

UNIVERSITE PARIS-SUD  
CENTRE D'ORSAY

INSTITUT NATIONAL DE  
LA RECHERCHE AGRONOMIQUE  
UNITE DE RECHERCHE SAD INA-PG

## THESE

présentée pour l'obtention du  
DIPLOME DE DOCTORAT

par  
Mireille NAVARRETE

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE  
**I. N. R. A.**  
Station de Bioclimatologie  
B.P. 91 - Domaine Saint-Paul  
84143 MONTFAVET CEDEX  
FRANCE

BIBLIOTHEQUE

22 MARS 1994  
BITH 20

**Variabilité au sein d'un peuplement de tomate sous serre  
et répercussions sur la conduite technique**

**Analyse expérimentale et étude des pratiques culturales des maraîchers**

soutenue le 2 Mars 1993 devant le jury composé de :

B. SAUGIER  
A. BAILLE  
B. HUBERT  
A. FLEURY  
M. SEBILLOTTE

Professeur à l'Université Paris XI  
Directeur de Recherches à l'INRA  
Directeur de Recherches à l'INRA  
Professeur à l'ENSH  
Professeur à l'INA-PG

Président  
Rapporteur  
Rapporteur  
Examinateur  
Examinateur

*"Tout en déplorant de devoir pousser plus avant la provocation,  
il faut bien reconnaître que j'adore les tomates.  
La tomate est l'aboutissement somptueux du savoir-faire divin  
dans le règne végétal.  
D'abord, elle est rouge (...). Le rouge de la tomate a  
la flamboyance assassine des couchers de soleil d'Istanbul.  
Je chante ici l'émouvance absolue du satin lumineux  
de sa peau transparente, impeccablement tendue sur les rondeurs  
de sa chair dense et tiède comme les joues des enfants (...)  
A l'instar de l'androgynie, jamais tout à fait mâle et pas vraiment  
femelle, la tomate n'est pas le fruit qu'on nous dit,  
ni le légume qu'on voudrait nous faire croire.  
Le charme envoûtant de son goût flibustier tient tout entier  
dans cette trouble ambivalence, sel acide et sucre amer,  
qui vous explose en bouche quand vous croquez dedans.  
La tomate se mérite."*

Pierre Desproges

## AVANT-PROPOS

*Avant de présenter ce travail, je voudrais remercier ici tous ceux qui ont contribué à sa réalisation.*

*Je tiens à remercier avant tout Michel SEBILLOTTE pour m'avoir confié ce sujet et m'avoir aidé à le mener à bon port. Il m'a aidé, depuis la conception des protocoles jusqu'à la rédaction du mémoire, à adopter une démarche pluridisciplinaire avec une constante rigueur scientifique. Il a été mon interlocuteur principal et je le remercie vivement de s'y être beaucoup investi, et d'être resté disponible même lorsque des tâches plus urgentes l'appelaient.*

*Je remercie Bernard SAUGIER d'avoir accepté de présider le jury et d'encadrer ce travail, pourtant éloigné de son domaine de recherches. Je remercie également Alain BAILLE et Bernard HUBERT pour le temps qu'ils ont consacré à l'examen de ce mémoire, et pour avoir accepté d'en être les rapporteurs, ainsi qu'André FLEURY pour sa participation au jury de thèse.*

*Cette étude a été financée par l'INRA. Les expérimentations présentées dans ce mémoire ont été réalisées sur le domaine expérimental d'Alénya. Je remercie Jacques PERYERE de m'avoir accueilli sur la station. Benoît JEANNEQUIN m'a apporté une aide constante dans la mise en oeuvre et le suivi des dispositifs expérimentaux, il m'a transmis un peu de ses connaissances d'expert et de son sens de l'observation des plantes, et je l'en remercie. Le savoir-faire du personnel de la station a été un atout précieux dans ce travail, où l'on recherchait des conditions proches de la pratique agricole. Je les remercie d'avoir accepté les contraintes, nombreuses, que cette étude imposait. Je remercie tous ceux, techniciens et stagiaires, qui ont contribué au recueil des données, souvent fastidieux, et plus particulièrement Michel TIRAN et Eric HOSTALNOU.*

*Au sein du SEFIP\*, j'ai bénéficié de discussions nombreuses avec des enseignants et des chercheurs de disciplines aussi variées que l'écophysiologie, l'agronomie ou la psychologie cognitive. La confrontation entre une culture maraîchère sous serre et leurs objets d'étude ou leurs méthodes d'investigation a été un élément déterminant pour expliciter mon travail et prendre du recul. Jean-Marc MEYNARD m'a aidé à affiner la problématique et à hiérarchiser les résultats, particulièrement au cours de la rédaction du mémoire où son regard neuf m'a été d'un grand secours. Je l'en remercie vivement.*

*Je souhaite également remercier les membres de la station de Bioclimatologie de l'INRA d'Avignon, et notamment Christian GARY, avec qui j'ai pu avoir des discussions toujours fructueuses.*

*Je terminerai en remerciant tous ceux et celles qui, par leur présence discrète mais efficace, m'ont apporté leur réconfort et m'ont aidé à garder la tête froide dans cette entreprise parfois un peu envahissante qu'est une thèse.*

*\* Groupe de Recherches "Systèmes de culture, Environnement et Filières de Production végétale, qui rassemble la Chaire d'Agronomie de l'INA-PG et les laboratoires associés INRA-Agronomie et INRA-SAD.*

# SOMMAIRE

---

## INTRODUCTION GENERALE

1

---

## PROBLEMATIQUE GENERALE

1. PRESENTATION GENERALE DE LA CULTURE	7
1.1 Le cycle de développement et les grandes étapes de la culture	7
1.2 Croissance du plant en pépinière	7
1.3 Itinéraire technique dans la serre	8
1.3.1 <i>Disposition en serre et plantation</i>	
1.3.2 <i>Les techniques de conduite du milieu</i>	
1.3.3 <i>Les techniques de conduite de la plante</i>	
1.4 Organisation du travail sur l'exploitation	12
2. LA DEMARCHE	12

**PREMIERE PARTIE : LES TECHNIQUES APPLIQUEES PLANTE PAR PLANTE  
DANS LES EXPLOITATIONS MARAICHERES**

<b>A - OBJECTIFS</b>	21
<b>B - MATERIELS ET METHODES</b>	22
1. LES VERBALISATIONS DU SERRISTE	22
1.1 Choix de l'échantillon	22
1.2 Période étudiée	23
1.3 Suivi des exploitations	23
2. L'OBSERVATION DES PLANTES	23
2.1 Choix de l'échantillon	24
2.2 Notations et mesures	25
<b>C - RESULTATS</b>	25
1. CARACTERISATION DU COLLECTIF DE TRAVAIL SUR LA CULTURE DE TOMATE	25
1.1 Les productions	25
1.2 La main d'oeuvre	26
1.3 Le collectif de travail sur la tomate	27
2. LES CONSIGNES VERBALISEES	27
2.1 La place de la conduite plante par plante dans les consignes	28
2.2 La prise en compte de l'état des plantes dans les opérations techniques	33
2.2.1 <i>Les indicateurs d'état du peuplement utilisés par le serriste dans l'élaboration de la consigne</i>	
2.2.2 <i>Les indicateurs utilisés par les ouvriers dans la conduite plante à plante</i>	
2.3 Cohérence de la consigne avec les objectifs de production	
L'exemple de la technique d'éclaircissage	34
2.4 Discussion	35
3. ORGANISATION DU TRAVAIL ET CONDUITE PLANTE A PLANTE	35
3.1 L'organisation du travail	
3.1.1 <i>Schéma d'organisation de la campagne</i>	
3.1.2 <i>Schéma d'organisation du chantier</i>	
3.2 Conséquences de l'organisation du travail sur la réalisation des consigne	39
3.3 Discussion générale sur le discours des serristes	41
4. OBSERVATION DE LA PRATIQUE D'ECLAIRCISSEMENT SUR LES PLANTES	42
4.1 Cohérence avec le discours du serriste	42
4.2 Les critères à l'origine de l'adaptation	43
4.3 Le poids de l'opérateur dans l'application de la consigne	44
<b>D - DISCUSSION ET CONCLUSION</b>	46

## SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1. ORGANOGENESE ET DEVELOPPEMENT	
1.1 Une structure étagée	51
1.2 Vitesse de développement	51
1.3 Durée de la période de floraison	51
	52
2. PRODUCTION DE MATIERE SECHE	
2.1 Interception du rayonnement et production de matière sèche	53
2.1.1 <i>Le rayonnement incident</i>	53
2.1.2 <i>L'indice foliaire</i>	
2.1.3 <i>contribution des différents étages de la plante à la photosynthèse</i>	
2.2 Deux techniques jouant sur l'interception du rayonnement : la densité de plantation et l'effeuillage	
2.2.1 <i>Effet de la densité de plantation</i>	58
2.2.2 <i>Effet de l'effeuillage</i>	
3. REPARTITION DE LA MATIERE SECHE DANS LA PLANTE	
3.1 Répartition des assimilats carbonés entre appareils végétatif et reproducteur	59
3.1.1 <i>Evolution de la répartition des assimilats au cours du cycle</i>	59
3.1.2 <i>Effet de l'état végétatif à la plantation</i>	
3.2 Répartition des assimilats carbonés au sein de l'appareil reproducteur	62
3.2.1 <i>Elaboration du rendement d'un bouquet</i>	
3.2.2 <i>Elaboration du rendement d'une plante</i>	
3.3 Effet des techniques de conduite de la plante sur le schéma d'élaboration du rendement et de la qualité	
3.3.1 <i>L'effeuillage</i>	65
3.3.2 <i>Les techniques de régulation du nombre de fruits</i>	
4. LA VARIABILITE INTRA-PEUPEMENT	
4.1 Mise en évidence de la variabilité et méthodes de caractérisation	67
4.2 Genèse et évolution de la variabilité	68
4.3 Effet de la variabilité intra-peuplement sur la production du couvert	69
	71

