87, 150 1<sup>e</sup> UC 88 et 343 1<sup>e</sup> UC 89.

De toute évidence, plus l'effectif est important, meilleur est l'ajustement. Toutefois, le travail d'observation étant très long, nous avons cherché à définir une limite inférieure à la quantité d'observations nécessaires à un bon ajustement.

En ce qui concerne les relevés de longueur d'UC, il semblerait qu'en dessous de 75 l'ajustement soit difficile; on obtient de bons résultats pour des effectifs compris entre 100 et 150. Toutefois, cette limite peut s'avérer insuffisante dans le cas d'échantillon présentant une variance importante (arbres jeunes: cas des rameaux 87 de Modesto présentant des UC très longues).

Ces problèmes d'effectif nous ont amené à regrouper les observations des arbres d'une même variété. Or les résultats du suivi de croissance sur la variété Rouge du Roussillon ont mis en évidence une nette différence entre les deux arbres. On peut donc se demander si on pouvait mélanger les arbres. Les tests de comparaison de moyennes de longueur d'UC ne suffisent pas forcément à justifier ce mélange.

Toutefois le cas de Rouge du Roussillon sur Manicot est assez particulier. Les arbres des autres variétés sont en général plus proches les uns des autres et semblent se situer dans un terrain homogène.

Les regroupements d'arbres sont parfois obligatoires, notamment pour les arbres jeunes (Modesto).

Il est donc important que les arbres étudiés soient dans des conditions de sol et d'éclairement bien homogènes.

### 3. LE POLYCYCLISME

Cette étude n'a pas complètement résolu le fonctionnement du polycyclisme.

On a regroupé ensemble toutes les UC 1, indépendamment du fait qu'elles aient ou non été suivies d'une 2<sup>e</sup> UC. Or, on observe des UC 1 qui poursuivent leur croissance alors que simultanément sur d'autres rameaux les UC 1 se sont arrêtées et la 2<sup>e</sup> UC a entamé sa croissance.

De même, nous avons regroupé toutes les UC 2 et les avons étudiées comme si leur départ avait été simultané dans le temps.

Notre démarche n'est réellement justifiée que dans le cas d'une totale indépendance, c'est-à-dire indépendance:

- entre le nombre d'EN de la 1<sup>e</sup> UC et la probabilité de démarrage d'une 2<sup>e</sup> UC;
- entre la date d'arrêt de croissance de la 1<sup>e</sup> UC et la probabilité de démarrage de la 2<sup>e</sup> UC;
- entre la date d'arrêt de croissance de la 1<sup>e</sup> UC et la durée du repos;
- entre le nombre d'entre-noeuds de la 1<sup>e</sup> et le nombre d'entre-noeuds de la 2<sup>e</sup> UC.

### 4. LA RAMIFICATION

Nous avons vu que là aussi il y avait mélange et que la probabilité de ramification varie peut-être selon le type de rameau qui va se développer. Il aurait donc fallu réaliser les histogrammes de séries de ramifications plus homogènes (rameaux s'arrêtant en préformation et rameaux continuant en néoformation).

On notera aussi que l'on a mélangé des UC porteuses (de ramifications) ayant une longueur en entre-noeuds variable.

L'étude de ces questions devrait être envisagée dans un avenir très proche.

## CONCLUSION ET PERSPECTIVES D'AVENIR

L'abricotier est une des premières espèces tempérées à avoir été analysée finement par la méthode de modélisation stochastique. Cette étude a permis de quantifier les particularités de croissance de cette espèce tempérée ainsi que les différences variétales et a mis en évidence la grande sensibilité de l'arbre aux conditions extérieures.

L'étude de la floraison, simplement entamée dans le présent rapport, sera approfondie dans les mois à venir afin de caractériser précisément les phénomènes de floraison et de fructification.

Dans l'avenir, il sera intéressant de poursuivre l'observation d'arbres en port naturel, et notamment d'arbres jeunes sur lesquels on étudiera la ramification sylleptique.

Toutefois, dans l'état actuel des connaissances, on peut d'ores et déjà envisager d'étudier et de modéliser la réaction de l'abricotier à différentes techniques culturales.

On cherchera notamment à exprimer la réaction de l'arbre à la taille, à la densité de plantation, aux régulateurs de croissance et à l'éclaircissage en vue d'optimiser la conduite de l'arbre.

L'étude passera par l'analyse précise de la relation entre le rendement et les différentes techniques culturales.

Cependant, en raison de la sensibilité du matériel végétal aux conditions extérieures, il faudra veiller à observer des arbres se situant dans des conditions les plus homogènes possibles.

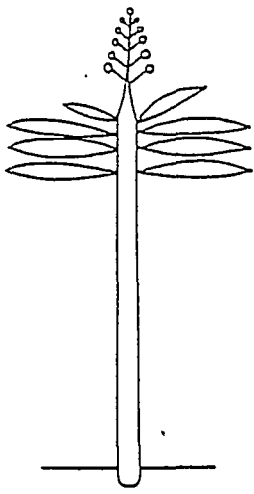
Enfin, l'étude sur abricotier va pouvoir servir de modèle pour l'étude d'autres espèces tempérées présentant une structure et une croissance analogue; c'est notamment le cas des ormes dont l'étude est en cours au Laboratoire de modélisation.

## BIBLIOGRAPHIE

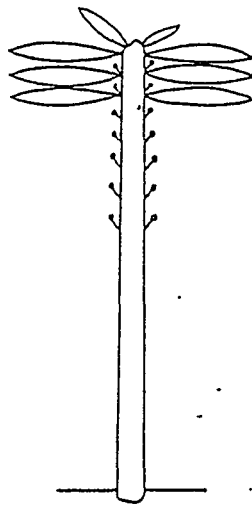
- ANONYME., 1988 .- Etude préliminaire sur la modélisation et la simulation de l'architecture de l'abricotier - Convention CTIFL-CIRAD, 27p
- ANONYME, 1989 .- Le marché des principaux fruits - Fel actualités, supplément au n°63, pp 16-17 35-40
- ASSAF R, 1965 .- Etude sur la croissance des rameaux de diverses espèces fruitières - Thèse Docteur-Ingénieur, 104p
- BARTHELEMY D., EDELIN C., HALLE F., 1989 .- Architectural concepts for Tropical Trees - Tropical Forests, Botanical Dynamics, Speciation and Diversity, pp 89-100
- BELLAGHA S., 1987 .- Etude technico-économique de différents modes de conduite de l'abricotier dans la région Rhône-Alpes - Mémoire ENSAH Versailles
- BUIS R. et BARTHOU H., 1983 .- Relations dimensionnelles dans une série organique en croissance chez une plante supérieure - IX<sup>e</sup> Congrès international de Biologie Mathématique, Paris 8-10 sept.1983, 19p
- BELLUAU E. et coll, 1988 .- Le verger d'abricotier en France - L'arboriculture fruitière, 404, pp 40-45
- CALOT C., 1967 .- Cours de calcul des probabilités - Statistiques et programmes économiques 3, pp 295-346
- CHAMPAGNAT P., 1965 .- Physiologie de la croissance et de l'inhibition des bourgeons: dominance apicale et phénomènes analogues - Encyclopedia of Plant Physiology, XV, (1), pp 1106-1171
- CLANET H. et SALLES J.C., 1974 .- Contribution à l'étude de la fructification de l'abricotier dans des conditions climatiques différentes - Annales Amél. des Plantes, 24 (2), pp 97-127
- CLANET H., ATGER P. et SALGAS C., 1987 .- Possibilités offertes par l'utilisateur du Paclobutrazol en verger d'arbres fruitiers à noyau (pêcher - abricotier) - 2<sup>ème</sup> colloque sur les substances de croissance et leur utilisation en agriculture - Annales ANPP 03, (1), pp 211-213
- COHEN D., 1967 .- Computer simulation of biological pattern generation process - Nature, 216, 21, 246

## ANNEXES

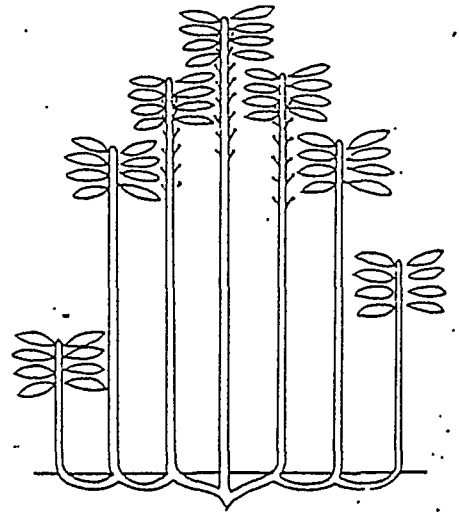
--



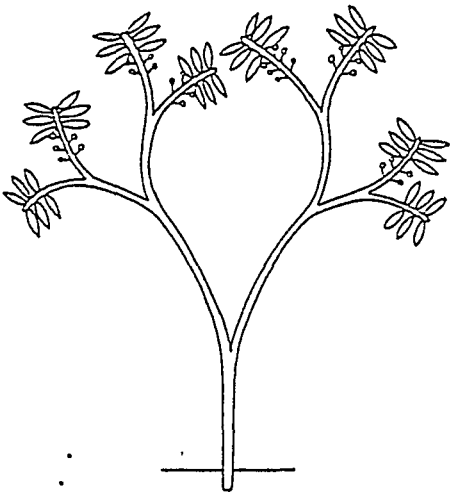
Modèle de Holttum



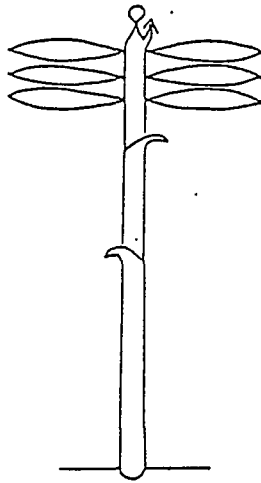
Modèle de Corner



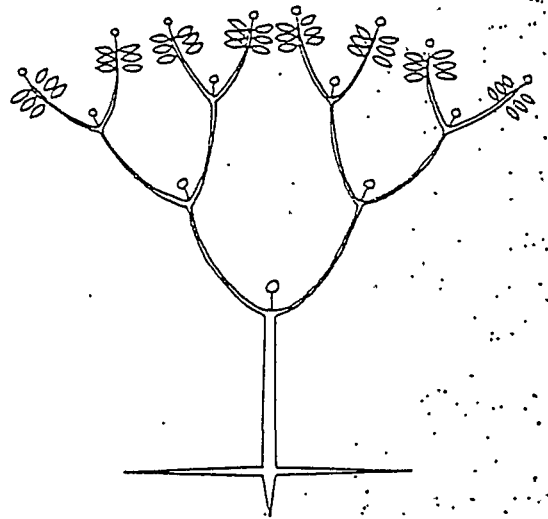
Modèle de Tomlinson



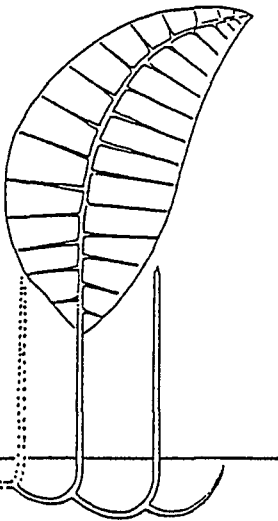
Modèle de Schoute



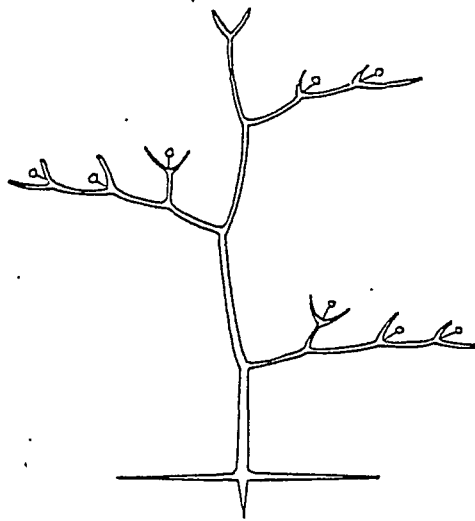
Modèle de Chamberlain



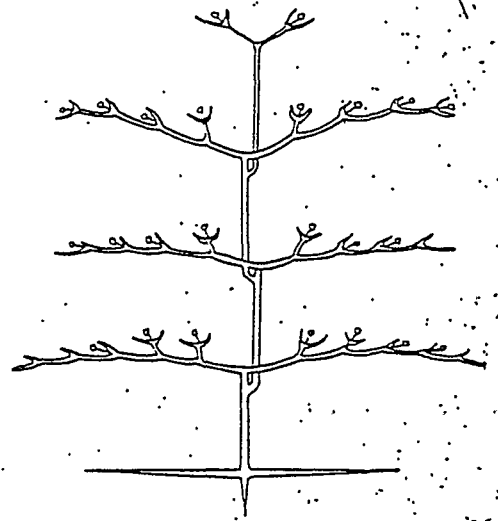
Modèle de Leeuwenberg



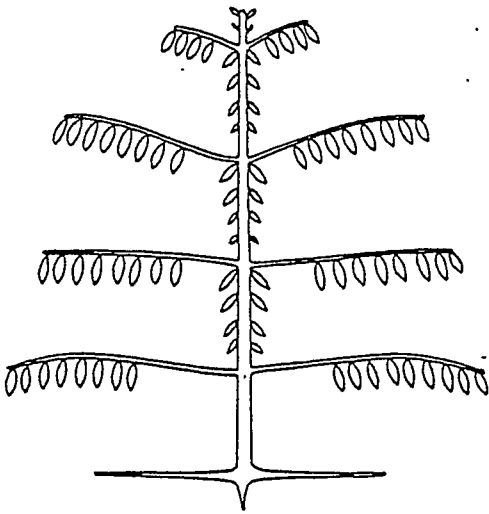
Modèle de McClure



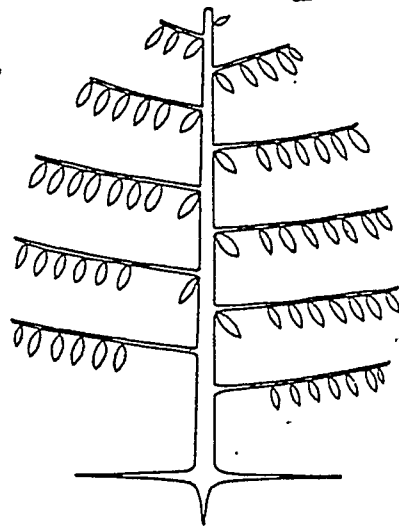
Modèle de Koriba



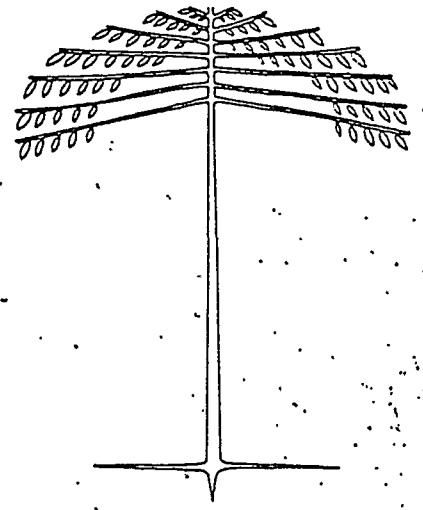
Modèle de Prévost



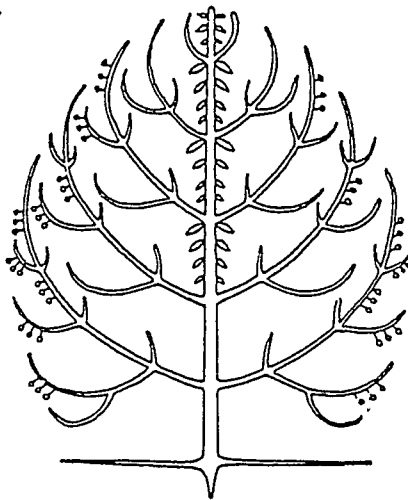
Modèle de Massart



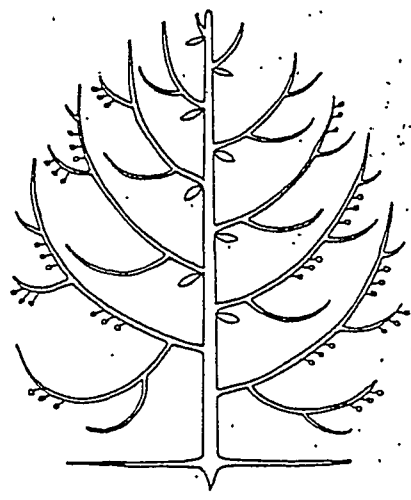
Modèle de Roux



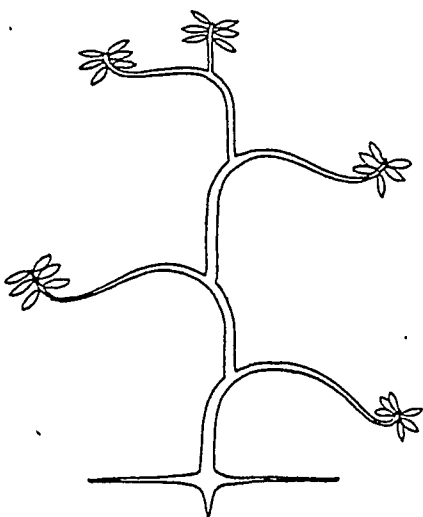
Modèle de Cook



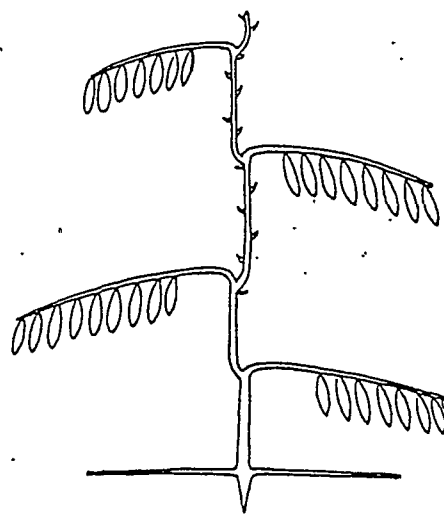
Modèle de Rauh



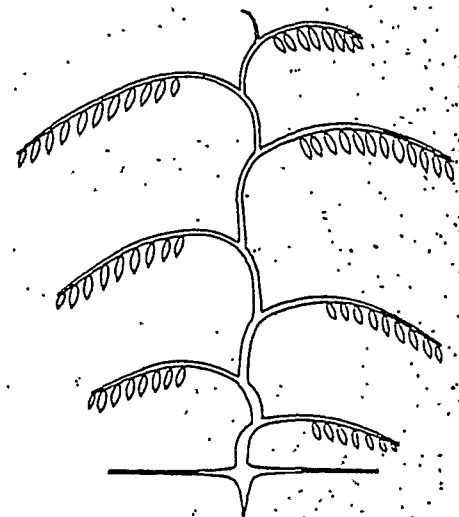
Modèle d'Attims



Modèle de Champagnat



Modèle de Mangenot

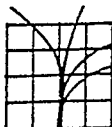


Modèle de Troll



annexe 2

	5	4	3	2	1
1	Royal Rosa (o.d. 85)	MODESTO (o.d. 85)	SCREARA 804 /P1380	SCREARA 804 /P1380	BELIANA 1731 /GF 31
2	BERGERON 660 /GF 305	MODESTO (o.d. 85)	ROYAL ROSA (o.d. 85)	R. du R. 157 /Brompton	BELIANA 1731 /GF 31
3	T. de BORD. 1733 /Brompton	POLONAIS 1352 /Manicot	BELIANA 1731 <del>/Brompton</del>	ROYAL ROSA (o.d. 85)	
4	R. du R. 157 /Brompton	R. du R. 157 /Manicot	R. de FOURNES 2129 /GF 305	POLONAIS 1352 /GF 8-1	
5	BERGERON 660 /GF 8-1	MODESTO (o.d. 85)	P. COLOMER 8 /Manicot	BELIANA 1731 /GF 31	
6	P. COLOMER 8 /Manicot	R. de FOURNES 2129 /GF 305	MODESTO (o.d. 85)		
7	R. de FOURNES 2129 /Manicot	R. de FOURNES 2129 /Manicot	BELIANA 1731 /GF 31		
8	BELIANA 1731 <del>/Brompton</del>	POLONAIS 1352 /GF 305			
9	POLONAIS 1352 /GF 8-1	ROYAL ROSA (o.d. 85)			
10	R. du R. 157 /Manicot	BELIANA 1731 /GF 31			
11	BELIANA 1731 /GF 31				



PORT NATUREL DE L'ABRICOTIER 1988
-----------------------------------

////////////////////////////////////  
 Michel JAY, Jean LICHOU, CTIFL  
 M.L. LAMBERTIN, stagiaire ENITAH d'ANGERS, Ctifl  
 //////////////////////////////////////

BUT DE L'ESSAI

Etude du type de fructification de 11 variétés d'abricotier conduites en port naturel (sans intervention de taille).

MATERIEL VEGETAL

- Variétés et porte-greffes observés en 1988 :

NOMBRE D'ARBRES	VARIETES	PORTE-GREFFES			
		GF 8-1	GF 305	BROMPTON	MANICOT
2	BERGERON	X	X		
1	T. BORDANEIL			X	
4	R. ROUSSILLON			X X	X X
2	FOURNES				X X
2	BELIANA			X X	
4	POLONAIS	X X	X		X

- 1ère pousse : 1983
- Plantation : 4,80 m x 5 m (417 arbres/ha) à oeil dormant

METHODE EXPERIMENTALE

- Simple observation des arbres, sans dispositif statistique
- Nombre d'arbres observés : 15

CARACTERISTIQUES DE LA PARCELLE : Superficie 7 ares

- Sol : limono-argileux. pH : 7,0
- Irrigation : aspersion
- Précédent cultural : jachère

VARIABLES MESUREES

- Poids récolté par arbre
- Poids de fruits récolté par âge de bois : prolongements (bois de l'année en extrémité de branche), reperçements (bois de l'année inséré sur bois de 2 ans ou plus), bois de 2 ans, vieux bois (+ de 2 ans), rameaux longs (chiffonnes de plus de 20 cm, situés sur vieux bois).
- Poids moyen des fruits par type d'organe.

Remarque : l'étude de la répartition des fruits a été faite globalement sans tenir compte des différences éventuelles entre porte-greffes. Cet aspect fait l'objet d'un travail indépendant (voir "architecture abricot").

DEROULEMENT DE LA CULTURE

- Désherbage et protection phytosanitaire : selon programme domaine

DE SIX VARIETES D'ABRICOTIER

CODE RNEO  
1820313066



Alain AUDUBERT C.T.I.F.L.

BUT DE L'ESSAI

Etudier le comportement de 6 variétés conduites en port naturel (sans intervention de taille) :  
Beliana A 1731, Flamingold A 1794, Houcall A 1792 T, Rouge du Roussillon A 157, Tardif de Bordaneil  
A 1793 et un hybride INRA.

Etudier le type de fructification de chaque variété.

ETAT D'AVANCEMENT : année de mise en place : 1982

ACTION ~~XXXXXXXXXX~~

A POURSUIVRE

METHODE EXPERIMENTALE

Greffage en place sur Brompton.  
Récolte des fruits par organe de production.

OBSERVATIONS REALISEES EN 1987 :

- Production : récolte par organe de production ( comptage, pesée )  
calibrage.

RESULTATS 1987 :

% de récolte par organe = % du nombre de fruits.

	Flemingold A 1794	Beliana A 1731	Houcall A 1792 T	R.Roussillon A 157	Hybride INRA	T.de Bordaneil 1 1793
Nombre de fruits m/arbre	51	1276	1386	603	59	18
Poids m/arbre (kg)	4,53	48,1	48,3	28,2	3,5	0,77
Bois 1 an	Bouquet de Mai 1 an	10 %	19,1 %	30,9		
	Prolongement		36,4 %	-	3,5 %	
	Rameaux mixtes		8,2 %	18,2 %	36,3 %	Récolte
Bois 2 ans et +	Bouquet Mai 2 ans et +	72 %	12,5 %	39,5 %	23,9 %	100 %
	chiffones	18 %	23,8 %	11,3 %	36,3 %	insuffisante
Poids m des fruits gr.	68,3	37,71	34,84	46,79	51,2	42,9
Poids moyen (gr)	bouquet Mai 1 an	64,5	35,1	35,00	40,30	
	Prolongement		37,8			Récolte
	Rameaux mixtes		35,7	32,90	45,66	insuffisante.
	Bouquet Mai 2 ans et + chiffones	91	40,1	35,00	50,00	51,2

CONCLUSIONS :

Pour toutes les variétés, les fruits produits sur les prolongements (pousses de l'année)  
sont les fruits les plus petits.

Les fruits les plus gros sont dans tous les cas produits par des bouquets de Mai  
de 2 ans et plus.

Beliana : production sur bois d'1 an.

Houcall : production sur bois d'1 an et de 2 ans.

R. Roussillon : production sur bois de 2 ans

Flamingold :

## annexe 4

VARIETE : MODESTO

SYNONYMES : Anderson 28 H 106 N° de clone : A 2310

ORIGINES : géographique : U.S.A. (Californie, Le Grand)  
généétique : Semis de 2ème génération de "Perfection" obtenu par  
par F.V. ANDERSON en 1964

CARACTERISTIQUES :

- Arbre : - vigueur : bonne - port : dressé
  - affinité avec le porte-greffe : variété exigeante
  - fructification : pousses courtes et rameaux mixtes
- Fleur
  - époque de floraison : précoce
  - abondance : forte
  - compatibilité florale :
- Fruit
  - époque de maturité : époque "Rouge du Roussillon"
  - productivité : forte (les fruits évoluent lentement)
  - calibre : moyen à gros
  - forme : oblongue
  - coloration de fond : orangé uniforme - surimpression : rouge à l'ensoleillement
  - coloration de la chair : orangé
  - qualité gustative : moyenne à médiocre
  - fermeté : bonne
  - résistance aux manipulations : bonne
  - aptitude à l'appertisation : moyenne
  - adhérence de la chair au noyau : nulle
  - amande :

APPRECIATION GENERALE - INDICATIONS CULTURALES :

Productif, régulier, ferme et de bon calibre, autant de qualités intéressantes partiellement contrecarrées par des qualités gustatives limitées.

JUGEMENT D'ENSEMBLE :

Convient parfaitement dans la Basse Vallée du Rhône.

Variété californienne très largement acclimatée, dont la production élevée et régulière n'est pas assujettie aux contraintes régionales : adaptée à la zone méridionale, son comportement est excellent dans le Nyonsais et il est loin de nous laisser indifférent dans la Vallée du Rhône.

Ses fruits de gros calibre sont fermes et attractifs, indifféremment localisés sur pousses courtes ou rameaux mixtes, leur défaut réside malgré tout dans des qualités gustatives dont le niveau n'est pas à la mesure de la présentation des fruits.

Somme toute il s'agit d'une variété de transition parfaitement digne d'être intégré dans notre gamme variétale.

## annexe 4 (suite)

VARIETE : ROUGE DU ROUSSILLON

SYNONYMES : N° de clone : 157

ORIGINES : géographique : France (Pyrénées Orientales)  
génétique : semis de hasard découvert au 19<sup>e</sup> siècle

CARACTERISTIQUES :

- Arbre : - vigueur moyenne port : moyen
  - affinité avec le porte-greffe : variété exigeante
  - fructification : essentiellement sur pousses courtes
- Fleur
  - époque de floraison : moyenne
  - abondance : moyenne
  - compatibilité florale : autofertile
- Fruit
  - époque de maturité : 15 Juillet
  - productivité : bonne
  - calibre : petit
  - forme : ronde
  - coloration de fond : orangé clair - surimpression : plage et ponctuation rouges
  - coloration de la chair : orangé
  - qualité gustative : bonne
  - fermeté : moyenne
  - résistance aux manipulations : faible
  - aptitude à l'appertisation : mauvaise
  - adhérence de la chair au noyau : nulle
  - amande : amère

APPRECIATION GENERALE - INDICATIONS CULTURALES :

Variété adaptée aux Pyrénées Orientales où elle assure la majeure partie de la production locale. Son défaut aujourd'hui tient à la faiblesse de son calibre lié à une productivité trop importante.

JUGEMENT D'ENSEMBLE :

Variété d'intérêt régional non négligeable. Excellente pour la confiture.

Parfaitement adaptée aux conditions du Roussillon, cette variété est cultivée au moins depuis le début du 19<sup>e</sup> siècle.

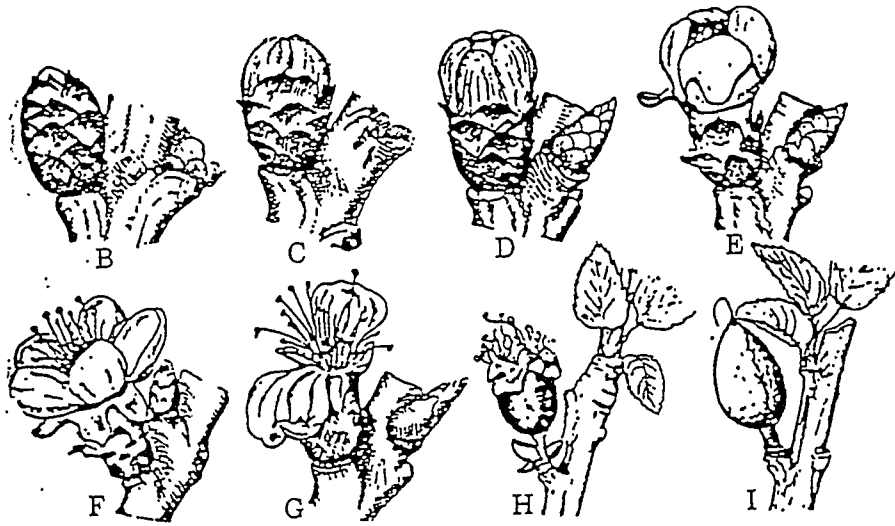
Suite à un travail de sélection clonale auquel ont participé MM. BERNHARD, CAILLAVET et HUET un arbre tête de clone (A 157) de bon état sanitaire, régulier en production, a été repéré et est toujours multiplié.

Le "Rouge du Roussillon" est excellent à maturité, très aromatique ce qui en fait une des meilleures variétés pour la confiterie.

Mais le calibre des fruits est un peu petit et surtout les fruits évoluent mal après récolte s'ils ont été cueillis fermes (fruits pâteux).

Dans les autres zones de production son comportement reste bien souvent aléatoire :

- une production fluctuante et d'importantes chutes de jeunes fruits en Mai-Juin la caractérisent dans la région gardoise.
- des alternances beaucoup plus importantes et une évolution néfaste à l'approche de la maturité (un oreillon mûr - l'autre vert) interdisent son utilisation à des fins de productions dans la Vallée du Rhône.



Stades phénologiques

accroissement 1-2			accroissement 2-3			accroissement 3-4			accroissement 4-5		
obs	theo		nb	obs	theo	nb	obs	theo	nb	obs	theo
1	1.66760283		0	2	1.46931704	0	3	2.16308177	0	16	13.85160576
7	4.44694088		1	7	6.51713204	1	12	8.74025722	1	26	26.52435145
6	5.92925450		2	14	14.45331701	2	17	17.65816195	2	26	25.39565565
3	5.27044845		3	19	21.36915150	3	24	23.78348642	3	13	16.20999297
3	3.51363230		4	26	23.69563170	4	16	24.02518851	4	6	7.76010302
3	1.87393723		5	19	21.02031845	5	21	19.41547755	5	4	2.97195435
0	0.83286099		6	17	15.53921390	6	13	13.07519287	6	2	0.94849607
0	0.31728038		7	9	9.84627609	7	8	7.54746906	7	1	0.25946701
0	0.10576013		8	7	5.45912485	8	7	3.81208549	8	0	0.06210647
1	0.03133633		9	2	2.69042891	9	1	1.71147831			
0	0.00835636		10	2	1.19333541	10	0	0.69154855			
			11	0	0.48118363	11	1	0.25402781			
						12	0	0.08553647			

ajustement poissonnien

accroissement 11-12

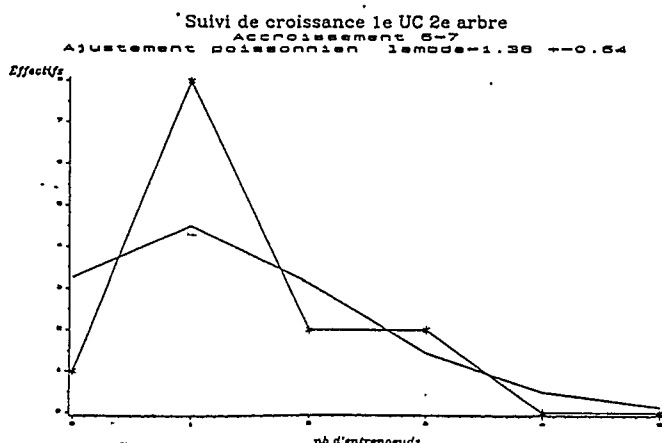
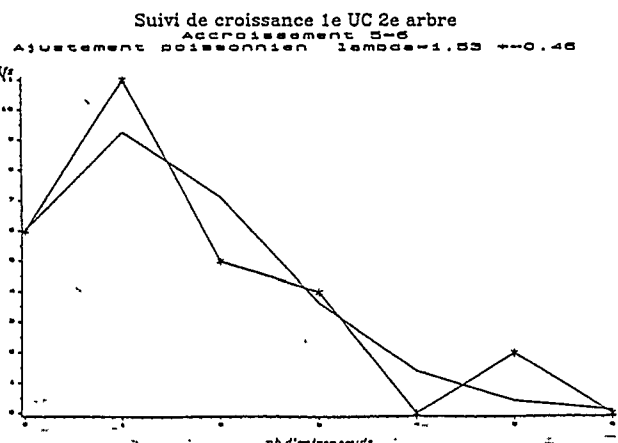
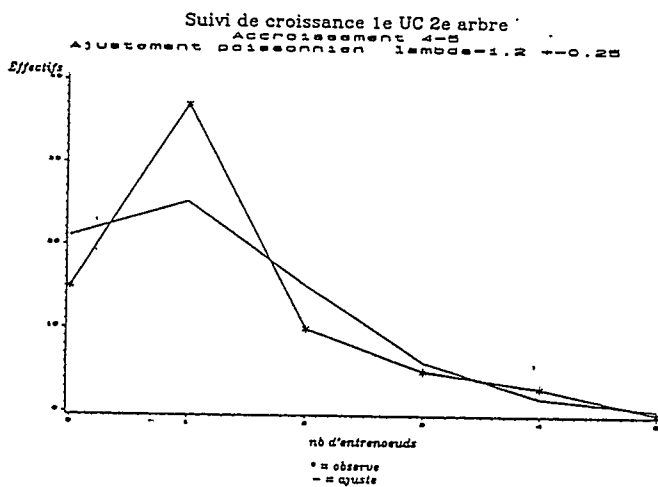
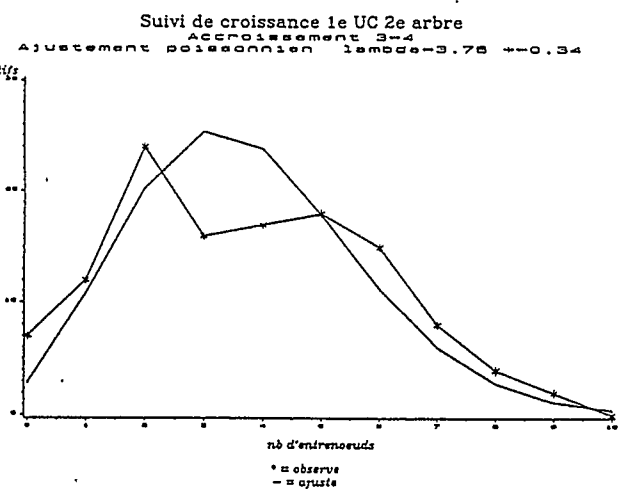
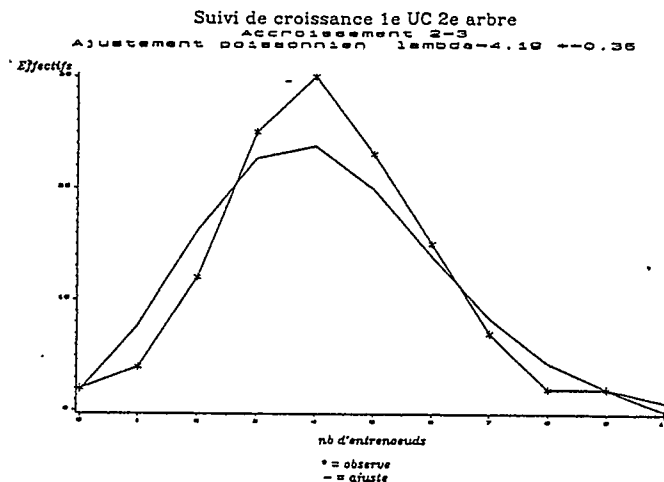
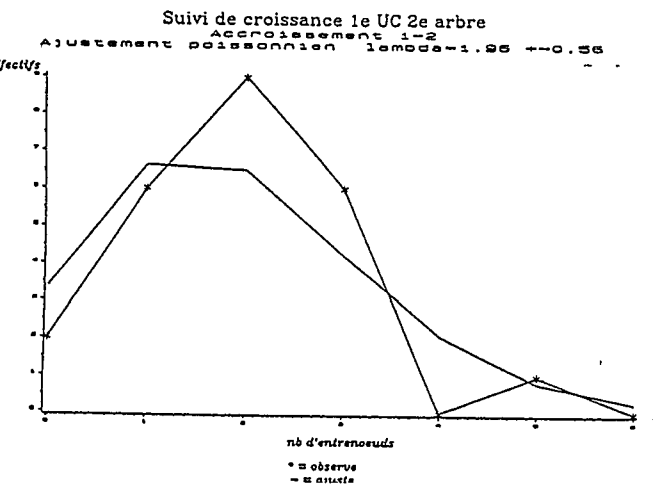
accroissement 12-13