## DEUXIEME PARTIE : LA VARIABILITE INTRA-PEUPEMENT CARACTERISATION ET EFFETS SUR LA PRODUCTION

<b>A - OBJECTIFS ET DEMARCHE</b>	74
<b>B - MATERIELS ET METHODES</b>	76
1. VARIABILITE AVANT LA DISPOSITION EN SERRE	76
1.1 Dispositif	76
1.2 Notations et mesures	76
2. VARIABILITE APRES LA DISPOSITION EN SERRE	76
2.1 Objectifs et principes généraux des dispositifs	76
2.1.1 <i>Les traitements expérimentaux</i>	
2.1.2 <i>Les dispositifs expérimentaux</i>	80
2.2 Notations et mesures	
2.2.1 <i>Caractérisation précoce des traitements</i>	
2.2.2 <i>Vitesse de développement</i>	
2.2.3 <i>Caractérisation de l'appareil végétatif</i>	
2.2.4 <i>Elaboration du rendement</i>	
3. TRAITEMENT DES DONNEES	83
<b>C - RESULTATS</b>	84
1. LA VARIABILITE INTRA-PEUPEMENT AVANT LA DISPOSITION EN SERRE (EOO) ; CARACTERISATION ET ORIGINE	84
1.1 La variabilité du peuplement pendant la période en couche chauffante	84
1.1.1 <i>Caractérisation de la variabilité</i>	
1.1.2 <i>Déterminisme de la variabilité</i>	86
1.2 La variabilité du peuplement pendant la période en pépinière	
1.2.1 <i>Caractérisation de la variabilité</i>	
1.2.2 <i>Déterminisme de la variabilité</i>	89
1.3 Recherche d'indicateurs de tri objectifs et non destructifs	90
1.4 Discussion	
2. RECHERCHE D'UN INDICATEUR DE L'APPAREIL VEGETATIF	92
2.1 Relation à la floraison des bouquets 5 et 9	92
2.2 Relation au cours des effeuillages successifs	
2.2.1 <i>Relation étage par étage</i>	
2.2.2 <i>Relation à l'échelle de la plante</i>	93
2.3 Discussion sur la valeur de l'indicateur diamètre	

3. ETUDE DE LA VARIABILITE INTRA-PEUPEMENT EN SERRE :	95
3.1 Etude du dispositif <u>E<sub>0</sub></u>	95
3.1.1 <i>Caractérisation des types N-, No et N+ au début de la période de culture</i>	
3.1.2 <i>Caractérisation des types N-, No et N+ en cours de culture, en peuplement Homogène</i>	
3.1.3 <i>Effet de la variabilité intra-peuplement sur l'appareil végétatif et le rendement</i>	
3.2 Etude du dispositif <u>Plantation</u>	100
3.2.1 <i>Caractérisation du type Ro à la floraison des bouquets 5 et 9</i>	
3.2.2 <i>Caractérisation du type Ro en cours de culture, en peuplement Homogène</i>	
3.2.3 <i>Effet de la variabilité intra-peuplement sur l'appareil végétatif et le rendement</i>	
3.3 Discussion	104
3.3.1 <i>Les types de plantes et leur comportement en peuplement Homogène</i>	
3.3.2 <i>L'effet de la variabilité intra-peuplement</i>	
4. REFLEXION SUR LES CHOIX EXPERIMENTAUX ET LES DEUX DISPOSITIFS	108
4.1 Typologie et variabilité intra-type	108
4.2 La disposition alternée	109
4.3 Discussion sur les méthodes statistiques	110
D - CONCLUSION	111



# TROISIEME PARTIE : EFFET DE LA CONDUITE PLANTE PAR PLANTE SUR LA PRODUCTION D'UN PEUPEMENT HETEROGENE

<b>A - OBJECTIFS ET DEMARCHE</b>	114
<b>B - MATERIELS ET METHODES</b>	116
1. LES DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX	116
1.1 Les peuplements	116
1.2 Les techniques testées	116
1.2.1 <i>L'ablation de bouquet</i>	
1.2.2 <i>L'éclaircissage de fruits</i>	
1.2.3 <i>L'effeuillage</i>	
1.2.4 <i>Augmentation de la distance entre la plante Ro et ses voisines</i>	
1.3 Les dispositifs expérimentaux	120
1.3.1 <i>Essai Ablation</i>	
1.3.2 <i>Essai Techniques</i>	
1.3.3 <i>Essai Eclaircissage</i>	
2. NOTATIONS ET MESURES	121
3. TRAITEMENT DES DONNEES	121
<b>C - RESULTATS</b>	122
1. ECLAIRCISSEMENT	122
1.1 Effets de l'éclaircissage sur les individus	122
1.1.1 <i>Caractérisation des traitements</i>	
1.1.2 <i>Effets de l'Eclaircissage sur les plantes No</i>	
1.1.3 <i>Effets de l'Eclaircissage sur les plantes Ro</i>	
1.1.4 <i>Discussion</i>	
1.2 Effets sur le peuplement de la conduite plante à plante de l'éclaircissage	125
2. ABLATION DE BOUQUET	126
2.1 Effets de l'ablation sur la plante traitée	126
2.1.1 <i>Effets de l'ablation en peuplement Homogène</i>	
2.1.2 <i>Effets de l'ablation en peuplement Hétérogène</i>	
2.1.3 <i>Discussion</i>	
2.2 Effets sur le peuplement de la conduite plante à plante de l'ablation de bouquet	129
2.2.1 <i>Effets de l'ablation sur les plantes voisines</i>	
2.2.2 <i>Effets sur la production du peuplement</i>	

<b>3. EFFEUILLAGE</b>	130
3.1 Caractérisation des traitements	130
3.1.1 <i>Sur les plantes effeuillées No</i>	
3.1.2 <i>Sur les plantes voisines Ro</i>	
3.2 Effets de l'effeuillage sur la plante traitée (No)	132
3.2.1 <i>Analyse de l'effet Effeuillage</i>	
3.2.2 <i>Discussion</i>	
3.3 Effets sur le peuplement de la conduite plante à plante de l'effeuillage	135
3.3.1 <i>Effets sur les plantes voisines Ro</i>	
3.3.2 <i>Effets sur la production du peuplement</i>	
<b>4. AUGMENTATION DE LA DISTANCE SUR LE RANG ENTRE LA PLANTE Ro ET SES VOISINES</b>	136
4.1 Caractérisation du traitement	136
4.2 Effets du traitement DIST sur les individus (No et Ro)	137
4.2.1 <i>Effet sur les plantes Ro</i>	
4.2.2 <i>Effet sur les plantes No</i>	
4.2.3 <i>Discussion</i>	
4.3 Effets du traitement Distance sur le peuplement	139
<b>D - DISCUSSION GENERALE ET CONCLUSION</b>	140
<b>CONCLUSION GENERALE</b>	144

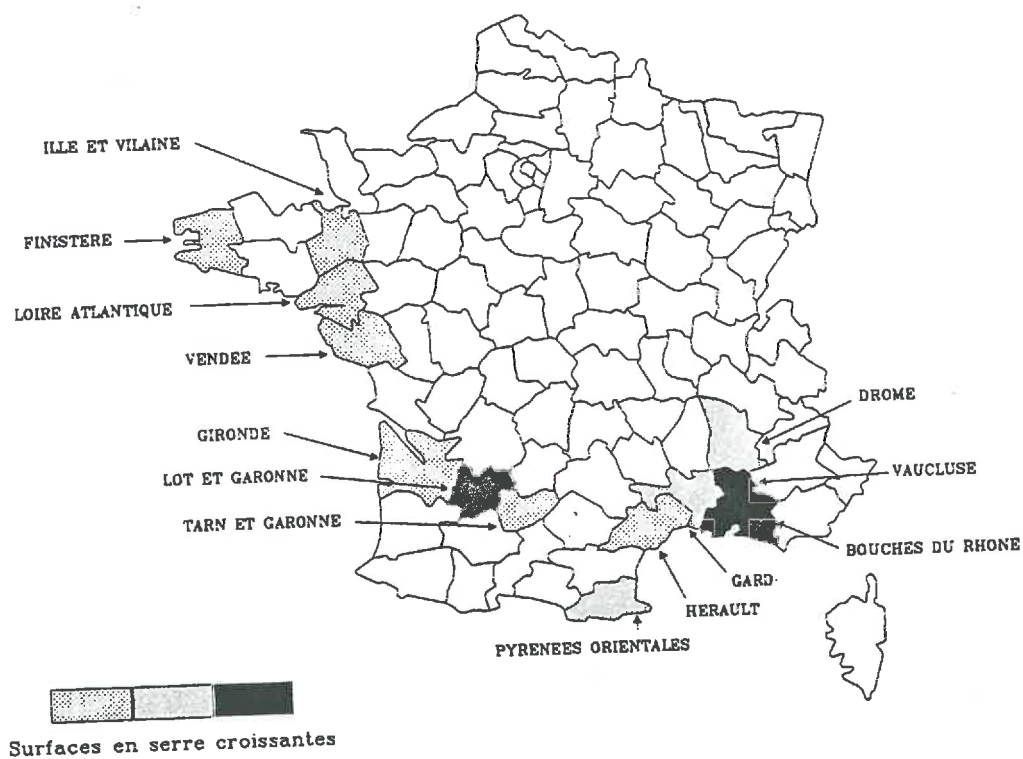
---

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

## ANNEXES

**INTRODUCTION GENERALE**

FIGURE 1 : LES GRANDES REGIONS PRODUCTRICES DE TOMATE EN FRANCE



Sources : CTIFL 1990

TABLEAU 1 : IMPORTANCE DES DIFFERENTS TYPES D'ABRIS DANS LES PRINCIPALES REGIONS DE FRANCE

Régions	Pourcentage de la SAU		
	Plein-champ	Abris plastiques	Serres en Verre
Bretagne	99.4	0.4	0.3
Languedoc-Roussillon	94.6	4.6	0.8
Provence-Alpes Côte d'Azur	84.8	13.5	1.7

Sources : CTIFL 1990

**La tomate est une culture importante dans le secteur des productions maraîchères.** Elle est en tonnage, le premier légume cultivé dans la CEE (11,4 millions de tonnes). La production française (720 000 tonnes) se situe au quatrième rang européen ; elle est majoritairement destinée au marché du frais (60%), contre 40% pour les industries de transformation (conserveries,...). Elle est cultivée principalement dans 6 régions, et notamment dans le Sud de la France : Sud-Est (48% de la production nationale), Languedoc-Roussillon (21%), Sud-Ouest (18%) ; la Bretagne et les Pays de Loire ne représentent chacun que 5% de la production nationale (figure 1). La culture de tomate dans le Nord de la France a surtout lieu dans le cadre du maraîchage péri-urbain. Les différentes régions se distinguent par le pourcentage de cultures de plein champ et sous abris (tableau 1).

**La tomate est une production spéculative ;** elle n'est soumise à aucun quota et ne bénéficie pas de prix garanti. Le cours s'établit donc en fonction de l'offre et de la demande. Comme la production en frais est périssable, la majorité des échanges commerciaux se limitent à l'Europe et au bassin méditerranéen. Depuis quelques années, la production a connu un essor dans quelques pays voisins, du fait de l'augmentation des surfaces de serres en verre (Pays-Bas dans les années 80) et d'abris plastiques (Espagne, Portugal et Maroc, plus récemment). Bien que la France soit a priori bien placée dans la compétition avec les Pays-Bas, grâce aux conditions climatiques plus favorables en hiver, les rendements hollandais sont nettement supérieurs, du fait d'une meilleure maîtrise des techniques de production sous serre, résultat d'une longue tradition dans ce pays. De même, les pays du bassin méditerranéen sont particulièrement compétitifs grâce aux conditions climatiques favorables, et au faible coût de la main d'oeuvre pour le Maroc et le Portugal.

Les conditions actuelles de surproduction, en particulier sous serre, imposent aux maraîchers français d'accentuer leurs efforts en matière de qualité et de réduire d'une part leurs coûts de production (chauffage, main d'oeuvre...), et d'autre part le poids des investissements, en allongeant la période de production.

La production de tomate en France est étalée sur toute l'année, grâce à une large gamme de systèmes de culture (tableau 2) et notamment à la complémentarité des productions de plein champ et des cultures protégées<sup>1</sup>. Ces dernières assurent une production d'autant plus précoce que le milieu sous l'abri est mieux contrôlé (tableau 3), ce qui nécessite des investissements variables, mais relativement élevés (jusqu'à 400 francs par m<sup>2</sup> pour une serre).

Pour les cultures protégées, la maîtrise du milieu concerne deux facteurs : la température ambiante et l'alimentation en eau et en éléments minéraux (tableau 2).

- **La température** est diversement maîtrisée. Les abris plastiques permettent d'élever la température ambiante, mais de façon très variable suivant la saison et le climat extérieur. Sur certains abris plastiques plus étanches, il est possible de fixer un seuil minimal, qui demeure relativement bas à cause des moyens de chauffage limités. Dans une serre, des systèmes complexes (chauffage, aération...) permettent de s'approcher des conditions optimales de température pour les plantes. Cependant, les systèmes sont beaucoup plus performants en chauffage qu'en refroidissement.

- **La maîtrise de la nutrition hydrique et minérale** est en adéquation avec le degré de maîtrise de la température. Dans les abris où la température est mal contrôlée, l'apport d'eau

<sup>1</sup> L'expression "cultures protégées" recouvre l'ensemble des cultures sous abris, quels que soient le matériau utilisé (plastique, verre...) et le degré d'étanchéité de l'abri. Dans la suite du mémoire, la serre en verre est appelée par simplification "serre" ; le terme "abris plastiques" désignant tous les autres types d'abris (tunnels et chapelles, chauffés ou non).

**TABLEAU 2 : DIVERSITE DES MOYENS DE MAITRISE DU CLIMAT DANS LES SYSTEMES DE CULTURE**

Maîtrise de la température

	Pas de contrôle	Hors-gel	Chauffage modéré	Climatisation
Sol Pas d'irrigation	Plein champ			
Sol Irrigation		Tunnels plastiques		
Substrat non inerte (tourbe...) Irrigation fertilisante			Tunnels et multichapelles plastiques	
Substrat inerte (laine de roche...) Irrigation fertilisante				Serres en verre

Maîtrise de la nutrition hydrique et minérale

**TABLEAU 3 : DIVERSITE DES INVESTISSEMENTS ET DES MODES DE PRODUCTION**

Systèmes de culture	Investissements pour l'abris (F/m <sup>2</sup> )	Calendriers de culture	Rendement tMF/ha
Plein champ		S: jan-fév R: juin-août	50-80
Abris plastique Plein sol	60-120	S: jan R: mai-août	120-140
Abris plastique Hors-sol	80-140	S: déc R: avr-août	180-200
Serre Verre Hors-sol	400	S: août-nov R: déc-août	300-350

S: Semis R: Récolte

et d'éléments minéraux ne diffère pas fondamentalement par rapport au champ : l'engrais est apporté dans le sol en début de culture, l'irrigation se fait par ruissellement. Un meilleur contrôle de la température s'accompagne généralement du passage à la culture hors-sol, sur des substrats artificiels plus ou moins inertes, et à l'irrigation fertilisante localisée. Ceci correspond à une levée progressive des contraintes.

Suivant le système de culture adopté, les objectifs de production varient à la fois en rendement et en qualité :

- la production de plein champ, principalement destinée aux industries de transformation, est souvent très mécanisée, en particulier pour la récolte (qui est donc groupée).
- les cultures sous abris assurent une production plus précoce et étalée dans le temps. A cause de leurs coûts de production élevés, elles ne sont destinées qu'à la consommation en frais, pour laquelle la qualité visuelle est un élément fondamental. Jusqu'à il y a 4-5 ans, le cours de la tomate était élevé en hiver (annexe 1a) et l'essentiel du chiffre d'affaire sous serre était réalisé avant le 15 mai (Codron, 1986). Aujourd'hui, le marché est très instable ; les cours varient fortement d'un mois à l'autre et de façon imprévisible. Le niveau élevé des investissements pour les serres a rendu nécessaire un allongement de la période de récolte, par des semis plus précoces et le maintien de la culture jusqu'à l'été.

Les besoins en main d'oeuvre pour la culture de tomate sous serre sont parmi les plus élevés en agriculture (4 à 6 ouvriers par hectare, contre 1 ouvrier pour environ 100 hectares en grande culture). Les frais de personnel représentent le quart des coûts de production (annexe 1b). Il n'existe donc pas d'exploitation familiale au sens strict et les salariés permanents et temporaires forment l'essentiel du collectif de travail.

Face à la crise économique, la tendance des dernières années était à la réduction des charges en main d'oeuvre, en employant du personnel de moins en moins qualifié, peu rémunéré, à rotation rapide et souvent immigré. La prise de conscience de l'importance de la qualité du travail et l'apparition de nouveaux objectifs (qualité de la production) entraînent aujourd'hui des changements dans la politique d'embauche et de formation du personnel.

La culture de la tomate sous serre fait appel à deux grands types de techniques :

- les techniques de maîtrise du milieu, qui jouent indirectement sur les plantes en modifiant les états du milieu (maîtrise du climat, ferti-irrigation, lutte contre les maladies et les parasites),
- les techniques de conduite de la plante, où l'on intervient directement sur les plantes (palissage, taille...).