nb	obs	theo	nb	obs	theo
			0	4	3.11538462
0	12	12.09425875	1	10	11.76923077
1	13	12.83472357	2	12	11.11538462
2	5	5.10769612	3	0	0.00000000
3	1	0.90340203			
4	0	0.05991952			

ajustement binomial

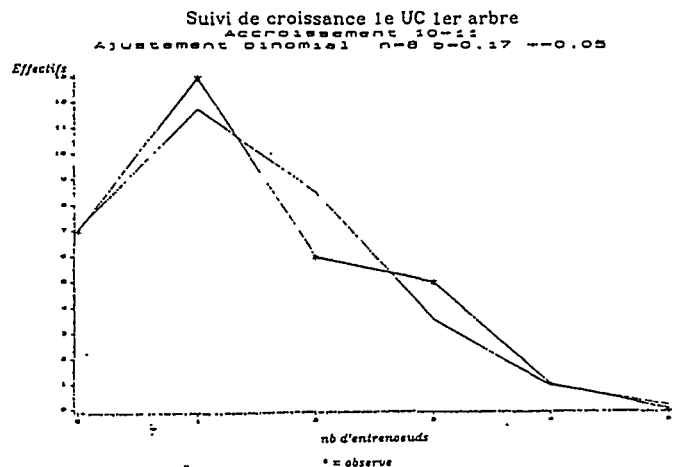
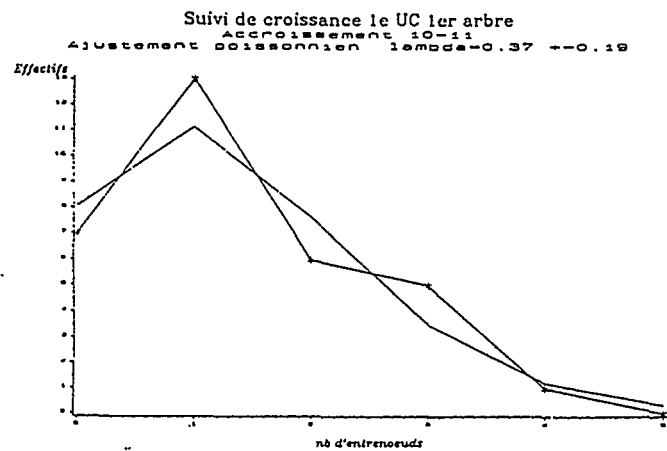
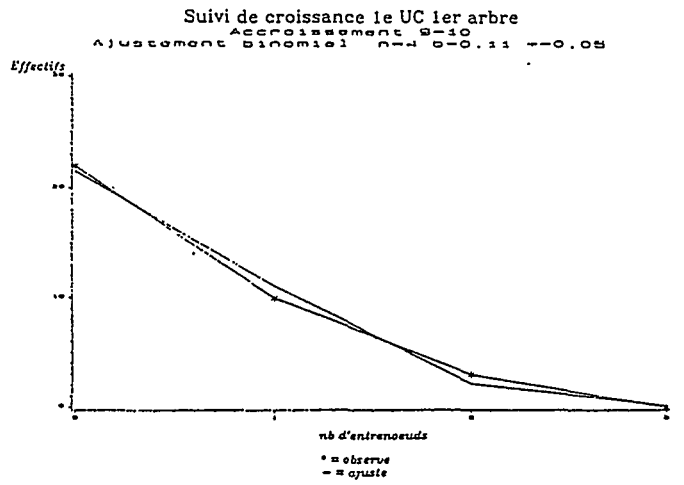
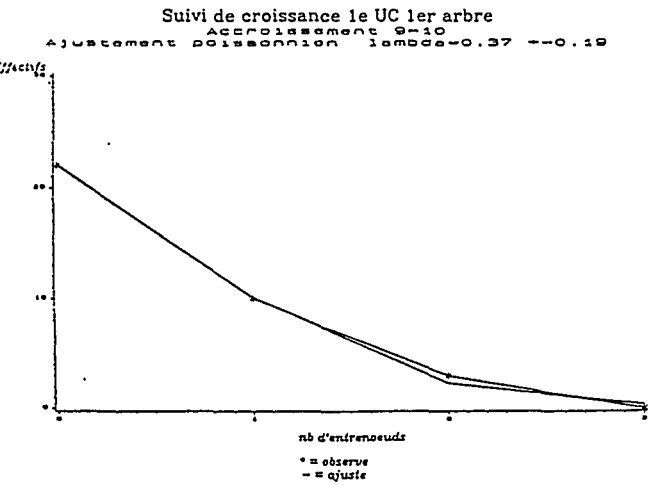
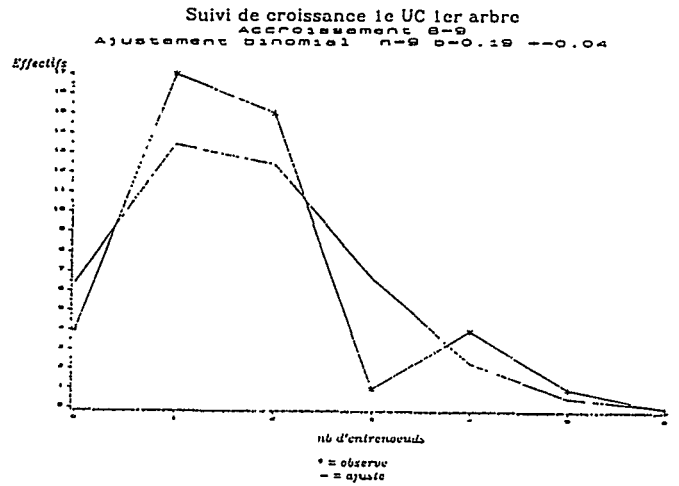
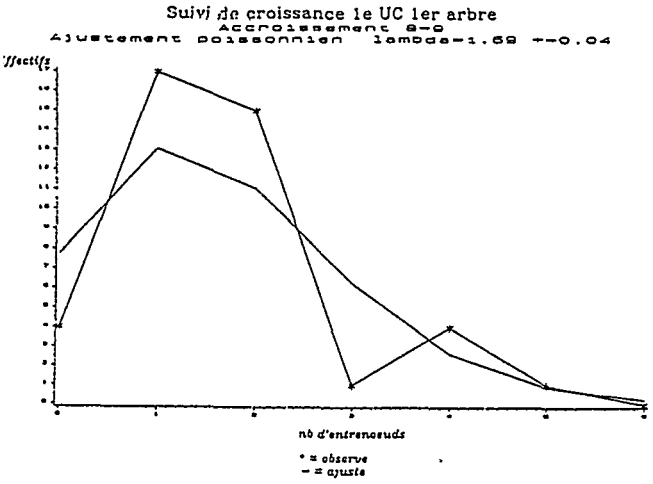
R du ROUSSILLON, accroissement  
valeurs observées et théoriques

annexe 7 (suite)

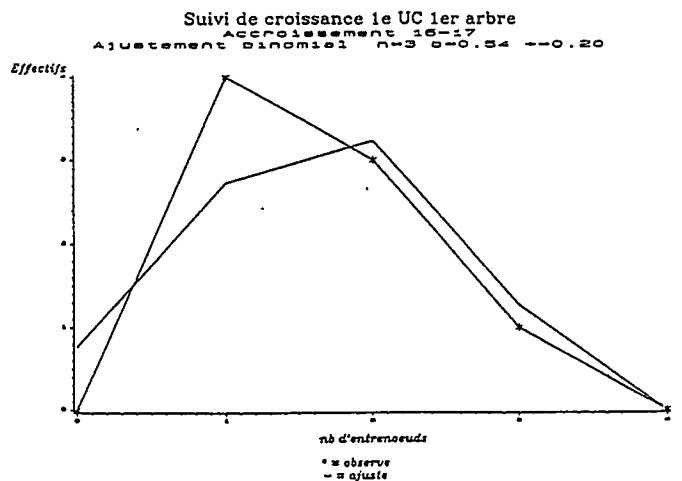
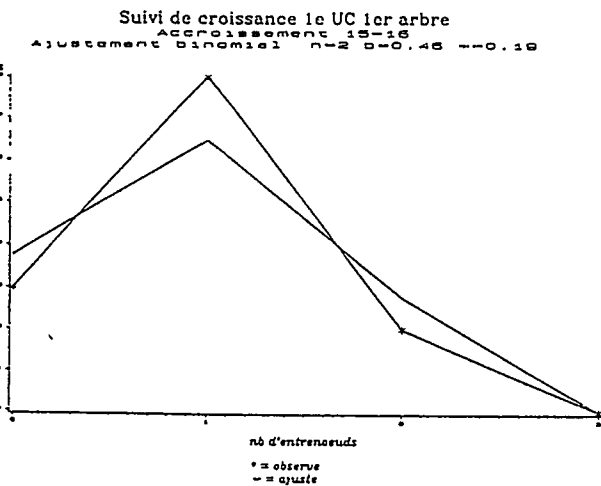
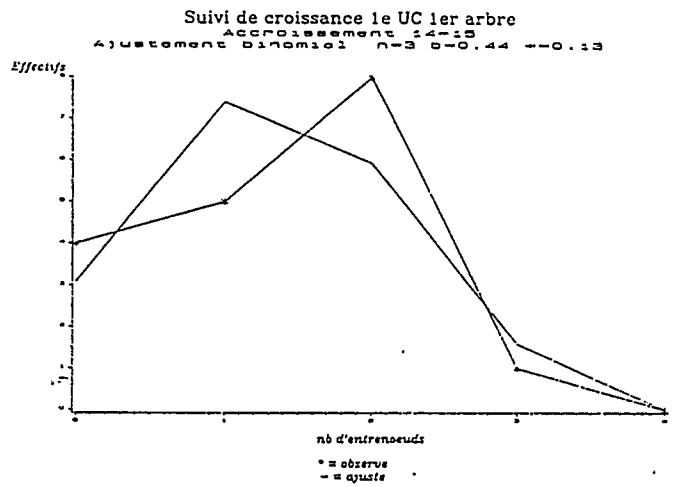
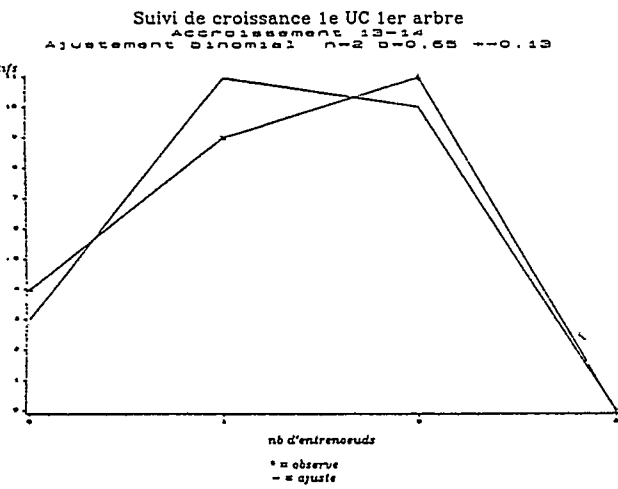
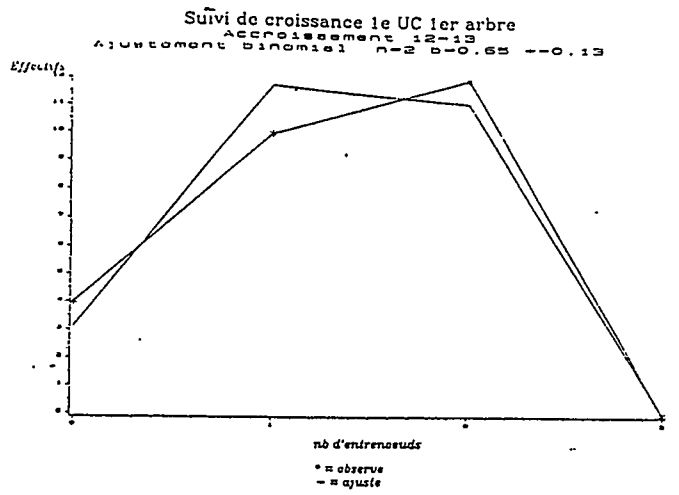
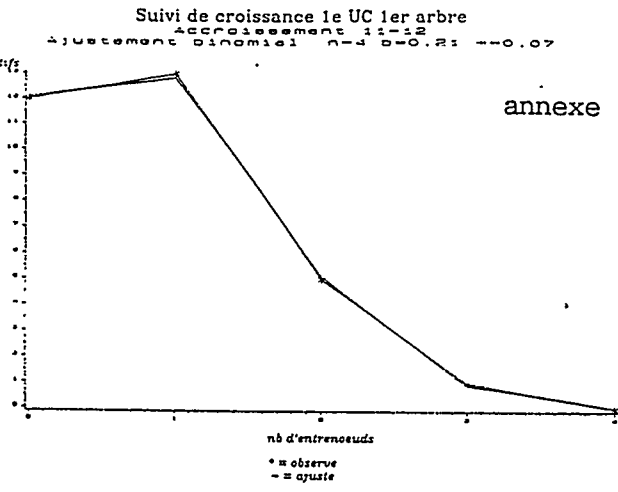


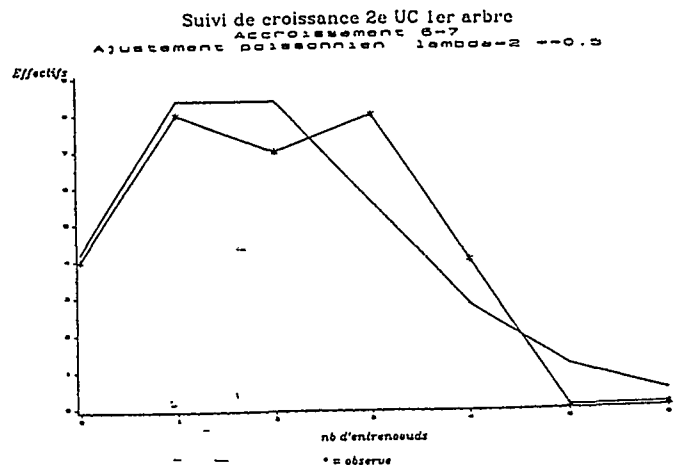
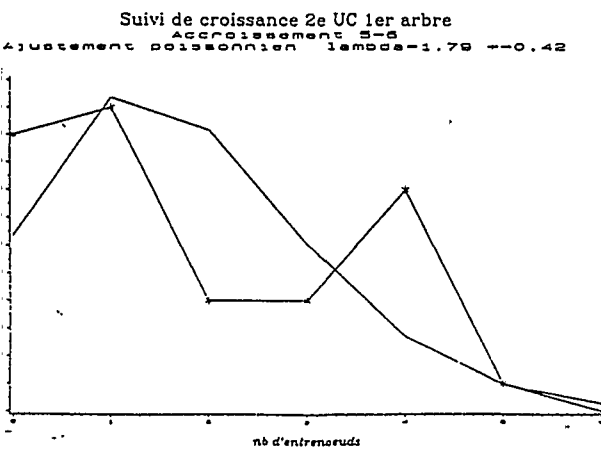
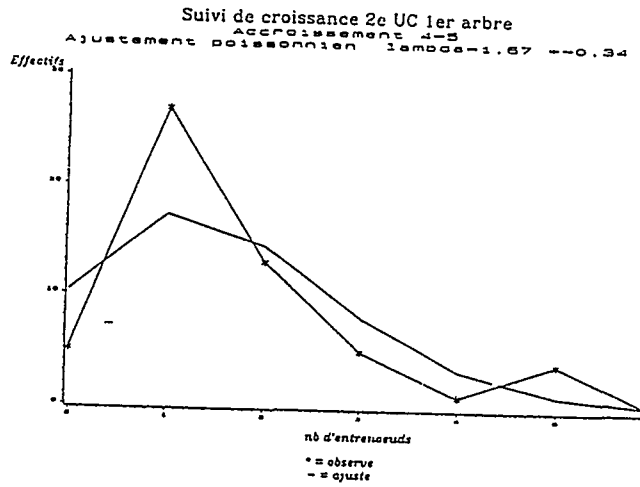
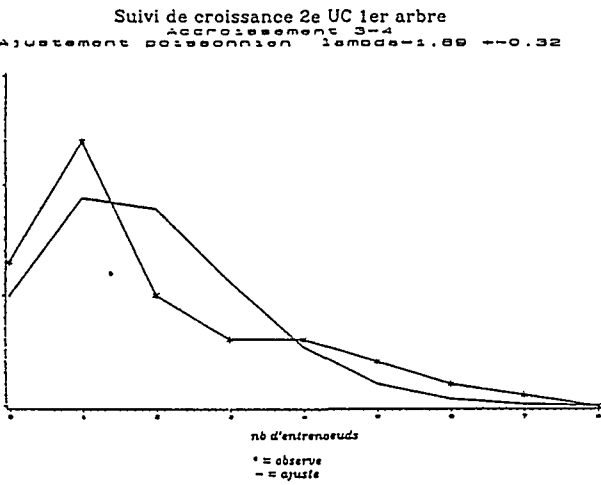
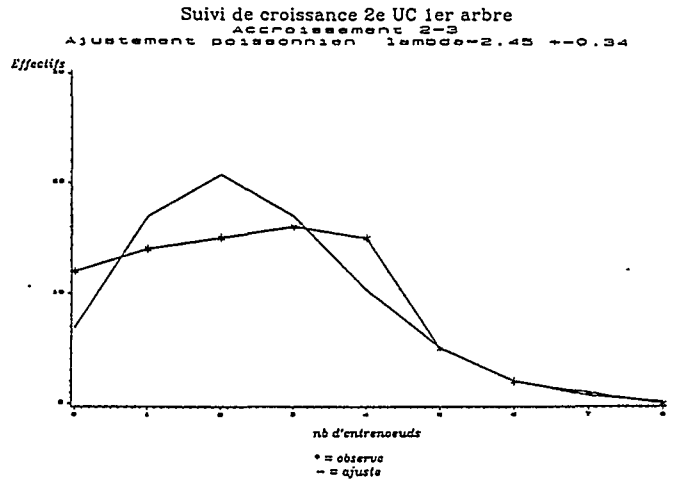
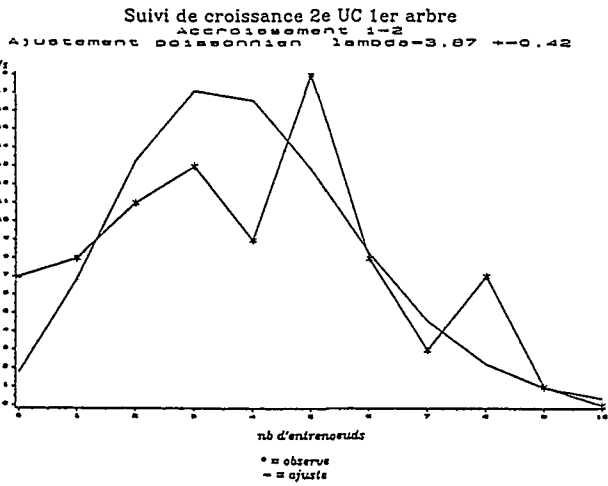