Les techniques de maîtrise du milieu ont beaucoup évolué depuis une vingtaine d'années. Elles sont aujourd'hui automatisées et gérées à partir d'une "salle de contrôle". L'irrigation fertilisante est toujours gérée par un automate programmable, parce qu'elle est fractionnée tout au long de la journée, et exigerait, si elle était manuelle, des interventions très fréquentes. Un nombre croissant d'exploitations possède également un "ordinateur climatique", qui gère simultanément la ferti-irrigation et le climat de la serre. De nombreux modèles biophysiques permettent de fixer les paramètres climatiques de la serre (température, besoins en eau, teneur en CO<sub>2</sub>, hygrométrie) en fonction du climat extérieur et des objectifs du maraîcher. C'est parce que tous ces paramètres peuvent être enregistrés en continu par des capteurs physiques que

l'automatisation du contrôle climatique s'est fortement développée. Les logiciels de contrôle sont conçus dans un objectif de production maximale, éventuellement avec une optimisation sur des données économiques simples (coût de chauffage).

Actuellement, sur les exploitations maraîchères, la fertilisation n'est pas gérée par ordinateur, faute d'indicateur physique ou biologique satisfaisant : c'est le maraîcher qui fixe les caractéristiques de la solution nutritive (composition, pH, conductivité électrique) à partir de normes qui varient en fonction du stade de la culture et d'observations dans la serre.

Ce n'est donc pas la gestion du milieu qui justifie l'importante charge en travail, mais le nombre très élevé d'interventions manuelles, qui se répètent sur une longue période. Ces opérations (Cf détail p.9) ont pour objectif, soit de tuteurer la plante (palissage, accrochage des bouquets), soit de tailler les différents organes (feuilles, bourgeons, fleurs). La modélisation de l'effet des techniques manuelles sur l'élaboration de la production est beaucoup moins avancée que pour les techniques automatisées. Le maraîcher choisit les modalités techniques à partir de normes issues de diverses expérimentations, mais qu'il est amené à adapter après avoir observé l'état des plantes. C'est là que s'exprime fortement son savoir-faire, terme fréquemment utilisé pour exprimer le caractère empirique des connaissances mobilisées par les maraîchers dans leurs pratiques culturelles.

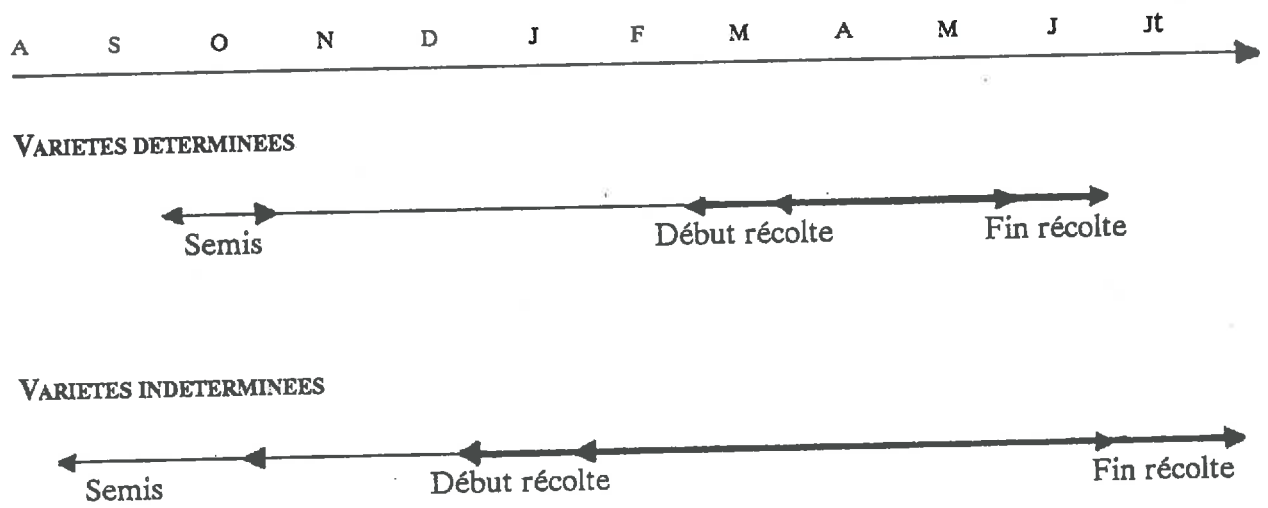
C'est la diversité des problèmes rencontrés dans la culture de la tomate sous serre qui explique que des chercheurs de disciplines très variées soient amenés à l'étudier : bioclimatologistes pour la caractérisation et la gestion du climat de la serre, agronomes pour la gestion des différentes techniques, économistes pour l'influence des facteurs de production, sociologues pour la gestion du personnel et sa prise en compte dans le processus de production. Pour les maraîchers, la difficulté de la situation actuelle tient au fait qu'ils doivent gérer simultanément tous ces domaines, dans un contexte économique très peu stable, où ils sont amenés à réfléchir au rôle de chacun de ces facteurs afin de réduire les coûts de production.

La culture sous serre est souvent comparée aux systèmes de production industriels : niveau élevé des investissements, abondance de la main d'oeuvre salariée, utilisation de techniques sophistiquées (Baille, 1991). Pourtant, bien que la serre soit un milieu très artificialisé, elle ne se conduit pas comme une usine : malgré les systèmes informatisés, l'oeil du maraîcher reste un outil fondamental dans la prise de décision. La confrontation entre, d'une part, les énormes progrès réalisés dans l'optimisation des paramètres du milieu, et d'autre part, le mode de raisonnement des techniques manuelles, laissent penser que ces techniques manuelles auront un poids grandissant dans l'élaboration de la production.

**Il semble donc nécessaire d'initier une réflexion sur les savoir-faire mis en jeu dans la réalisation des techniques manuelles et leurs conséquences sur la production, sans quoi l'amélioration des conditions de milieu risque de rester sans effet sur la production, dans les exploitations maraîchères.**



FIGURE 2 : CYCLES CULTURAUX DES VARIETES DETERMINEES ET INDETERMINEES



Pour étudier l'effet des techniques manuelles sur l'élaboration de la production, il fallait se placer dans une situation où leurs effets seraient exacerbés. C'est pourquoi nous avons travaillé sur une variété qui exige un nombre élevé d'opérations manuelles, répétées sur une longue période : **une variété à croissance indéterminée**<sup>2</sup>. En effet, les variétés déterminées et indéterminées correspondent à des calendriers culturaux très différents (figure 2). Les variétés déterminées (ex: Prisca) ont un cycle court, elles se déterminent définitivement au bout de 5-6 mois et leur production est très groupée (6 à 7 semaines de forte production hebdomadaire). Avec les variétés indéterminées (ex: Capello), la culture s'étend sur 9 à 11 mois ce qui correspond à la production de 20 à 30 bouquets, et la récolte dure 6 à 8 mois. Le nombre d'interventions est donc beaucoup plus élevé. D'autre part, la longueur du cycle cultural, étalé sur plusieurs saisons correspondant à des conditions climatiques très différentes, fait que l'état des plantes fluctue beaucoup au cours du temps. Cette combinaison de facteurs est donc favorable pour étudier la façon dont les maraîchers apprécient l'état des plantes et adaptent en conséquence les techniques manuelles.

---

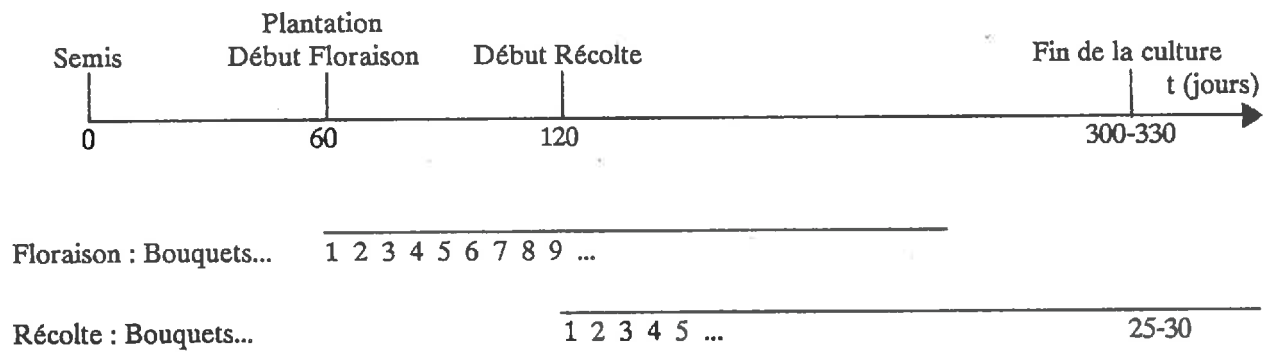
<sup>2</sup> Les variétés adaptées à la culture sous serre se répartissent en deux grandes familles.

- Les variétés déterminées produisent généralement un bouquet floral toutes les 2 à 3 feuilles, mais la croissance sur la tige principale s'arrête au bout de 2 à 4 sympodes. Le bourgeon apical se transforme en inflorescence et la croissance repart sur une ramification.
- Les variétés indéterminées se caractérisent par un empilage continu de nouveaux sympodes, chacun étant dans l'axe du précédent, d'où l'impression de croissance sur une tige unique.