annexe 8

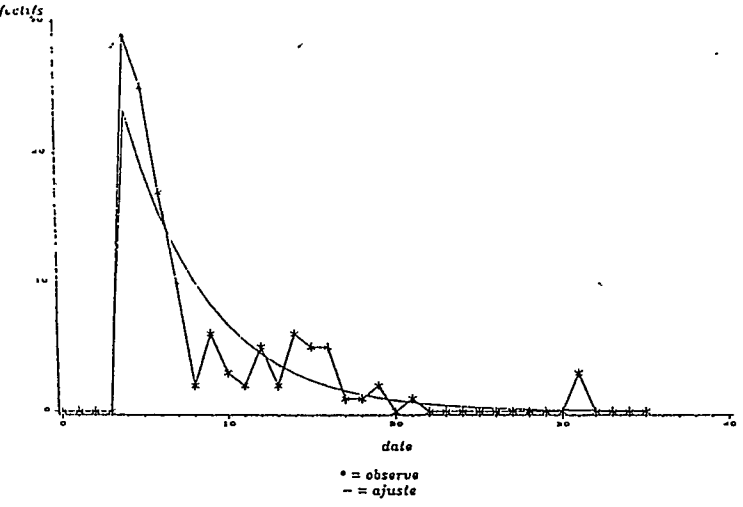


annexe 9

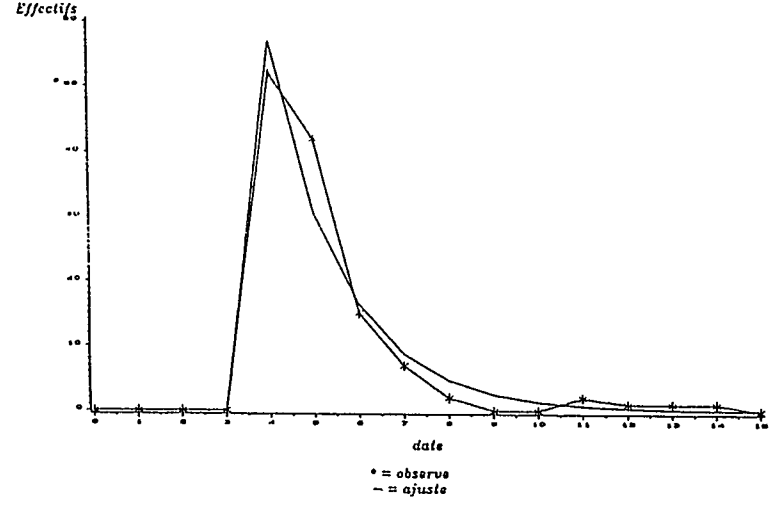




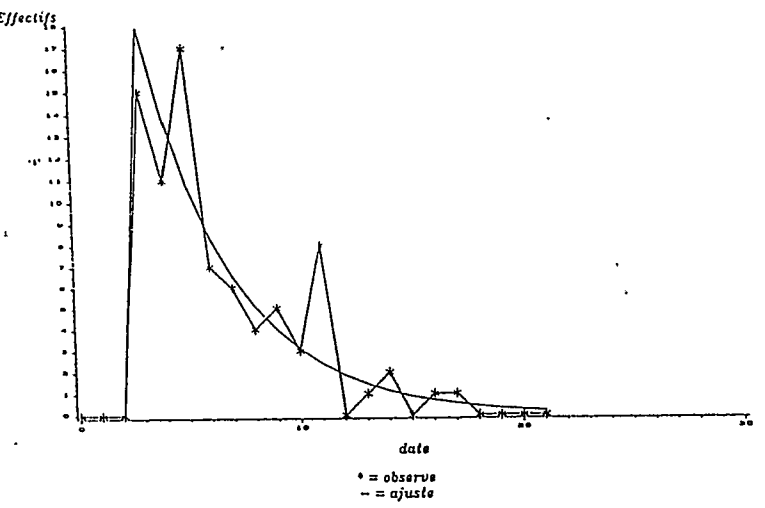
Ajustement geometrique a partir de la date 4 c=0.81



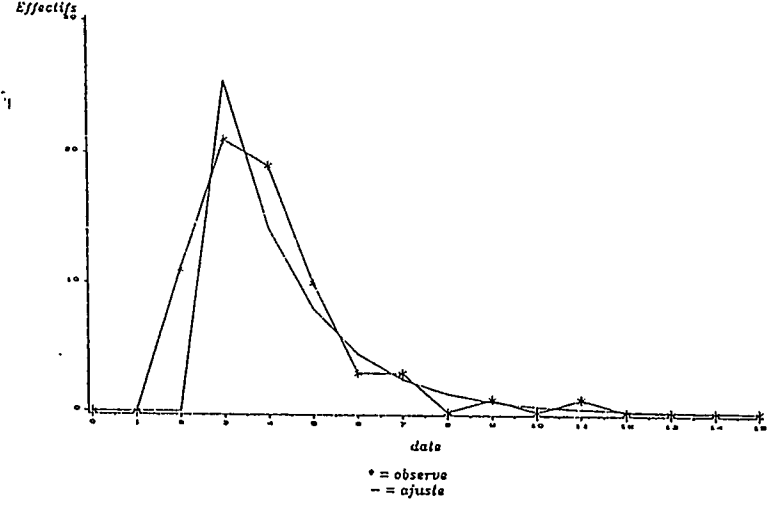
Ajustement geometrique a partir de la date 4 c=0.51



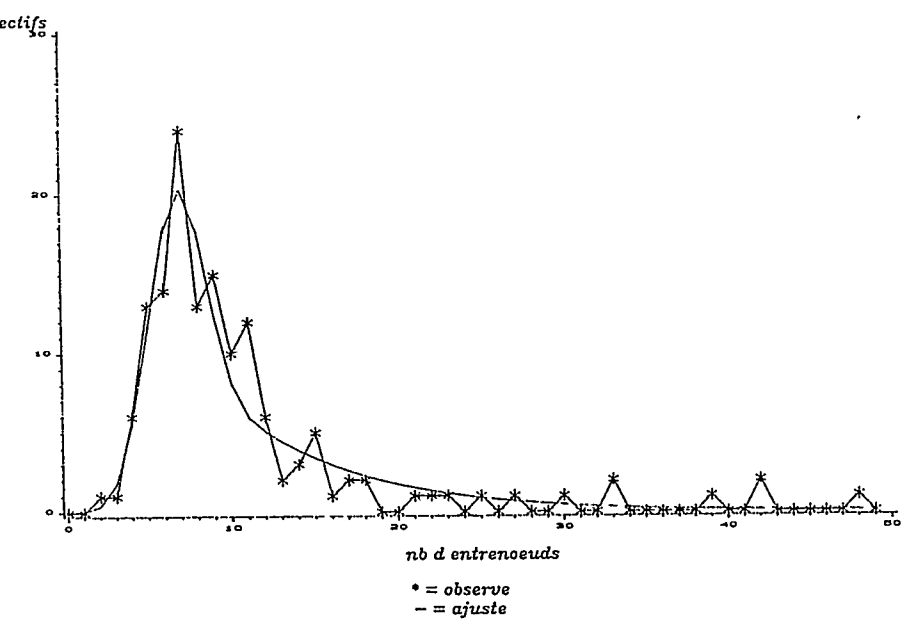
Courbe de Mortalite  
Arbre 1 2a UC 89  
Ajustement geometrique a partir de la date 3 c=0.78



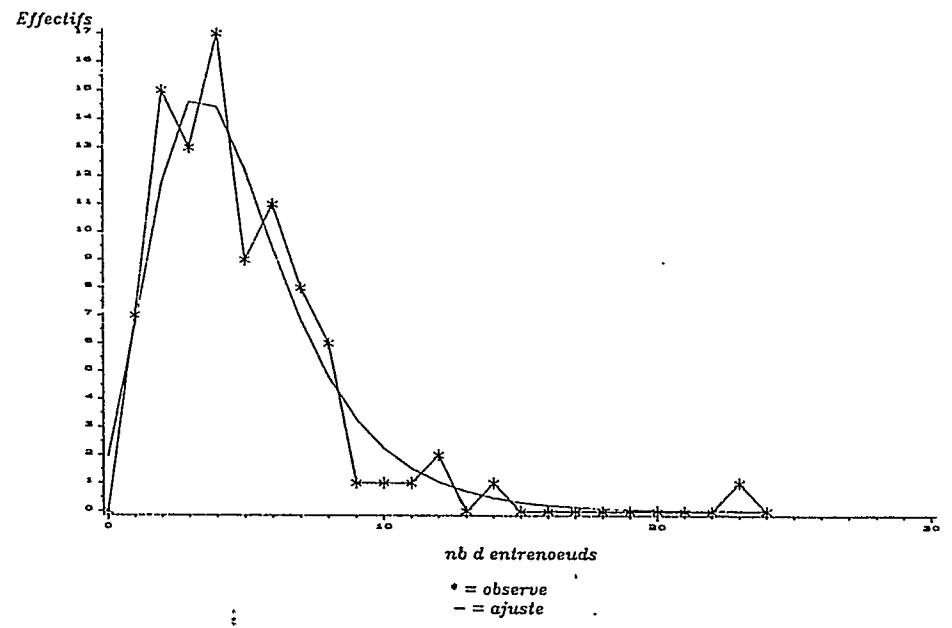
Courbe de Mortalite  
Arbre 2 2a UC 89  
Ajustement geometrique a partir de la date 3 c=0.56



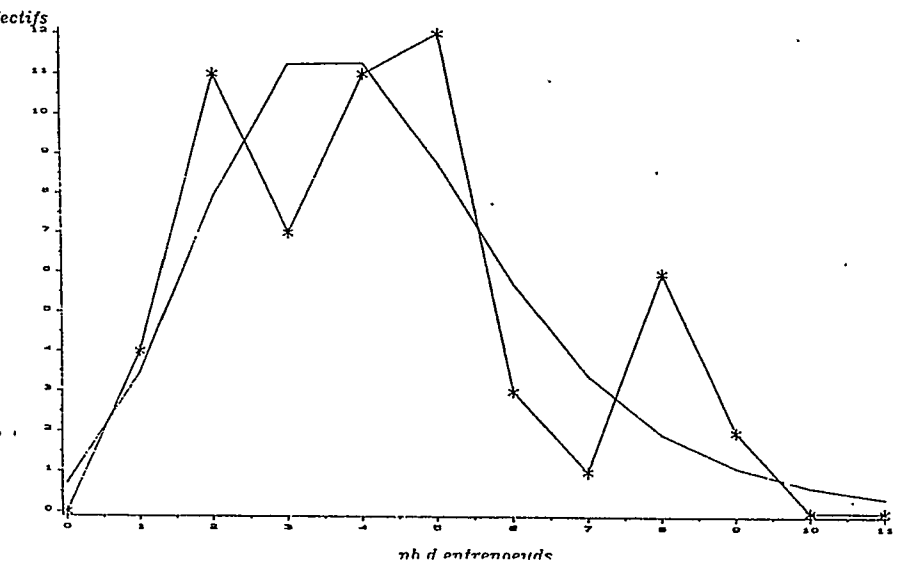
Modesto Balandran, longueur de la 1e UC 88 en position 1  
 Ajustement binomial + geometrique  
 $n=11$ ,  $b=0.59$ ,  $\alpha=0.58$ ,  $c=0.87$



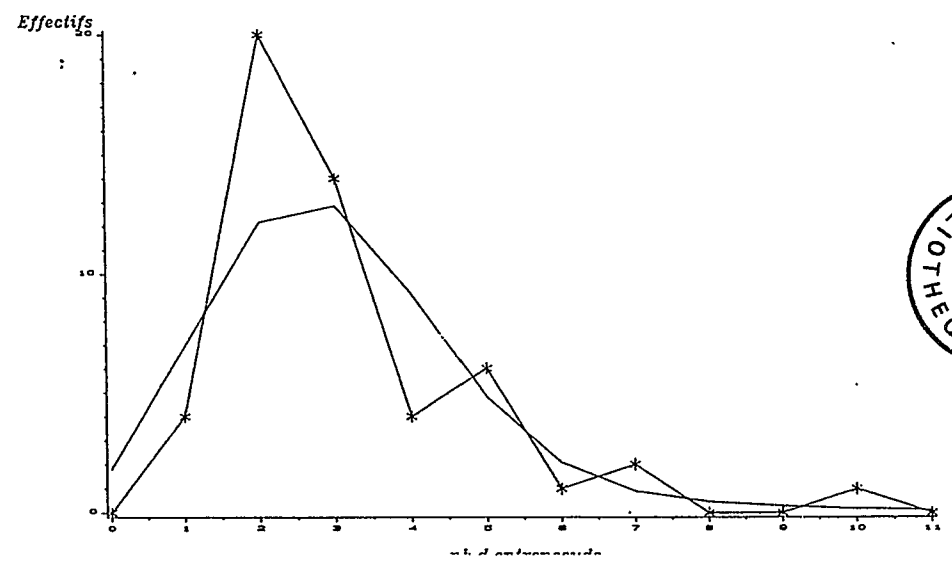
Modesto Balandran, longueur de la 1e UC 88 en position 2  
 Ajustement binomial + geometrique  
 $n=11$ ,  $b=0.27$ ,  $\alpha=0.8$ ,  $c=0.71$



Modesto Balandran, longueur de la 1e UC 88 en position 3  
 Ajustement binomial + geometrique  
 $n=19$ ,  $b=0.17$ ,  $\alpha=1$ ,  $c=0.50$

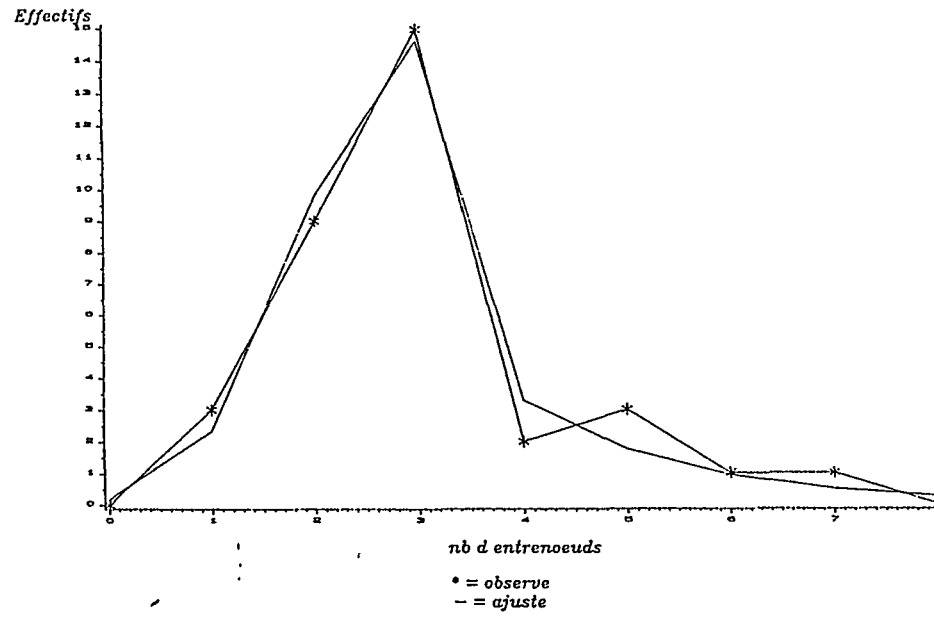


Modesto Balandran, longueur de la 1e UC 88 en position 4  
 Ajustement binomial + geometrique  
 $n=10$ ,  $b=0.28$ ,  $\alpha=0.19$ ,  $c=0.65$

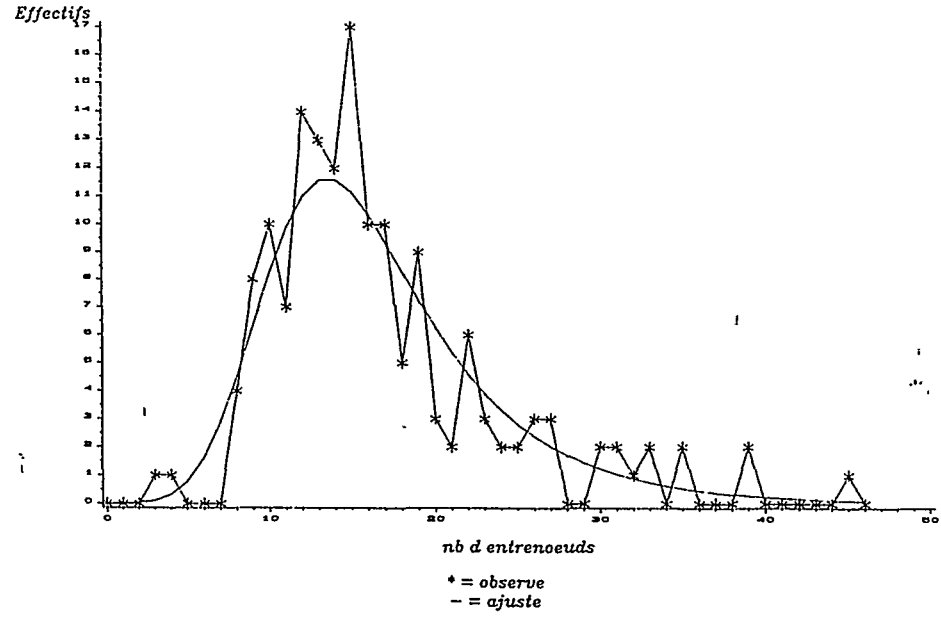


annexe 12 (suite)