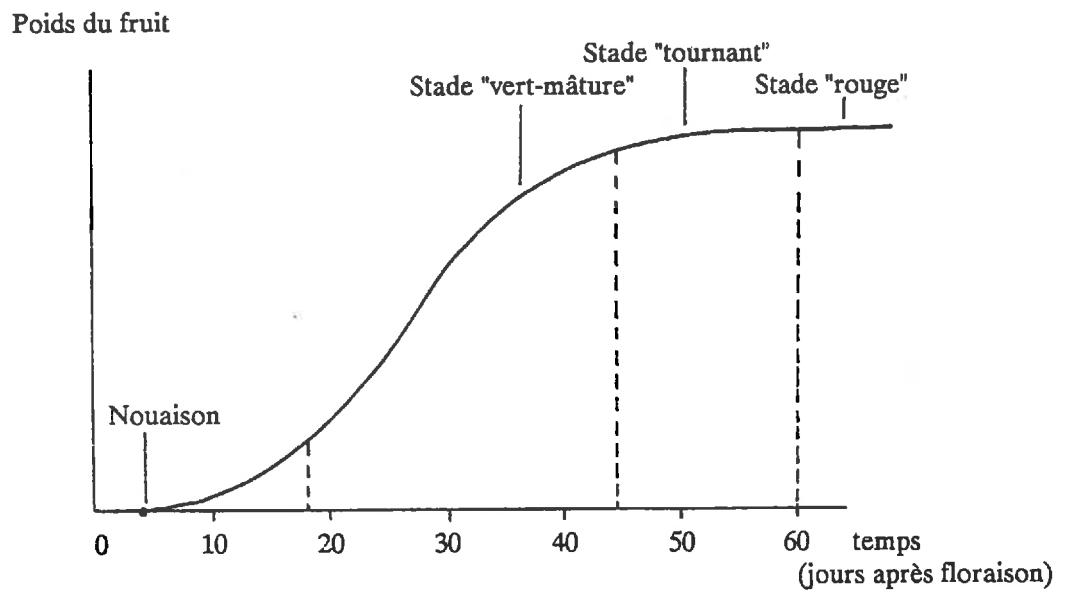
**PROBLEMATIQUE GENERALE**

FIGURE 3 : CYCLE DE DEVELOPPEMENT D'UN PLANT DE TOMATE INDETERMINEE

a) Cycle de développement de la culture



b) Croissance et développement du fruit



C'est donc sur le système de culture "Tomate indéterminée sous serre et hors-sol" qu'a porté notre travail. Avant d'exposer la démarche, nous présentons un "itinéraire technique moyen", celui préconisé par les techniciens du développement.

## 1. PRESENTATION GENERALE DE LA CULTURE

### 1.1 LE CYCLE DE DEVELOPPEMENT ET LES GRANDES ETAPES DE LA CULTURE

Après une période de croissance juvénile purement végétative, la floraison du premier bouquet marque le début de la croissance reproductive, qui va de pair avec la croissance végétative jusqu'à l'arrêt de la culture (figure 3a). Les bouquets suivants sont très généralement séparés de 3 feuilles ; ils fleurissent avec un intervalle relativement constant de 7 à 10 jours. Après la nouaison, il faut 50 à 60 jours pour que le fruit atteigne sa taille maximale et sa maturité (figure 3b). En fin de culture, un plant a produit de 20 à 30 bouquets et la tige peut mesurer de 6 à 8 mètres de long.

La culture de tomate sous serre se fait par transplantation, et on distingue deux étapes : l'élevage du plant en pépinière (ou serre d'élevage) et la culture proprement dite, après plantation dans la serre.

L'élevage s'étend du semis à la plantation (aux alentours de la floraison du premier bouquet). Cette période est elle-même subdivisée en deux : la germination et la levée sous couche chauffante (une dizaine de jours), puis l'élevage en pépinière (une cinquantaine de jours).

Le passage d'une période à l'autre entraîne une diminution de la densité de plantation et un changement des conditions de milieu, et notamment de la température (figure 4). Il s'accompagne d'un tri (élimination des plantes faibles ou anormales) et d'une redistribution des individus les uns par rapport aux autres.

### 1.2 CROISSANCE DU PLANT EN PEPINIERE

La période de semis s'étend de fin août à fin novembre. La date de semis a un effet important sur l'équilibre entre parties végétative et reproductive, et influence fortement les choix techniques dans la conduite du milieu et des plantes : lorsque le semis est très précoce, la période critique pour la plante (juste avant le début de récolte, lorsque la charge en fruits est maximale) se situe au moment où le rayonnement extérieur est le plus faible (janvier), ce qui rend la conduite délicate.

Il existe une assez grande diversité des conditions d'élevage entre exploitations. Nous décrivons le dispositif de la station INRA d'Alénya qui est assez représentatif, les différentes étapes présentées ci-dessous se retrouvant chez tous les serristes.

La germination et la levée étant très exigeantes en température (25°C), elles se font sur une surface réduite, à forte densité (1000 graines/m<sup>2</sup>). Les graines sont placées sur des "bouchons" de laine de roche individuels, sous couche chauffante (figure 4.1). L'irrigation fertilisante se fait par submersion, ce qui garantit des conditions de nutrition relativement homogènes entre plantules.

Au bout d'environ une dizaine de jours, lorsque la première feuille est bien apparente, les plantules sont repiquées dans des cubes de laine de roche (figure 4.2), et disposées en pépinière



à une densité plus réduite (20 plantes/m<sup>2</sup>), et à une température plus faible (20°C). Au moment du repiquage et de la disposition des plantes dans la pépinière, un tri est réalisé sur un ensemble de critères visuels (forme et taille des cotylédons, hauteur de la tige...), pour ne conserver que les plantules jugées satisfaisantes, soit environ 90% du lot initial. Au cours de cette période, sur la station d'Alénya, la ferti-irrigation est réalisée manuellement au tuyau, mais dès que les surfaces semées sont importantes, elle est automatisée (sub-irrigation).

Au bout d'environ 2 mois, la densité de plantation trop élevée provoque l'étiollement des plants, qui sont alors transférés dans la serre.

### 1.3 ITINERAIRE TECHNIQUE DANS LA SERRE

#### *1.3.1 Disposition en serre et plantation*

Les plants sont d'abord disposés dans la serre à leur place définitive, sur des double-rangs séparés par des allées (figure 4.3). La densité de plantation est d'environ 2 plants/m<sup>2</sup>. La plantation dans le substrat n'est pas immédiate, car la diminution de densité (de 20 à 2 plants/m<sup>2</sup>) provoque un développement rapide de l'appareil végétatif, qui rend difficile la nouaison. Pour faciliter la mise à fruits, la plantation est retardée de quelques jours ; elle a lieu lorsque le premier bouquet floral est épanoui (voire jusqu'à une semaine plus tard). Le confinement des racines dans le cube de volume réduit (1 dm<sup>3</sup>) et le stress hydrique consécutif réduit la croissance végétative, d'où une meilleure nouaison.

La densité est très peu variable entre exploitations, la valeur de 2 plantes/m<sup>2</sup> étant considérée comme optimale pour maximiser le rendement, limiter les maladies et réduire les temps de travaux.

#### *1.3.2 Les techniques de conduite du milieu*

##### a) Gestion du climat

En plus des températures de l'air et du substrat (qui sont éventuellement différentes), les facteurs climatiques les plus fréquemment contrôlés sont la teneur en CO<sub>2</sub>, l'hygrométrie et la luminosité (tableau 4). Comme nous l'avons signalé en introduction, tous ces dispositifs sont généralement automatisés et gérés par des ordinateurs climatiques, qui déclenchent la mise en marche du chauffage, l'ouverture des ouvrants dans le toit, l'enrichissement en CO<sub>2</sub>, la brumisation, ... en fonction des consignes fournies par les maraîchers et des enregistrements de différents capteurs climatiques.

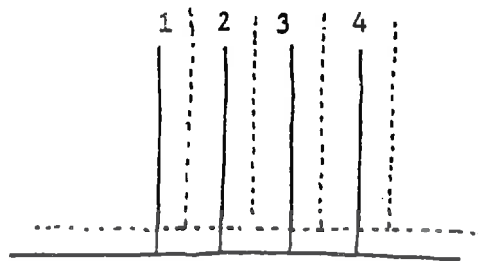
A un instant donné, il existe une variabilité climatique non négligeable dans la serre, qui a des conséquences biologiques sur les plantes. Par exemple, le système de chauffage (généralement localisé en un point), associé à d'autres facteurs d'hétérogénéité tels que l'orientation de la serre par rapport au soleil et au vent dominant, la position des ouvrants dans le toit..., est à l'origine de variations de température pouvant atteindre de 1 à 3°C entre points extrêmes de la serre ; cette variation n'est généralement pas assimilable à un gradient de température. De la même façon, il existe une variabilité spatiale de rayonnement, due à l'ombrage de la charpente du toit et des compartiments mitoyens, d'hygrométrie, de CO<sub>2</sub>...