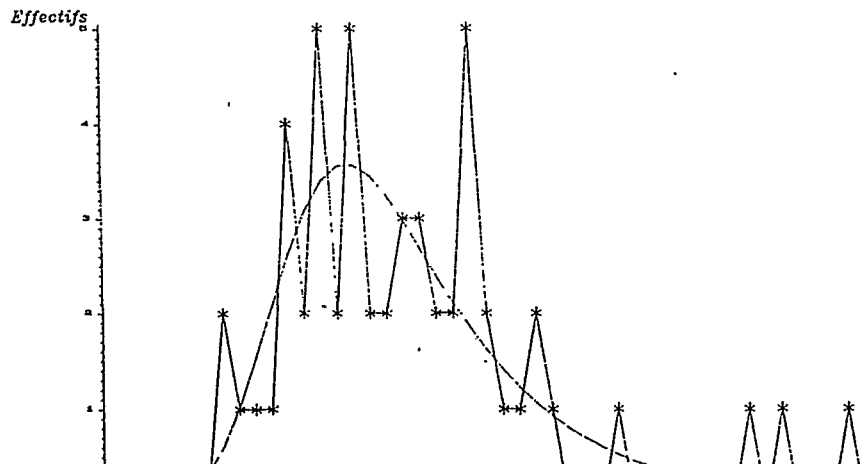
Modesto Balandran, longueur de la 1e UC 88 en position 5  
Ajustement binomial + geometrique  
 $n=9, b=0.33, \alpha=0.10, c=0.86$



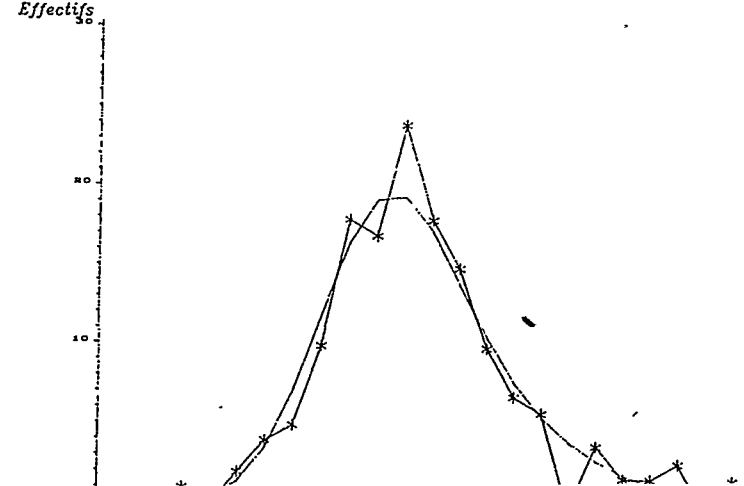
Modesto Balandran, longueur de la 2e UC 88 en position 1  
Ajustement binomial + geometrique  
 $n=25, b=0.42, \alpha=1, c=0.85$



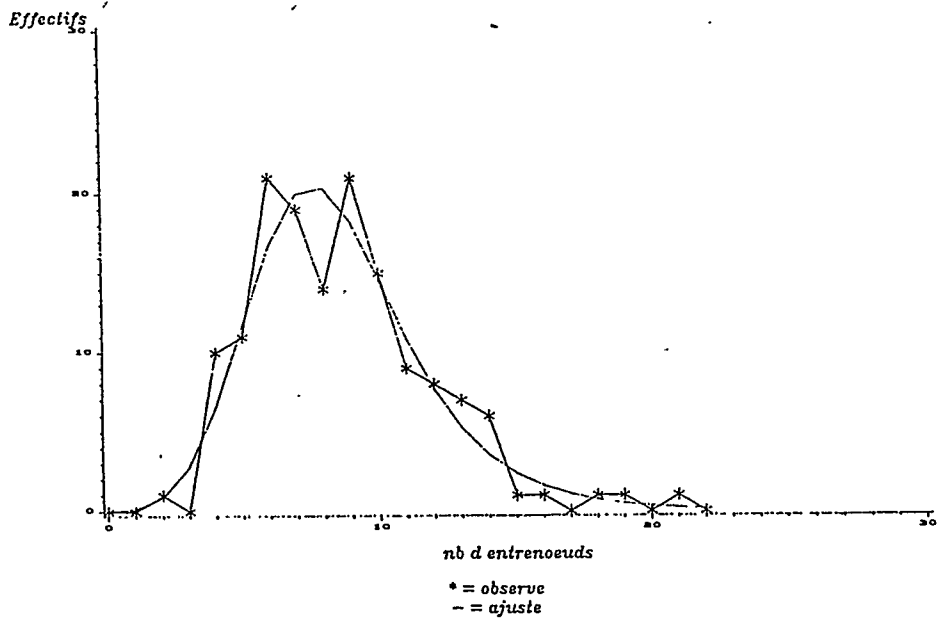
Modesto Balandran, longueur de la 3e UC 88 en position 1  
Ajustement binomial + geometrique  
 $n=30, b=0.43, \alpha=1, c=0.88$



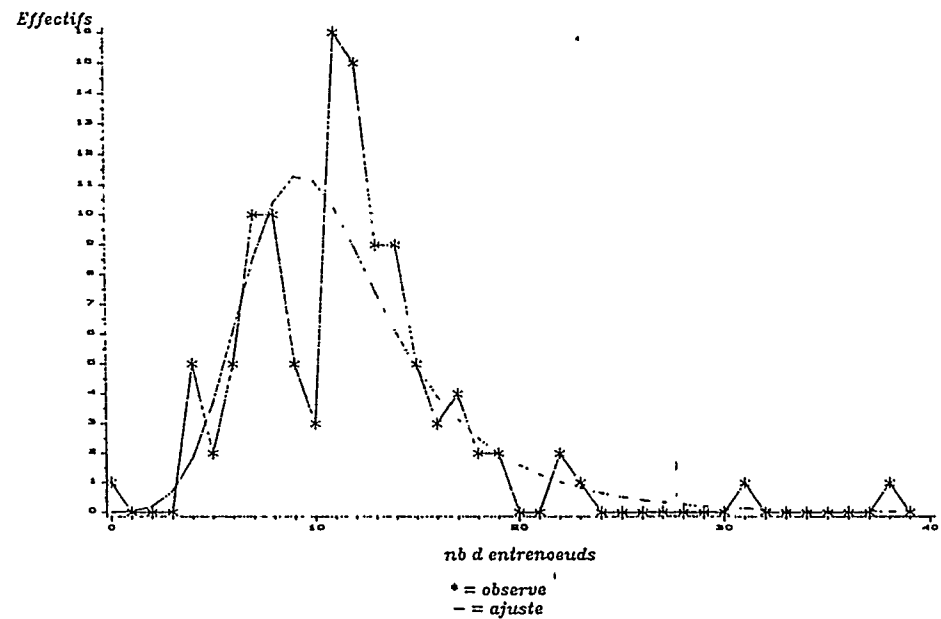
Modesto Balandran, longueur de la 1e UC 89 en position 1  
Ajustement binomial + geometrique  
 $n=17, b=0.54, \alpha=1, c=0.72$



Ajustement binomial + geometrique  
 $n=20$ ,  $b=0.33$ ,  $\alpha=1$ ,  $c=0.67$

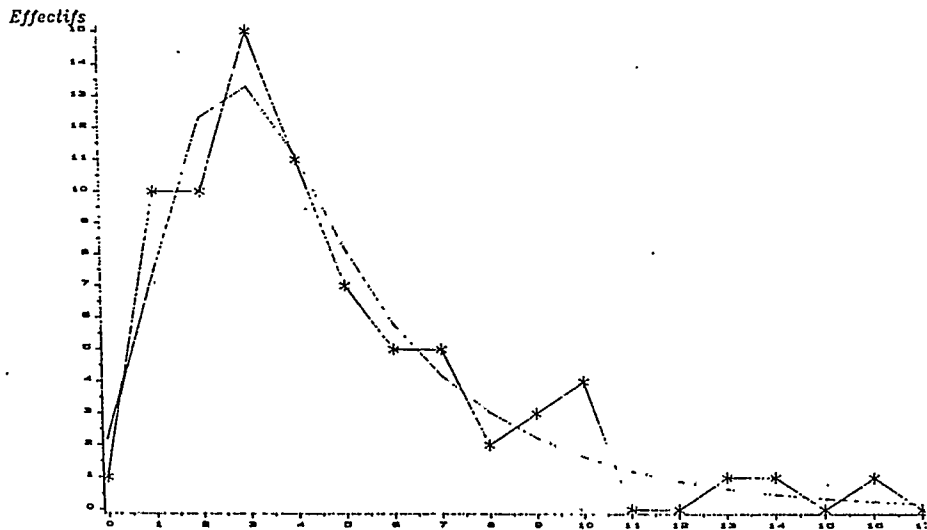


Ajustement binomial + geometrique  
 $n=30$ ,  $b=0.25$ ,  $\alpha=1$ ,  $c=0.80$



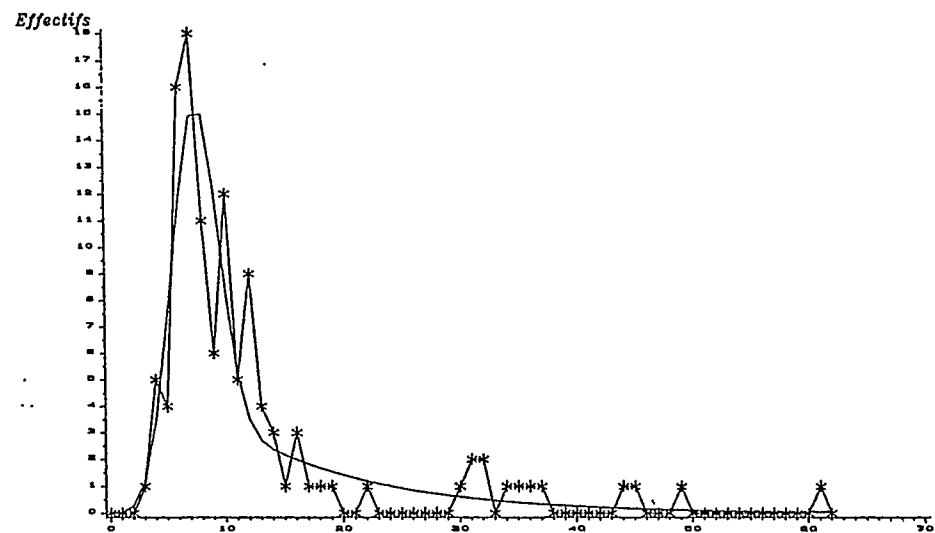
Fournes balandran, longueur de la 1e UC 88 en position 2

Ajustement binomial + geometrique  
 $n=11$ ,  $b=0.26$ ,  $\alpha=0.76$ ,  $c=0.80$

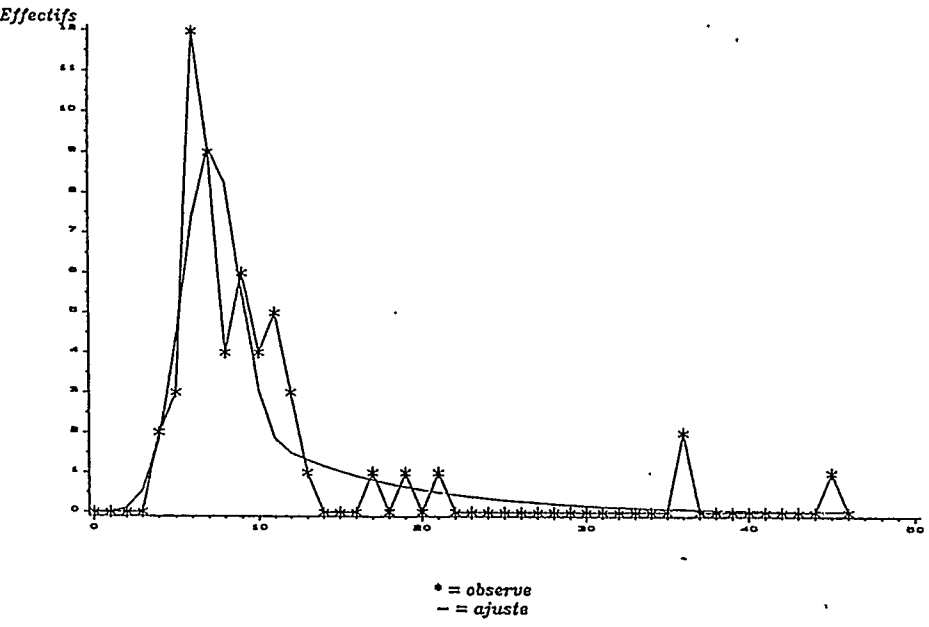


R du Roussillon sur Manicot Balandran, longueur de la 1e UC 87 en position 1

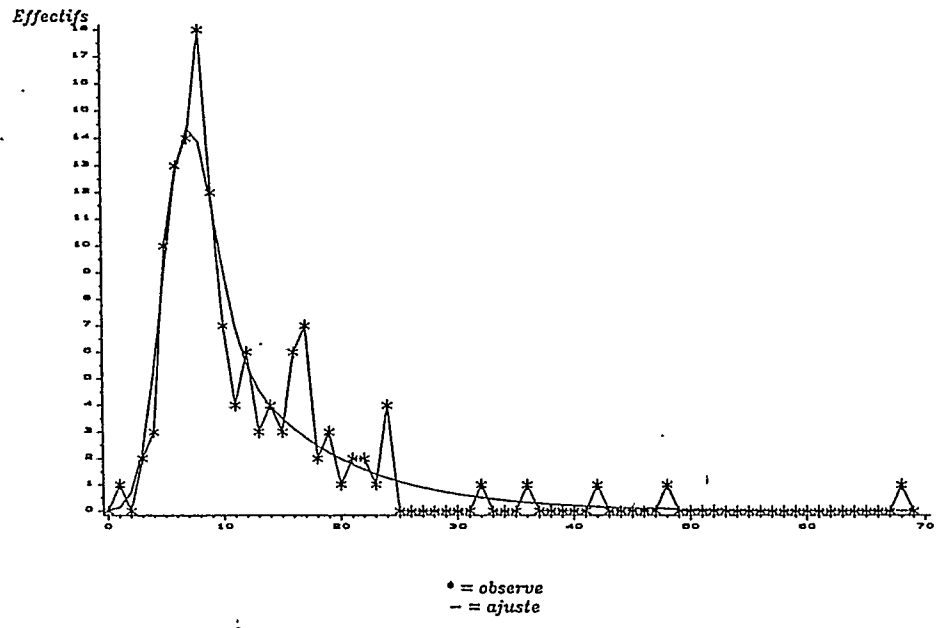
Ajustement binomial + geometrique  
 $n=15$ ,  $b=0.49$ ,  $\alpha=0.44$ ,  $c=0.91$



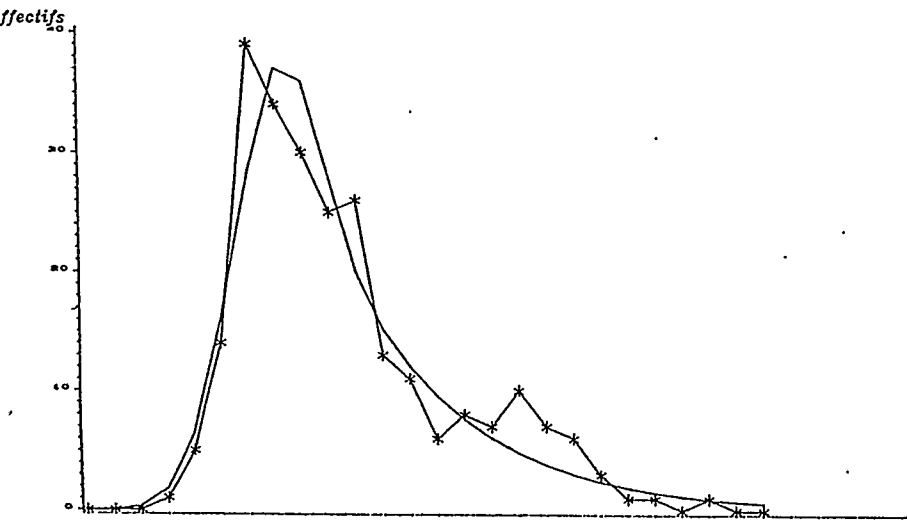
Ajustement binomial + geometrique  
 $n=11$ ,  $b=0.62$ ,  $\alpha=0.43$ ,  $c=0.88$



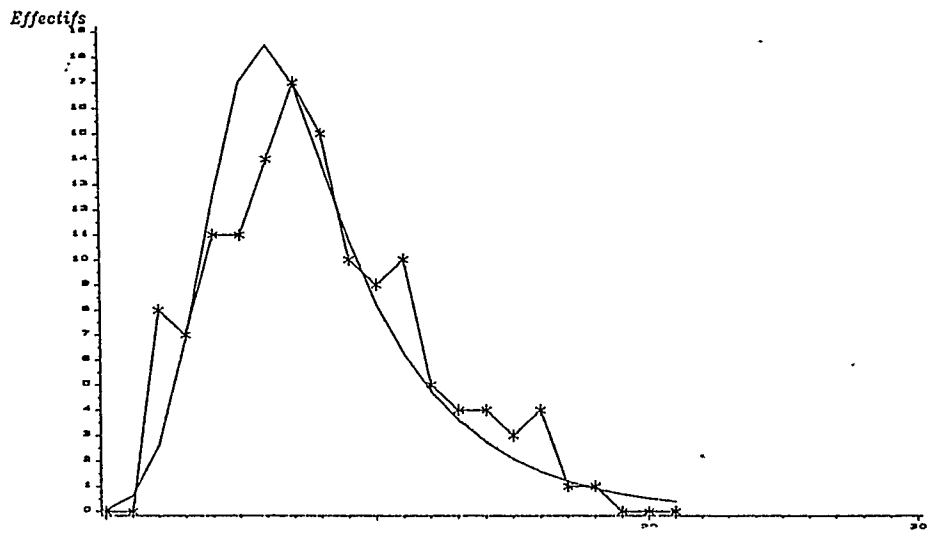
Ajustement binomial + geometrique  
 $n=20$ ,  $b=0.34$ ,  $\alpha=0.59$ ,  $c=0.89$



R du Roussillon sur Manicot Balandran, longueur de la 1e UC 88 en position 1  
 Ajustement binomial + geometrique  
 $n=10$ ,  $b=0.65$ ,  $\alpha=0.83$ ,  $c=0.78$