TABLEAU 4 : LE CLIMAT DE LA SERRE

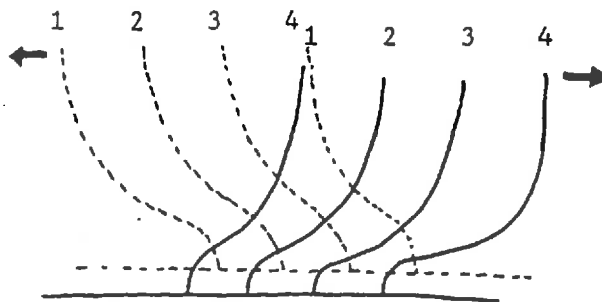
Paramètres climatiques contrôlés	Moyens de maîtrise du milieu	Ordre de grandeur des paramètres
Température	Chauffage Ouverture des ouvrant Refroidissement des parois de la serre	Temp. de chauffage : 17 °C Temp. d'aération : 22°C
Teneur en CO <sub>2</sub> de l'air	Enrichissement en CO <sub>2</sub>	700-1000 ppm
Hygrométrie	Brumisation et aération	80%
Energie lumineuse	Ecrans d'ombrage	

FIGURE 6 : CONSEQUENCES DU PALISSAGE SUR LA POSITION DES PLANTES

a) Position initiale



b) Position après couchage (date t)



Chaque trait vertical représente une plante.

La ligne 1 est représentée en traits pleins. La ligne 2, située derrière la ligne 1, est représentée en pointillés.



### b) Gestion de la ferti-irrigation

Les besoins en éléments minéraux sont calculés en fonction du stade de la plante, les feuilles et les fruits n'ayant pas les mêmes besoins en azote et potassium (composition de la solution : annexe 2). L'alimentation est fractionnée dans la journée (de 1 à 12 apports par jour, suivant les besoins). L'apport d'eau journalier est fonction d'indicateurs variables suivant les exploitations : rayonnement extérieur global, Evapotranspiration Potentielle (ETP), volume d'eau drainée par le substrat. Les apports d'eau sont toujours majorés par rapport aux besoins de la culture : le drainage est indispensable en culture hors-sol pour éviter l'accumulation d'éléments minéraux non assimilés par les plantes, qui risqueraient de dépasser le seuil de toxicité.

### c) Protection des cultures

Les cultures sous serre, parce qu'elles sont très intensives, sont très sensibles aux maladies et parasites, qui se propagent rapidement. Les méthodes traditionnelles de lutte chimique contre les parasites, remises en cause par l'apparition rapide de phénomènes de résistance et les risques de toxicité, laissent la place de plus en plus à la lutte biologique (ex: lutte contre les Aleurodes par *Encarsia formosa*, contre la Mineuse par *Diglyphus isaea*). Le développement des maladies est également en interaction avec le climat (par exemple, le développement de *Botrytis cinerea* et des acariens est directement lié à l'hygrométrie de l'air).

Néanmoins, quelle que soit la méthode utilisée, les maladies sont un important facteur de perte de rendement, parce que la culture est longue et la récolte très étalée : il faut maintenir un bon état sanitaire pendant la totalité du cycle.

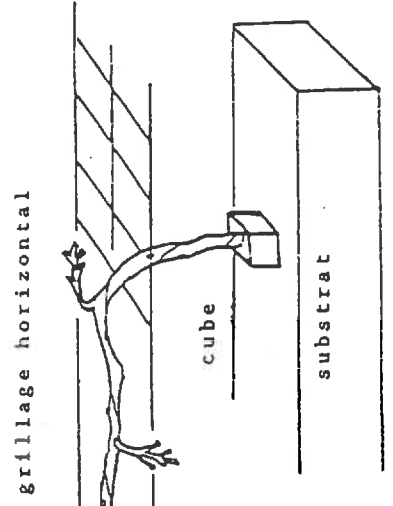
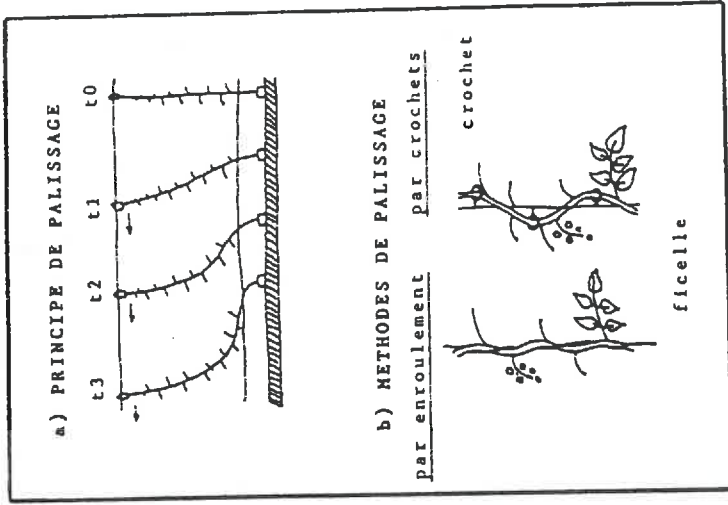
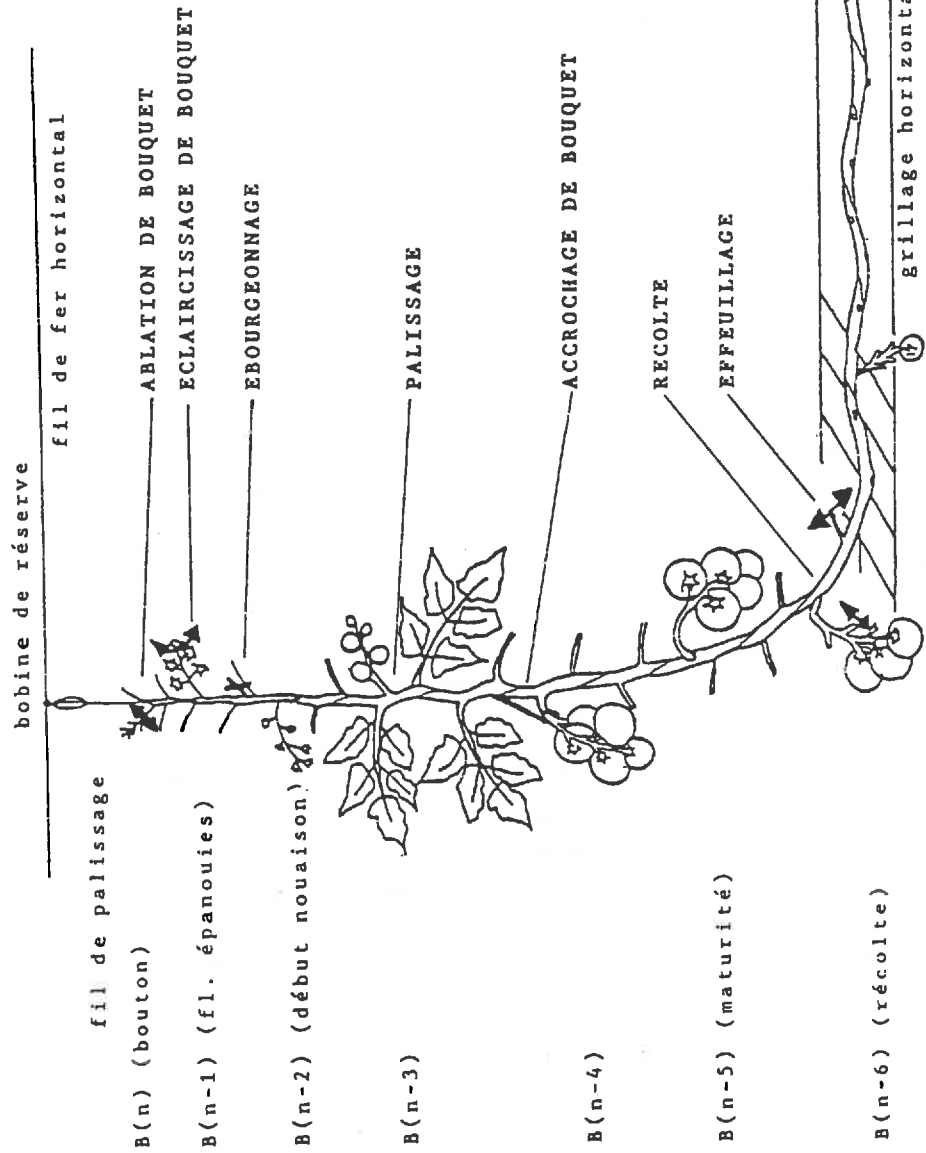
## 1.3.3 Les techniques de conduite de la plante

### a) Amélioration de la fécondation

La fécondation est autogame. Sous serre, elle se fait difficilement à cause des conditions climatiques défavorables en hiver (faible rayonnement, forte température) et de l'absence de vent. Traditionnellement, la nouaison était favorisée en faisant tomber le pollen par vibration, ou en pulvérisant des substances de croissance spécifiques. Ces méthodes anciennes, manuelles et très coûteuses en temps, sont remplacées depuis 3-4 ans par l'introduction de bourdons pollinisateurs, qui a également favorisé le développement de la lutte biologique. Cette innovation libère l'équivalent du travail d'un ouvrier à temps plein par hectare de serre.