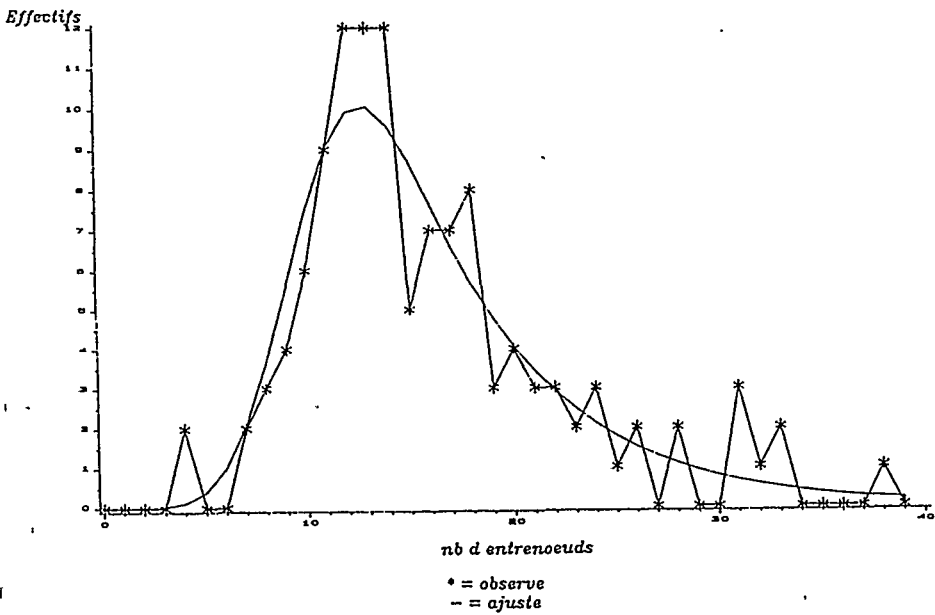


R du Roussillon sur Manicot Balandran, longueur de la 1e UC 88 en position 2  
 Ajustement binomial + geometrique  
 $n=11$ ,  $b=0.41$ ,  $\alpha=1$ ,  $c=0.77$

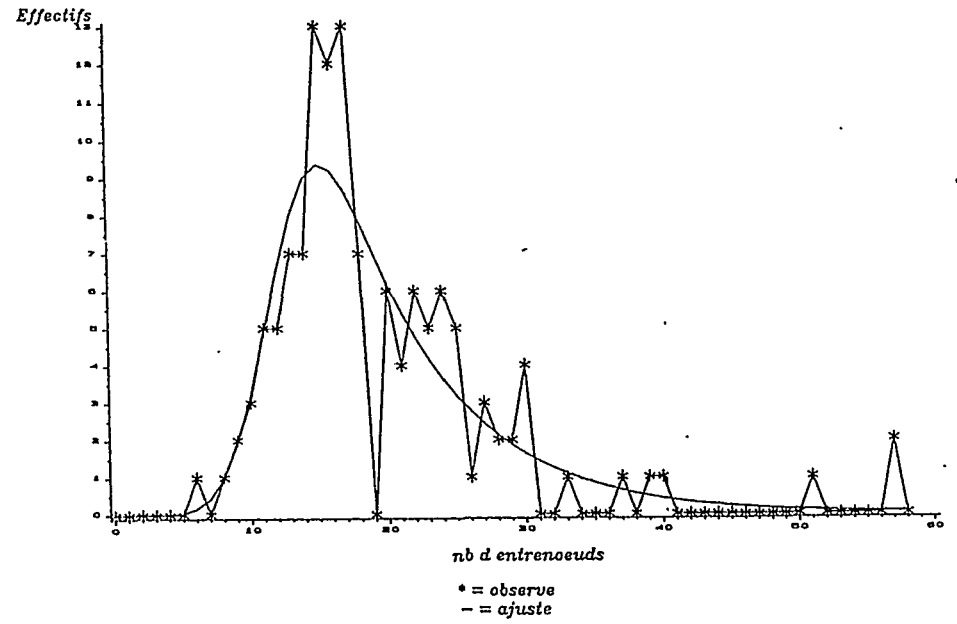




Ajustement binomial + geometrique  
 $n=30, b=0.35, \alpha=1, c=0.84$

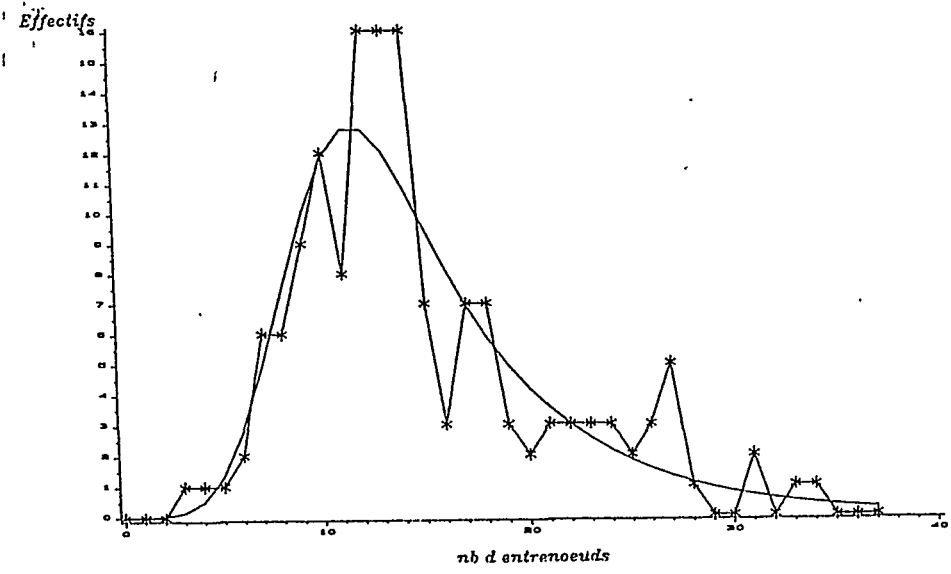


Ajustement binomial + geometrique  
 $n=30, b=0.41, \alpha=1, c=0.87$

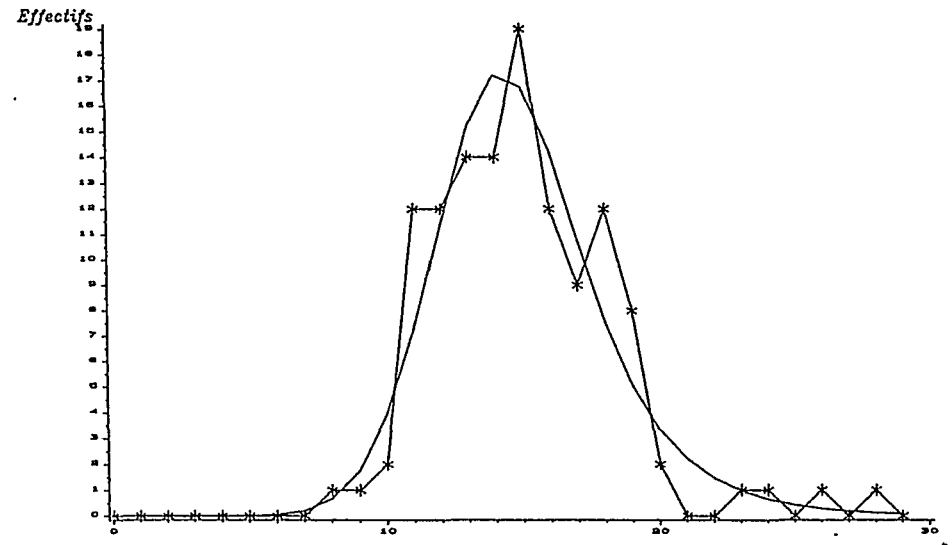


annexe 12 (suite)

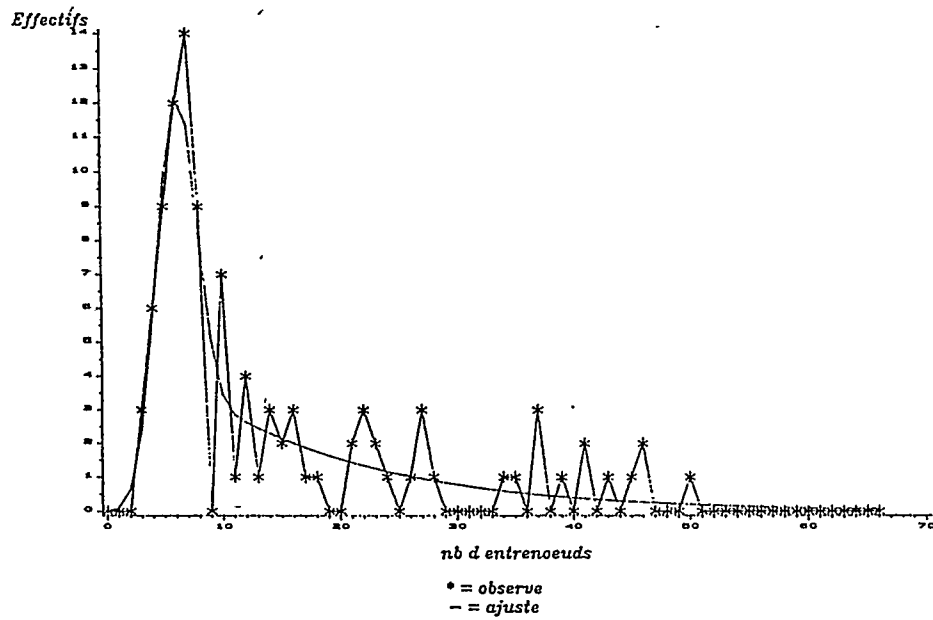
R du Roussillon sur Manicot Balandran arbre 1, longueur de la 2e UC 89 en position 1  
 Ajustement binomial + geometrique  
 $n=30, b=0.31, \alpha=1, c=0.84$



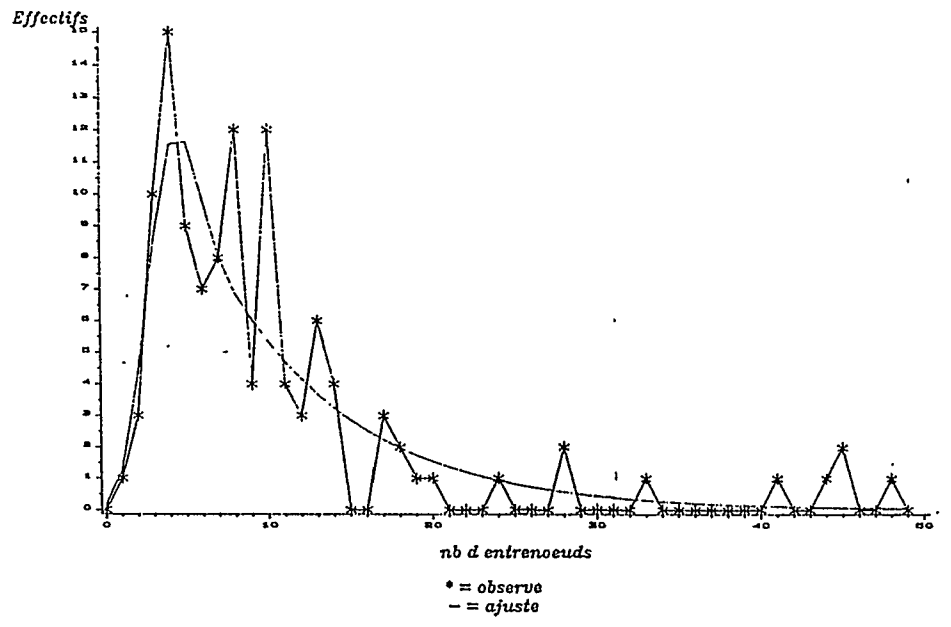
R du Roussillon sur Manicot Balandran arbre 1, longueur de la 2e UC 89 en position 1  
 Ajustement binomial + geometrique  
 $n=20, b=0.65, \alpha=1, c=0.66$



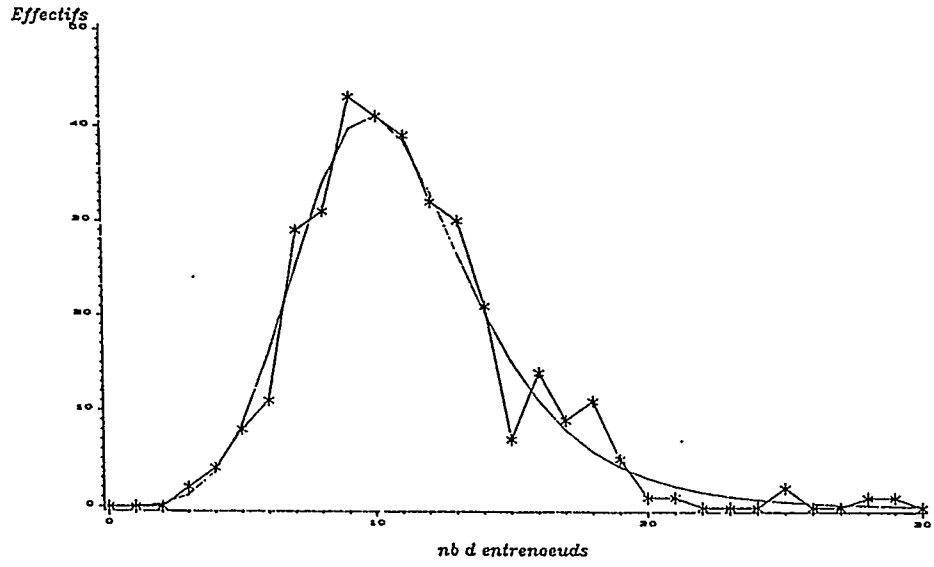
Modesto Torreilles, longueur de la 1e UC 89 en position 1  
 Ajustement binomial + geometrique  
 $n=11$ ,  $b=0.54$ ,  $\alpha=58$ ,  $c=0.93$



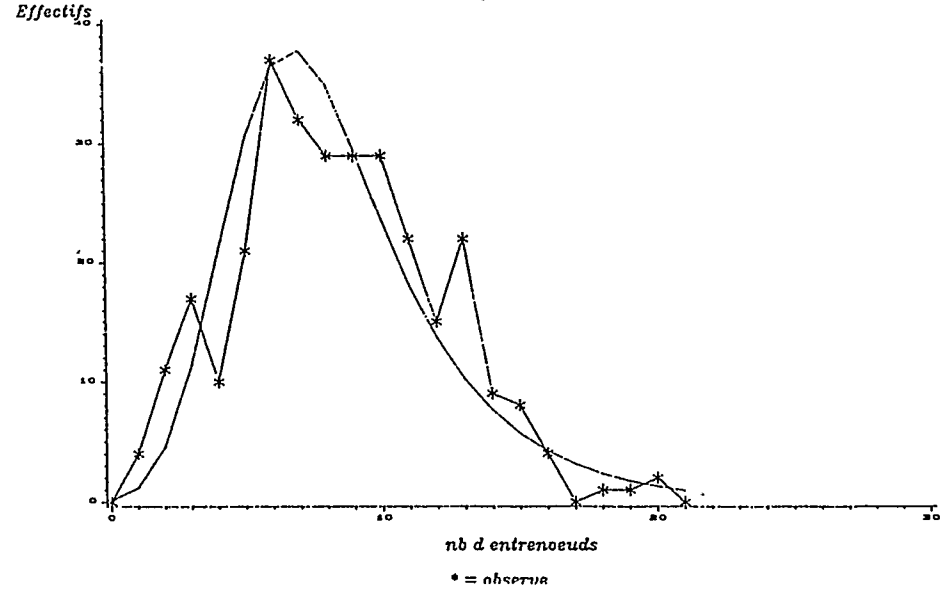
Ajustement binomial + geometrique  
 $n=11$ ,  $b=0.37$ ,  $\alpha=0.81$ ,  $c=0.88$



Modesto Torreilles, longueur de la 1e UC 89 en position 1  
 Ajustement binomial + geometrique  
 $n=26$ ,  $b=0.33$ ,  $\alpha=1$ ,  $c=0.72$



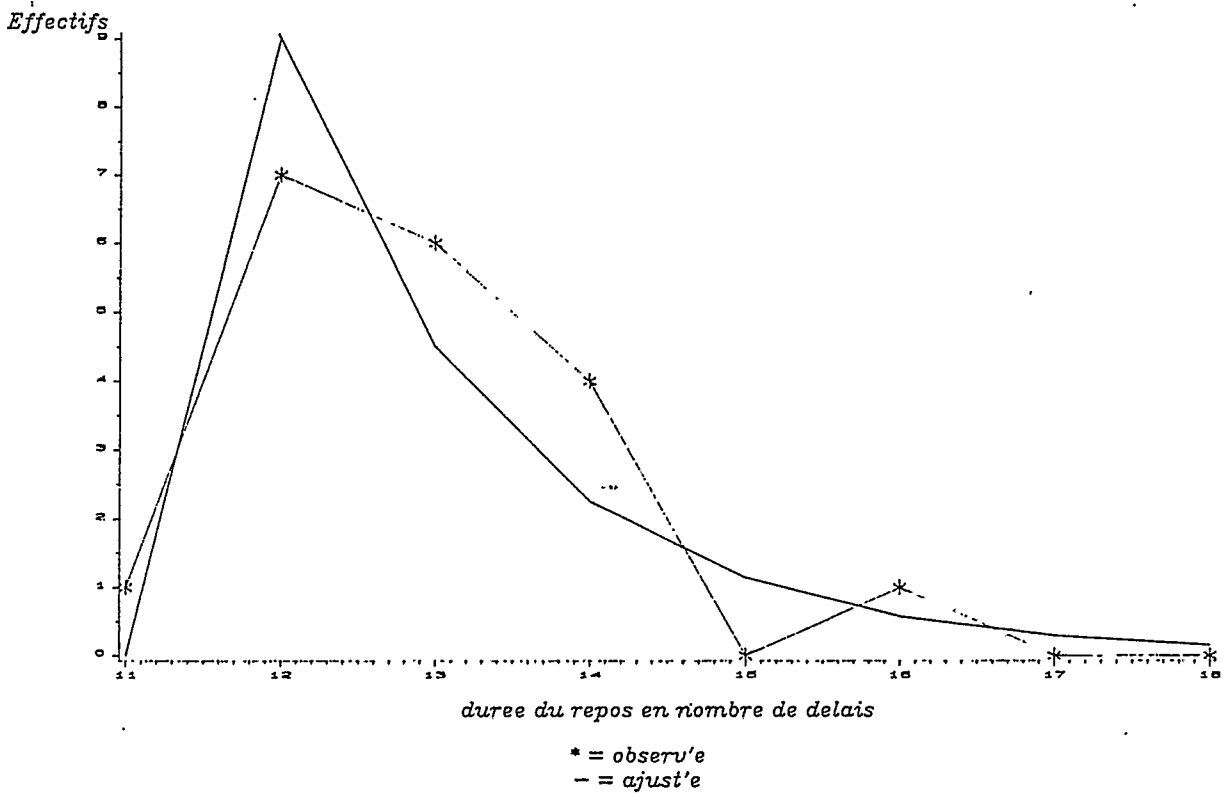
Modesto Torreilles, longueur de la 1e UC 89 en position 2  
 Ajustement binomial + geometrique  
 $n=26$ ,  $b=0.20$ ,  $\alpha=1$ ,  $c=0.73$



annexe 13

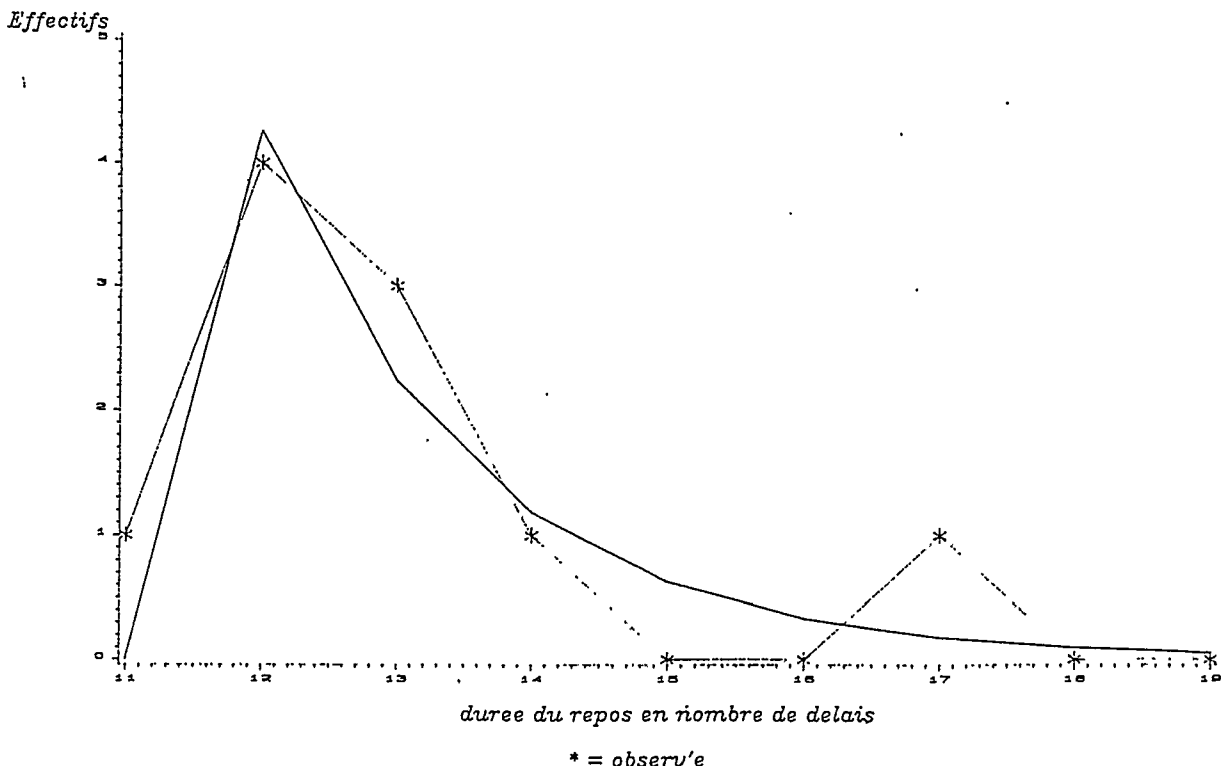
Duree du repos entre la 1e et la 2e UC R du Roussillon arbre 1

Arret de 1 UC 1 le 31 mars  
Ajustement geometrique  $c = 0.49 \pm 0.16$



Duree du repos entre la 1e et la 2e UC R du Roussillon arbre 1

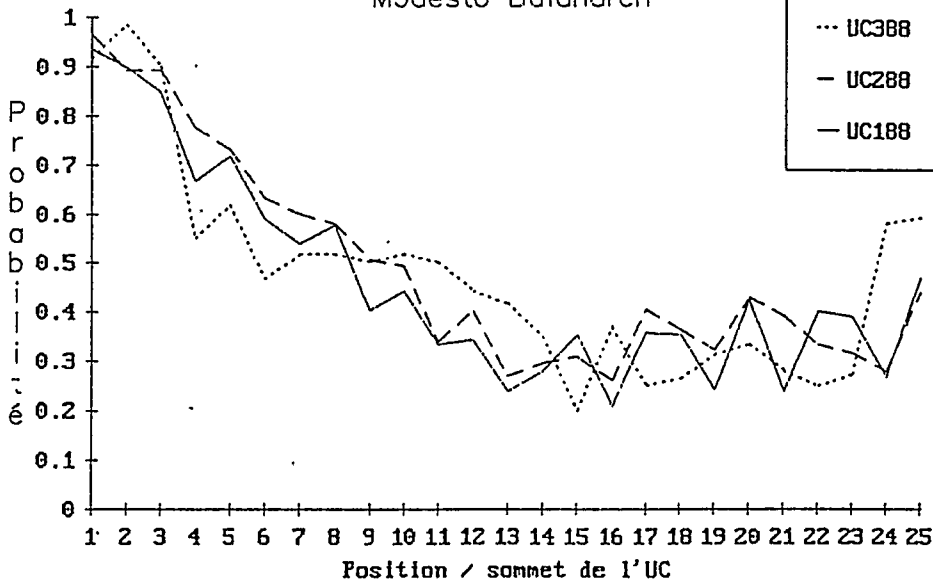
Arret de 1 UC 1 le 3 avril  
Ajustement geometrique  $c = 0.53 \pm 0.22$



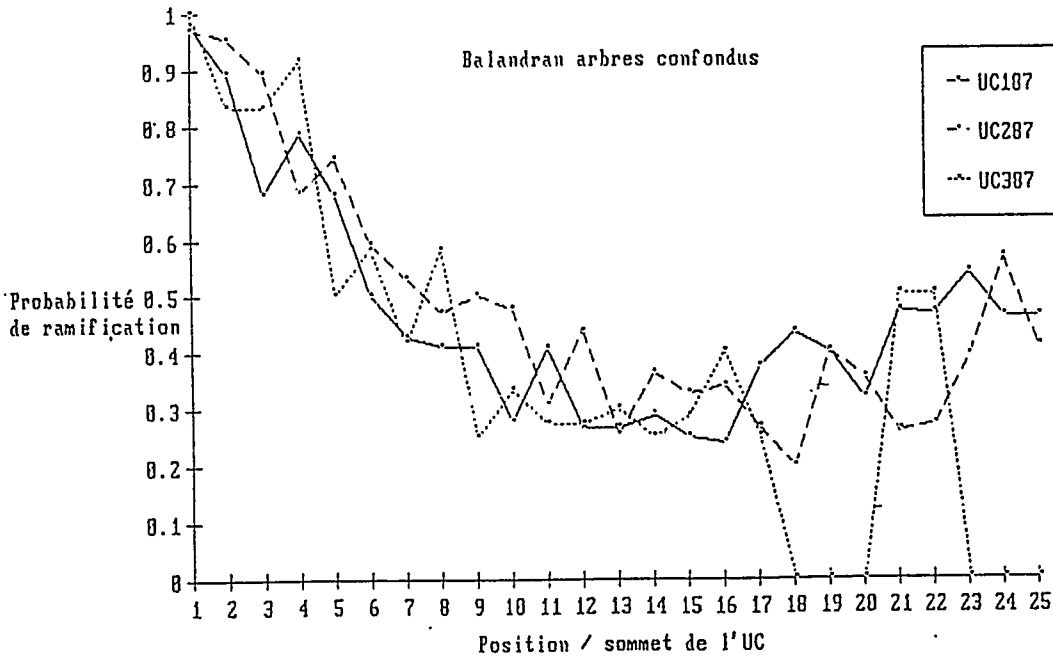
annexe 14 (suite)

PROBABILITE DE RAMIFICATION EN FONCTION DE LA POSITION

Modesto Balandran

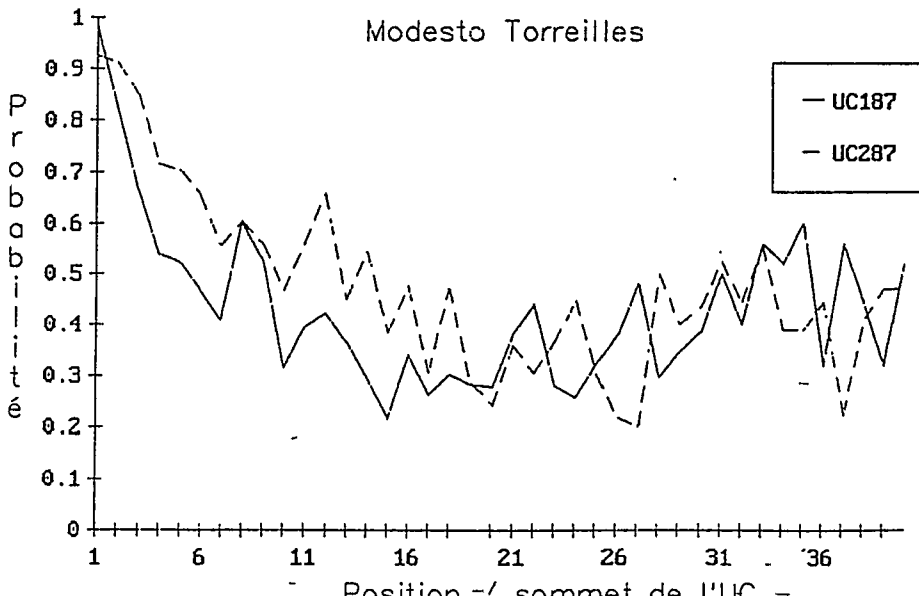


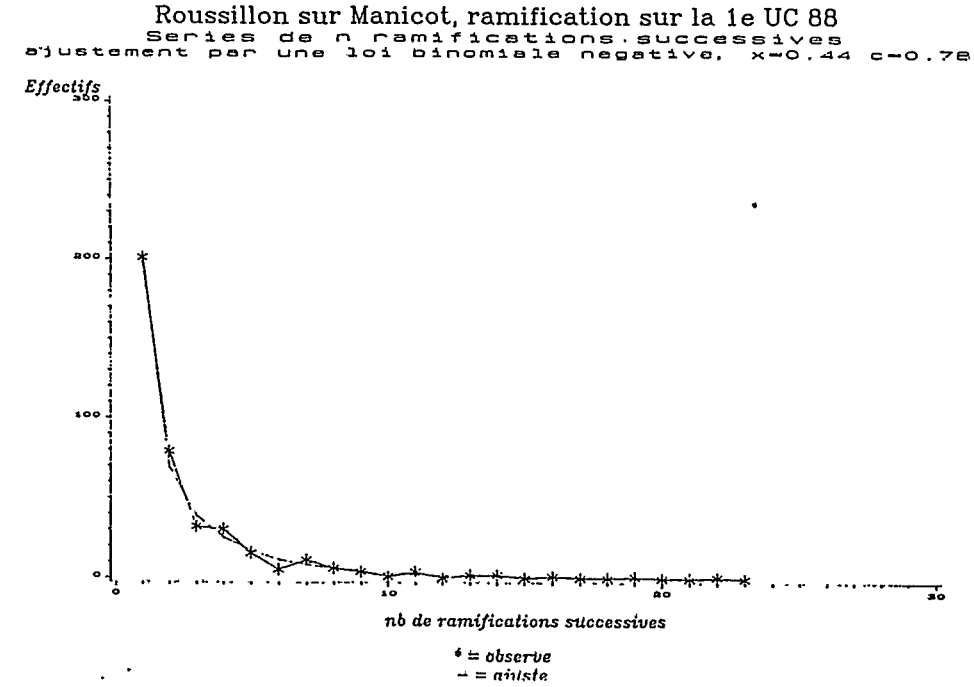
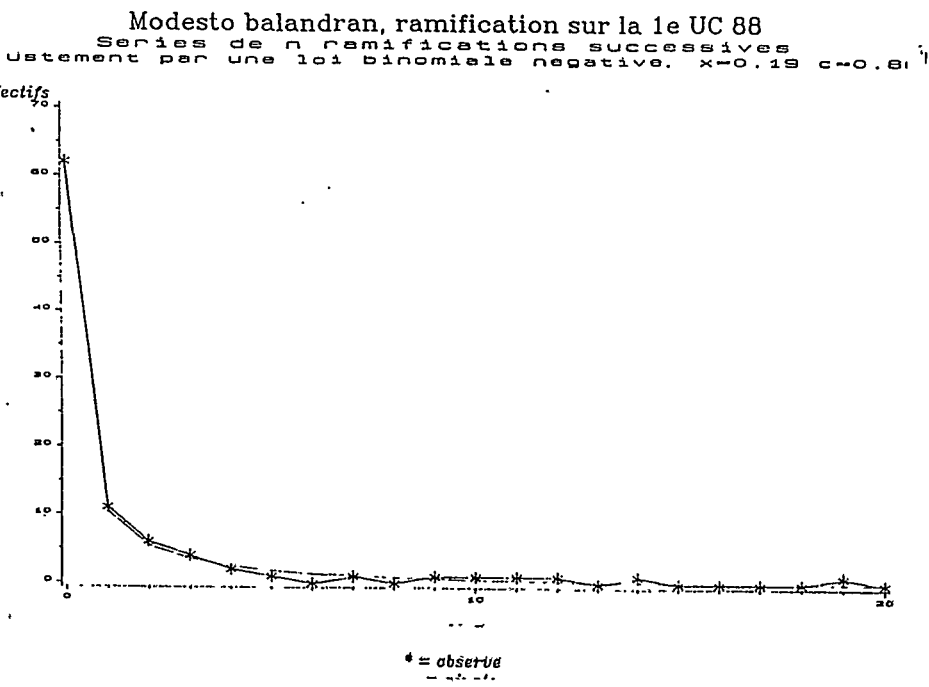
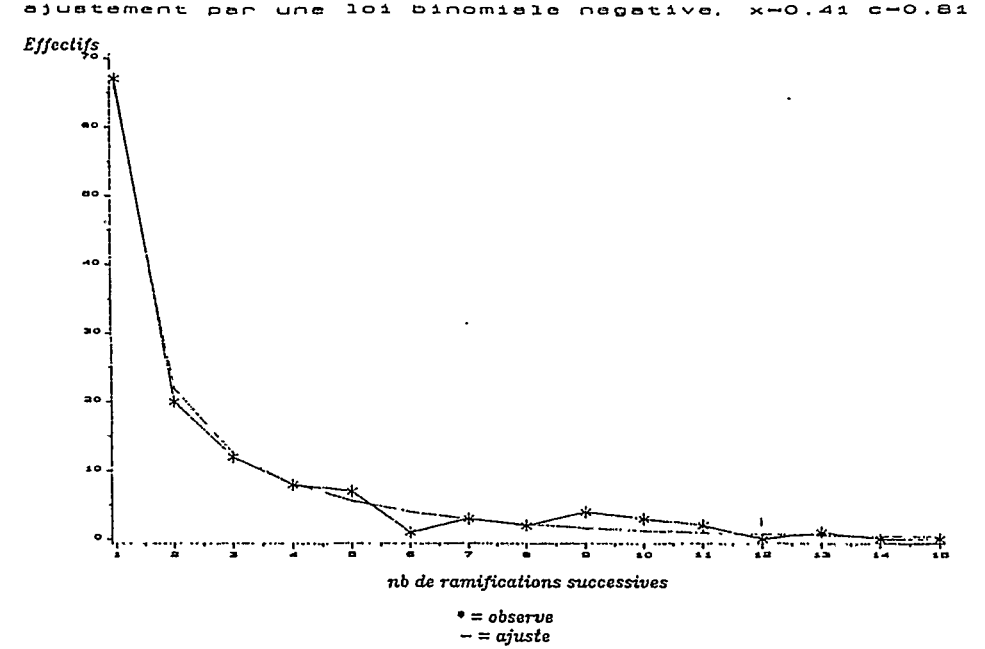
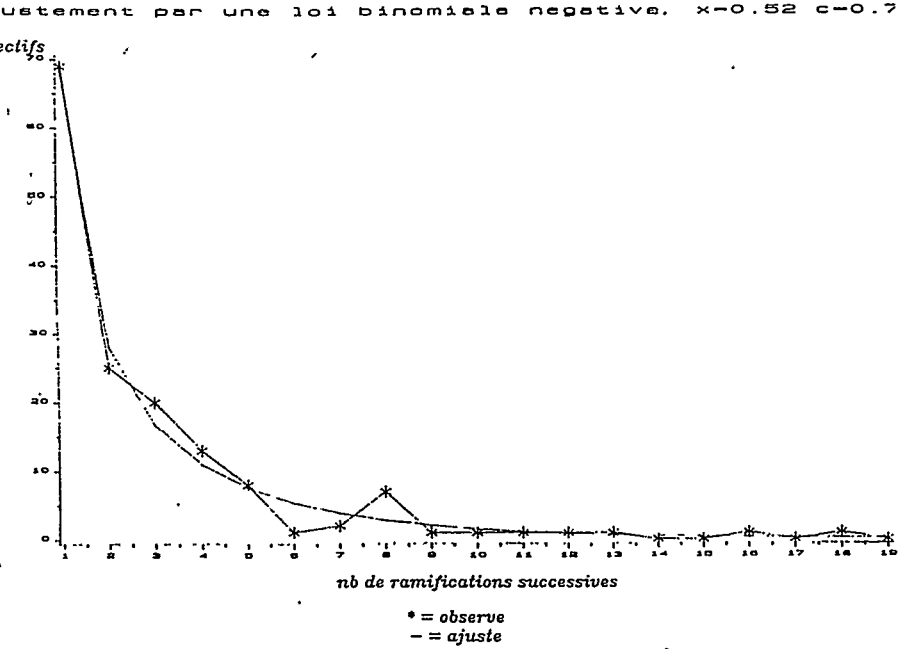
Balandran arbres confondus