Pour les techniques de conduite du milieu et l'amélioration de la nouaison présentées ci-dessus, l'homme n'a pas à intervenir manuellement sur les plantes ; il agit par l'intermédiaire de machines ou d'organismes vivants (bourdons, insectes...). Par contre, les techniques suivantes (figure 5) sont toutes manuelles et donc réalisées plante par plante. Elles sont présentées sans ordre chronologique puisque chacune est répétée fréquemment, jusqu'à l'arrachage des plants.

FIGURE 5 : SCHEMA D'UN PLANT DE TOMATE INDETERMINEE ET LES TECHNIQUES DE CONDUITE DE LA PLANTE



### b) Le palissage

Le palissage permet de soutenir les tiges et de réarranger les plantes dans la serre pour que la partie fonctionnelle de la plante capte correctement la lumière : grâce au palissage sur grillage horizontal, il est possible de cultiver des plantes de 6 à 10 mètres de longueur sur une serre de 2,50 à 3 mètres de hauteur.

L'opération se fait en deux étapes, et très régulièrement (environ 1 fois par semaine) :

- le palissage au sens strict consiste à rendre la tige solidaire d'une ficelle verticale, au moyen de crochets ou en enroulant la tige autour de la ficelle (figure 5b),
- la descente des tiges : lorsque la tige atteint le haut de la serre, l'opérateur déplace le haut de la plante latéralement, dans l'axe des rangs (figure 5a), ce qui permet d'incliner la partie basse de la plante sur un grillage horizontal. La partie horizontale de la plante ne porte plus ni feuilles fonctionnelles ni fruits, elle n'a qu'un rôle conducteur.

Les plantes de chaque côté du double-rang sont inclinées dans des directions opposées (figure 6), l'environnement lumineux de chaque plante peut donc changer au cours du temps.

Cette opération est délicate et il arrive fréquemment que des tiges soient cassées au cours du palissage, ce qui compromet la récolte ultérieure si la croissance ne peut pas se poursuivre sur une ramification.

### c) L'effeuillage

L'effeuillage a trois objectifs : limiter les risques de maladie ou de parasites sur des feuilles sénescentes, éviter de casser des plantes en couchant les tiges sur le grillage horizontal et faciliter la récolte.

Lorsque la plante atteint le haut de la serre, on élimine les quelques feuilles qui vont gêner la descente de la tige au palissage suivant (celles qui seront sur la partie horizontale). L'effeuillage est donc progressif et concerne à chaque fois les feuilles les plus âgées, qui en général sont en cours de sénescence.

### d) L'ébourgeonnage

Les plantes sont conduites sur une tige unique, le port buissonnant n'étant pas adapté au système de palissage. Les bourgeons axillaires sont éliminés régulièrement, dès leur apparition, pour éviter l'accumulation inutile de matière sèche dans les ramifications et un affaiblissement de la plante.

### e) La régulation du nombre de fruits

Le nombre de fleurs produites par la plante est très élevé et supérieur au nombre de fruits de qualité<sup>1</sup> que la plante peut produire, aussi bien à cause du nombre de bouquets que du nombre de fleurs par bouquet (de 5 à 10). C'est pourquoi, on en supprime un certain nombre pour éviter de produire des fruits de mauvaise qualité (non commercialisables) et limiter l'affaiblissement des plantes. Deux techniques sont utilisées : l'éclaircissage et l'ablation de bouquet.

- L'éclaircissage de bouquet consiste à éliminer quelques fleurs sur l'inflorescence, en général celles situées à l'extrémité distale, à un stade le plus précoce possible (aux alentours de

<sup>1</sup> Nous verrons (p. 19) que le principal critère de qualité est actuellement le calibre des fruits.

la floraison). De 4 à 6 fleurs sont laissées sur chaque bouquet, suivant la date de semis, la saison, l'état végétatif de la culture ...

- **L'ablation de bouquet** consiste à éliminer la totalité de l'inflorescence, avant la floraison. Cette opération est réalisée une à deux fois par campagne, aux périodes où les plantes s'affaiblissent, c'est à dire principalement lorsque la charge en fruits est élevée et que le rayonnement est faible.

#### f) L'accrochage de bouquets

Au cours de la croissance des fruits, le pédoncule du bouquet risque de plier sous l'effet du poids, ce qui semble limiter son alimentation, ou du moins diminuer la qualité des fruits. L'objectif initial de l'accrochage du bouquet est de le soutenir en le fixant à la ficelle de palissage, mais cette opération est fréquemment utilisée comme moyen de palissage.

A la différence des techniques précédentes, l'accrochage de bouquets n'est pas employé sur toutes les exploitations ; c'est une technique relativement récente et encore controversée.

#### g) La récolte

Du fait de la structure étagée des plantes, les bouquets arrivent à maturité de façon très progressive (environ 1 bouquet par semaine). Les récoltes sont faites en général tous les 2 à 3 jours ; les fruits sont cueillis entre les stades "vert-mature"<sup>2</sup> (suffisant pour permettre une pigmentation après récolte) et "rouge", suivant le mode de conservation, de commercialisation et les objectifs de qualité.

#### h) Dérroulement des opérations

Les techniques de conduite de la plante sont répétées tout au long du cycle, très régulièrement. Les opérations de taille des bourgeons, des fleurs et l'accrochage des bouquets dépendent du rythme d'apparition des sympodes. Le palissage et l'effeuillage sont fonction de la croissance en longueur de la tige. Mais en moyenne, toutes ces opérations sont faites toutes les 1 à 2 semaines. Les opérations de taille des fleurs et des bourgeons doivent être aussi précoces que possible (dès que l'organe à tailler peut être saisi), pour ne pas affaiblir les plantes. L'effeuillage et le palissage doivent être très réguliers. Un retard de quelques jours accroît les risques de casser les plantes, car la portion de tige à palisser est plus longue et moins malléable. De même, l'effeuillage doit être régulier pour éviter de supprimer un trop grand nombre de feuilles à chaque passage.

La culture s'arrête au plus tard en juillet-août, pour plusieurs raisons.

- Après une longue période de culture, la production est de qualité médiocre : un nombre non négligeable de plantes a disparu (maladies, plantes cassées) ; celles qui restent ont une production très variable (en rendement et qualité).

- La fin de la période de culture, qui se situe en été, correspond dans le Sud de la France à des températures sous serre excessives ; de ce fait, les fruits présentent des craquelures et manquent de fermeté.

- Enfin, l'arrachage en juillet-août laisse juste le temps de remettre en état la serre et de préparer la culture suivante, en septembre.

---

<sup>2</sup> Cf figure 3b

#### 1.4 ORGANISATION DU TRAVAIL SUR L'EXPLOITATION

La culture sous serre est relativement récente en France, elle a vu son essor dans les années 70. Ceci explique sans doute sa place variable dans les exploitations : à l'origine, dans les exploitations maraîchères traditionnelles, la serre permettait d'avancer la période de production progressivement au printemps puis en hiver, grâce à des semis de plus en plus précoces. Très coûteuse aussi bien en capital qu'en main d'oeuvre, elle a souvent entraîné une spécialisation dans les cultures sous abris ; mais sur ce type d'exploitations, la surface en serre (de l'ordre de 1 ha) reste toujours très limitée par rapport à la Surface Agricole Utile. Depuis une dizaine d'années, dans un objectif d'économie d'échelle, on assiste au développement d'exploitations entièrement spécialisées dans la culture de tomate sous serre, qui sont soit de taille familiale (de 1 à 5 ha de serre), soit de grosses unités de production (plusieurs dizaines d'hectares).

Du fait du nombre de salariés dans l'exploitation, l'organisation du travail est très hiérarchisée. Le maraîcher s'occupe généralement de la gestion de l'exploitation et de la commercialisation des produits, tâche très prenante à cause de l'étalement des récoltes. C'est pourquoi, dès que la surface en serre est importante, le maraîcher délègue une partie de son travail à un salarié qui a un statut particulier : le chef de culture. Celui-ci a en charge l'encadrement du personnel et le suivi de la culture sous serre. Généralement de qualification supérieure, il ne réalise pas les opérations manuelles sur les plantes, mais seulement le contrôle des techniques automatisées. Les interventions manuelles sur les plantes sont réalisées par les ouvriers, à partir des consignes de travail établies par le chef de culture ou le maraîcher. Ces consignes sont modifiées très régulièrement pour être adaptées à l'état du peuplement (à l'échelle de la journée ou de la semaine).