PROBABILITE DE RAMIFICATION EN FONCTION DE LA POSITION

Modesto Torreilles

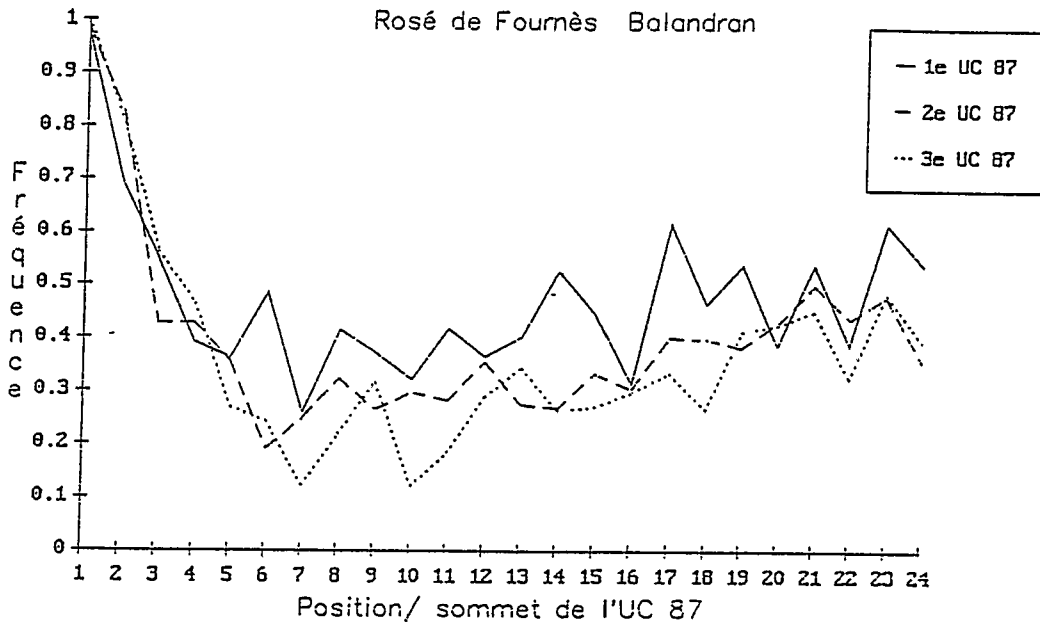




annexe 16

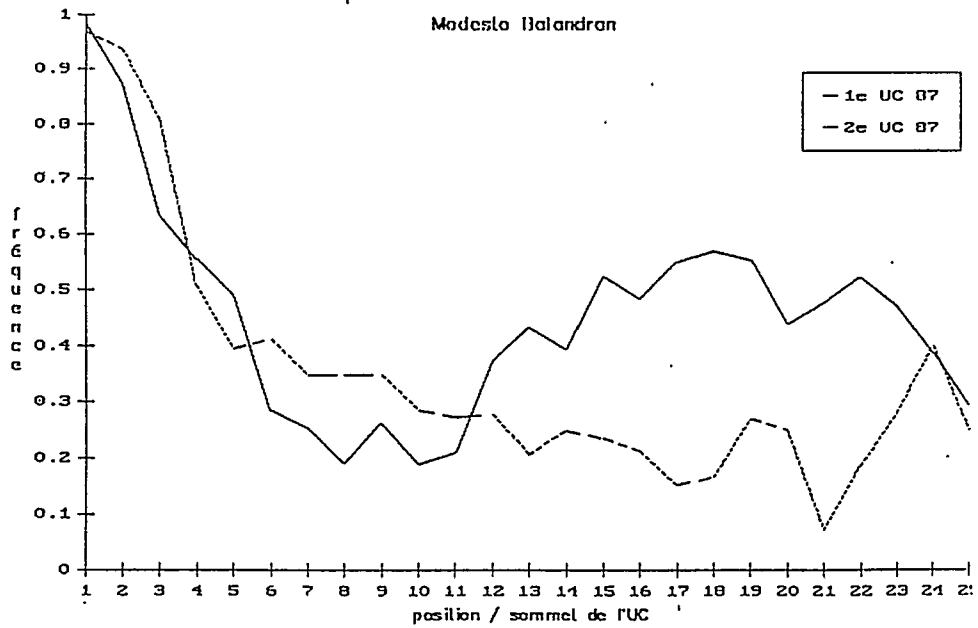
Proportion d'axillaires 88 encore vivants en 89

Rosé de Fournès Balandran

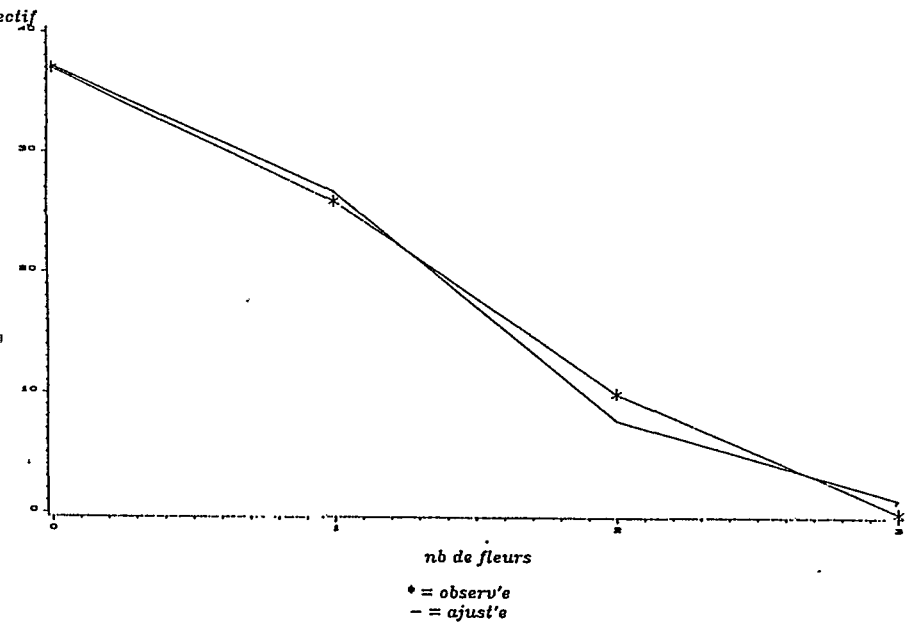


Proportion d'axillaires 88 encore vivants en 89

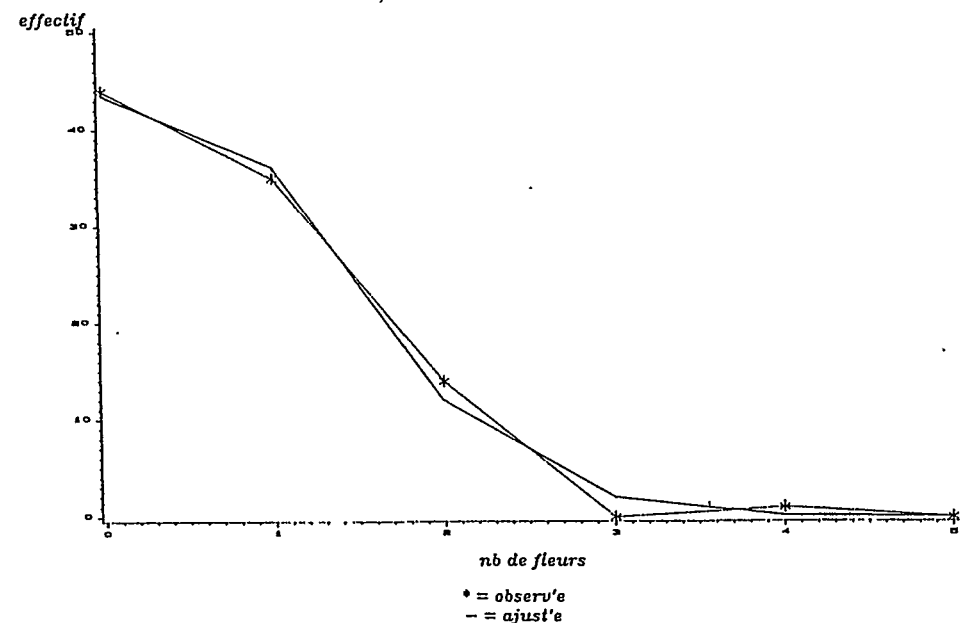
Modesto Balandran



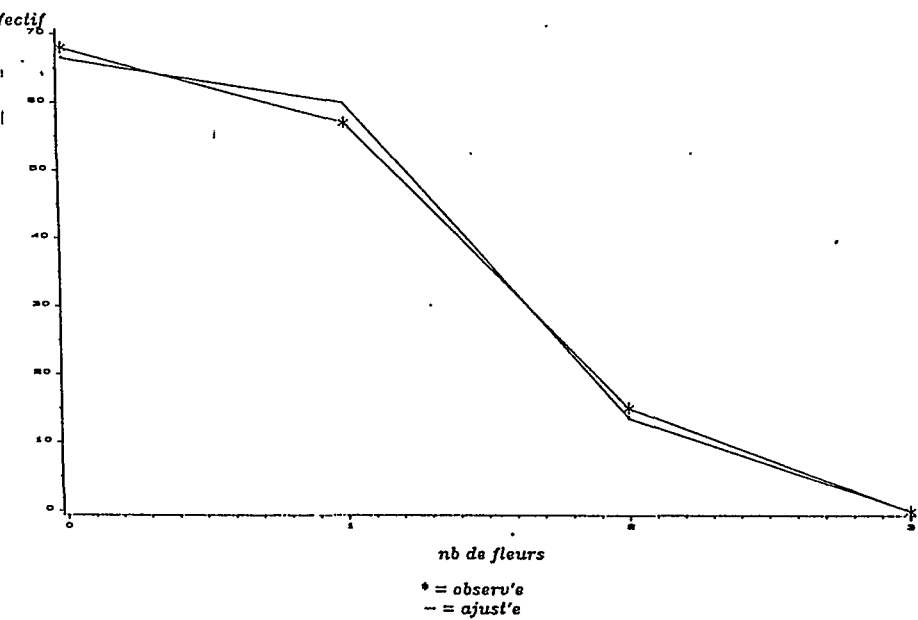
R du Roussillon sur Manicot, nombre de fleurs par noeud  
 1e UC 88, noeud en position 6  
 Ajustement binomial  $n=5$ ,  $b=0.13$



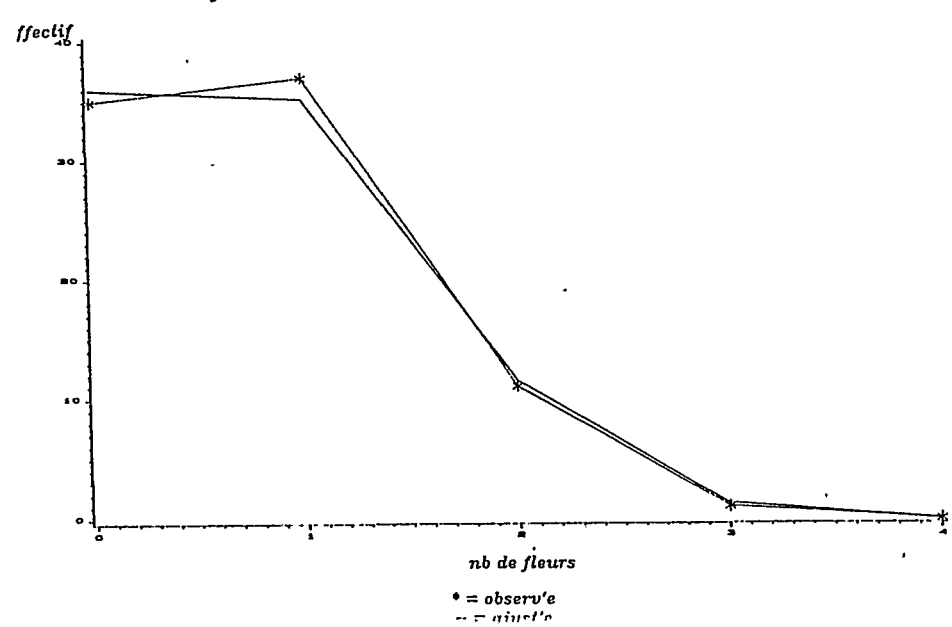
R du Roussillon sur Manicot, nombre de fleurs par noeud  
 1e UC 88, noeud en position 4  
 Ajustement binomial  $n=5$ ,  $b=0.14$



R du Roussillon sur Manicot, nombre de fleurs par noeud  
 2e UC 88, noeud en position 2  
 Ajustement binomial  $n=2$ ,  $b=0.31$



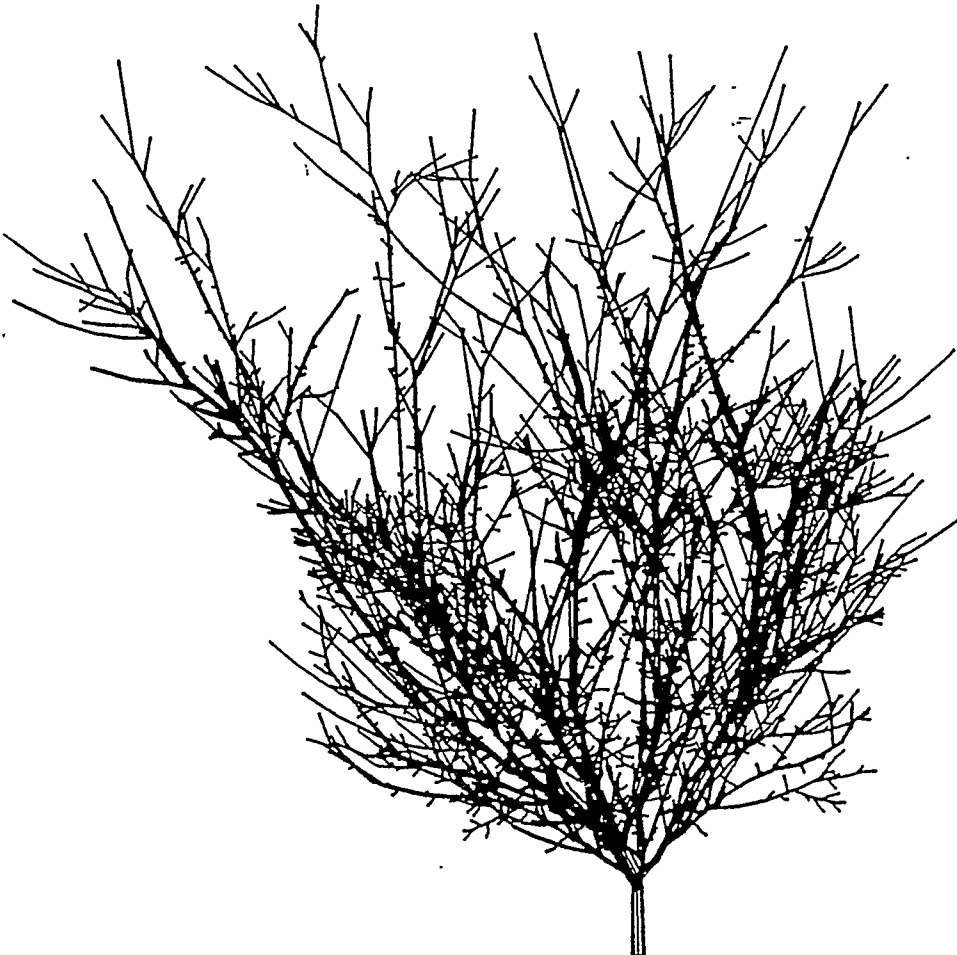
R du Roussillon sur Manicot, nombre de fleurs par noeud  
 1e UC 88, noeud en position 5  
 Ajustement binomial  $n=3$ ,  $b=0.25$



### IMAGES DE SIMULATION

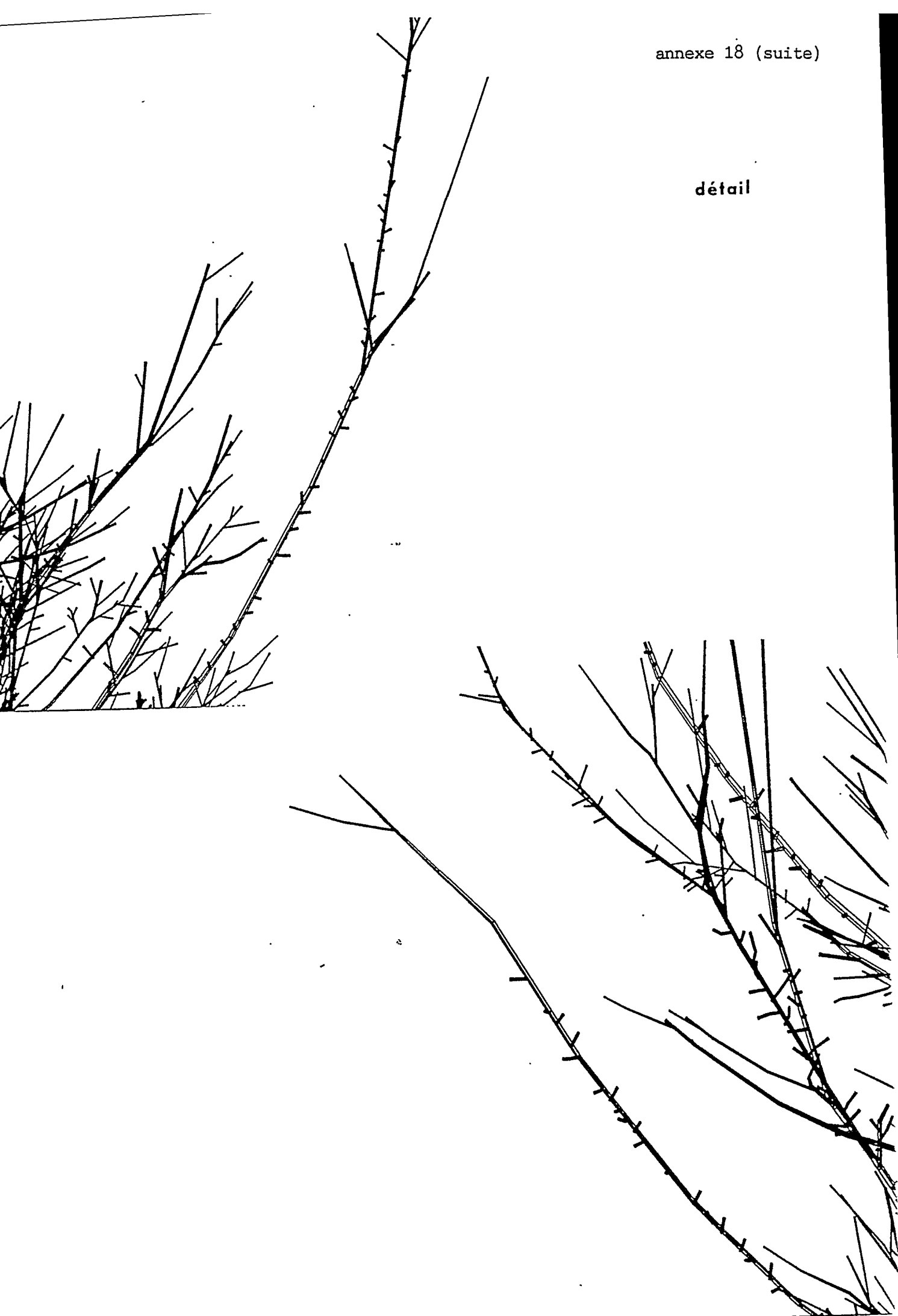
Le programme intègre les lois de fonctionnement des UC et le processus d'acrotonie. Le polycyclisme est également pris en compte, avec la probabilité 0.7 d'avoir une deuxième UC; le programme pourrait intégrer la troisième UC, mais uniquement avec la même probabilité 0.7; or elle est en réalité beaucoup plus faible (0.2); c'est pourquoi nous avons préféré ne pas la figurer.

Enfin il nous a manqué des données sur le vieillissement des axes qui n'a pas été précisément étudié et sur les anticipés de l'arbre jeune.

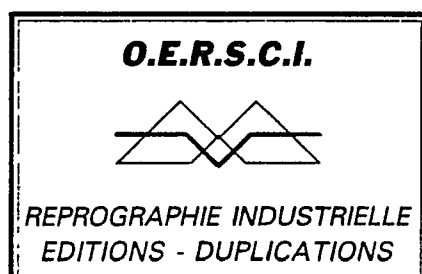




détail



*Office d'Édition de la Recherche Scientifique  
et Coopération Internationale*



*Parc Modulopolis H 1 Zone Euromédecine  
Montpellier 67.52.20.05*