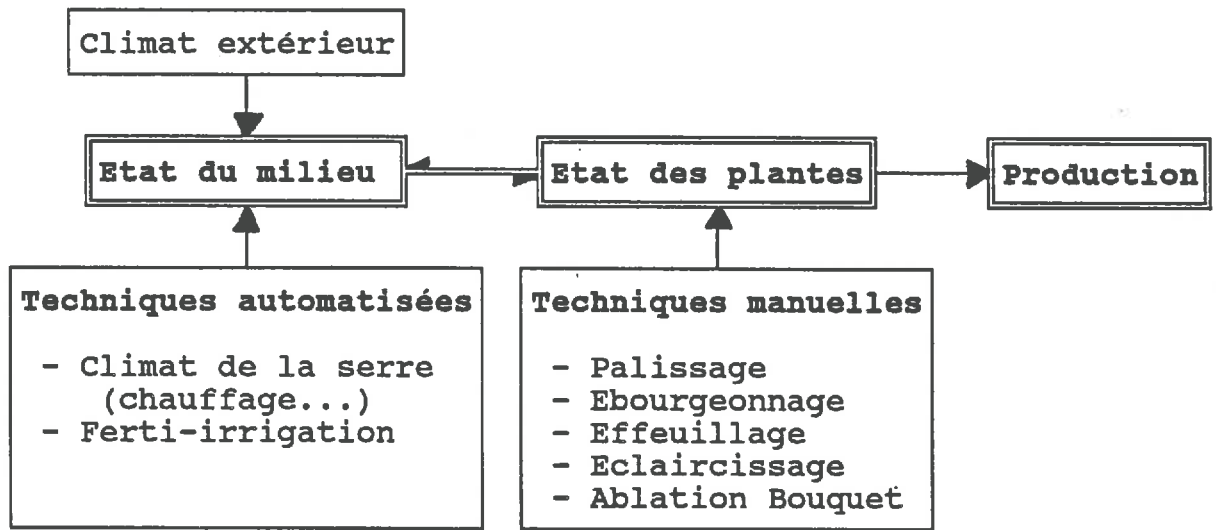
## 2. LA DEMARCHE

**Les cultures maraîchères sous serre occupent une position originale en agriculture, parce qu'elles font appel à la fois à des techniques très sophistiquées et à des savoir-faire encore mal définis.**

La serre est un milieu très artificialisé par rapport au champ cultivé, car les possibilités de maîtrise du milieu sont nombreuses et relativement performantes (action sur le climat de la serre, sur le substrat...). Les possibilités d'automatisation, associées à d'autres facteurs comme le niveau des investissements et de la main d'oeuvre, expliquent les fréquents rapprochements avec les systèmes de production industriels (Baille, 1991). Cette impression est renforcée par l'image des serristes très innovateurs (Brun et al., 1986), toujours à l'affût de nouvelles techniques, qu'ils adoptent souvent avant même qu'elles n'aient été testées en station expérimentale.

**Cependant, le caractère artificiel et automatisé doit être nuancé à cause du nombre très élevé de techniques manuelles réalisées par une main d'oeuvre abondante, et de la façon dont elles sont mise en oeuvre.**

**FIGURE 7 : RELATION ENTRE MILIEU, TECHNIQUES ET FONCTIONNEMENT DU PEUPEMENT VEGETAL**



D'après Sebillotte (1978a) et Meynard & David (1992)

**Les techniques de conduite des plantes diffèrent profondément de la gestion du milieu dans la façon dont elles sont élaborées, puis réalisées.**

Les techniques de conduite du milieu (figure 7) s'apparentent dans leur principe à celles utilisées en grandes cultures (fertilisation...) : elles reposent sur une caractérisation relativement objective de l'état du milieu à partir d'indicateurs physiques, indicateurs qui dans le cas de la serre sont automatisés (enregistrement en continu). Pour ces opérations culturales bien codifiées, des modèles biophysiques existent et participent activement aux choix techniques. Mais les interventions sont complexes, car elles font appel à plusieurs niveaux de décision : il faut gérer le climat à la fois en temps réel, à court terme (choix des consignes), à long terme (choix stratégiques) (Baille et al., 1990). La gestion du milieu sous serre fait appel au même mode de raisonnement qu'en grande culture, mais à des pas de temps très différents.

Les techniques de conduite de la plante sont raisonnées non pas à partir d'un modèle biophysique de fonctionnement de la plante, mais à partir de normes, vulgarisées par les techniciens du développement. Ces références, élaborées dans des conditions d'expérimentation très variables (rayonnement, température), doivent être adaptées en fonction de l'état de la culture, grâce au "savoir-faire" du maraîcher.

Pour mettre en oeuvre quotidiennement les techniques, en particulier pour la conduite des plantes, les observations sur les plantes et leur interprétation empirique sont des éléments fondamentaux du diagnostic, car il n'existe pas de modèle agronomique prenant en compte les interactions entre techniques et avec le climat. Cependant, même pour la gestion du climat, la surveillance directe des plantes par le maraîcher reste indispensable, car les modèles biophysiques sont encore imparfaits et simulent parfois mal la réalité. Cette démarche d'observation est d'autant plus justifiée qu'elle peut se traduire par des corrections immédiates : sur ce système de culture, l'inertie est très faible (composition chimique du substrat, température de l'air...), et il faut parfois agir plus vite que ce que peuvent simuler les modèles existants, dont le pas de temps est, dans le meilleur des cas, journalier.

L'état de la culture est apprécié par un ensemble de critères visuels que les maraîchers regroupent sous le terme de "vigueur". Sa définition est mal établie et subjective : observation d'une plante ou du peuplement dans sa globalité, de l'appareil végétatif (masse, volume, couleur du feuillage...) ou de l'appareil reproducteur (rendement, qualité...), de la vitesse de croissance ou de développement. Mais son rôle de critère biologique dans le diagnostic est fondamental : la vigueur est utilisée à la fois comme indicateur d'action pour la conduite des plantes et comme variable de contrôle a posteriori pour la gestion du milieu.

Dans le domaine de la recherche, ce terme est de moins en moins employé, par le fait même qu'il repose sur un agencement relativement flou de critères visuels et sur une caractérisation subjective. Cependant, il est utilisé dans certains cas avec un sens restreint : la vigueur à la levée est définie comme la vitesse de croissance potentielle des jeunes plantules. Il est également employé en amélioration des plantes. Des capteurs biologiques et physiologiques sont en cours d'étude (variation du diamètre de la tige, ...), mais actuellement, aucun n'est assez performant pour caractériser la vigueur et se substituer aux observations des maraîchers, qui restent fondamentalement subjectives.

**L'observation d'un peuplement de tomate sous serre fait apparaître une forte variabilité de vigueur entre plantes, dans les exploitations comme en station expérimentale.**

La variabilité intra-peuplement<sup>3</sup> semble avoir plusieurs origines. L'image (fausse) de milieu parfaitement contrôlé, proche du phytotron, a masqué pendant longtemps l'existence d'une hétérogénéité du milieu Serre. Si ce système de culture permet de réduire la variabilité du milieu au cours du temps par rapport au plein champ, il accroît la variabilité spatiale : température, rayonnement (Baille & Tchamitchian, 1991 ; Graham et al., 1990), voire même conditions de nutrition (de Tourdonnet, travaux en cours sur les cultures sous tunnel plastique en sol). Les nombreuses interventions manuelles sur les plantes sont également une source de variabilité : opérations de taille (éclaircissage, effeuillage, ébourgeonnage) réalisées de façon différente d'une plante à l'autre, déplacement latéral des tiges les unes par rapport aux autres sous l'effet du palissage, plantes cassées...

Puisque la vigueur est un critère pour raisonner les techniques manuelles à l'échelle de la serre et qu'elle varie d'une plante à l'autre au sein d'un peuplement, elle est probablement aussi **un critère de décision à l'échelle de la plante.**

Certains maraîchers affirment effectivement conduire le peuplement plante par plante, c'est à dire adapter les techniques manuelles à l'état de chaque plante. Si la variabilité intra-peuplement est une caractéristique très générale de toute culture (bien qu'elle soit souvent négligée), elle prend une importance toute particulière en maraîchage, du fait du faible nombre de plantes à traiter (le rapport va de 1 à 100 par rapport à une céréale) et du nombre élevé d'opérations individualisées. Selon les sociologues, la plante en tant qu'unité élémentaire joue un rôle original dans la culture maraîchère, aussi bien sous abris qu'en plein champ (Beltrame et al., 1980). La prise en compte de chaque plante dans la conduite de la culture se rapproche beaucoup plus du suivi du troupeau par l'éleveur (Salmona, 1976) que de la conduite d'une grande culture, où c'est la parcelle qui est l'unité élémentaire. En élevage, l'adaptation de l'alimentation aux performances de chaque animal (troupeau laitier) et les pratiques d'allotement (troupeau allaitant) révèlent une tentative de caractérisation individuelle des animaux proche du concept de vigueur des maraîchers (Hubert, Comm. pers.).

La question se pose donc de savoir comment sont prises en compte les interactions entre la variabilité du peuplement et la réalisation d'opérations plante par plante, sachant que, malgré des actions individualisées sur chaque plante, c'est la production par unité de surface qui est la variable de sortie des maraîchers.

Cette question est en effet indispensable pour passer d'une technique d'agronome à une pratique d'agriculteur, et donc être en mesure de conseiller ce dernier. **Il faut donc connaître les répercussions d'une prise en compte de la variabilité du peuplement par des techniques adaptées plante par plante, et donc procéder à cette étude agronomique.**

L'étude de la conduite des plantes au sein de peuplements qui sont, de fait, hétérogènes suppose que l'on soit capable de caractériser de façon objective la variabilité intra-peuplement et que l'on détermine ses conséquences sur l'élaboration du rendement et de la qualité.

---

<sup>3</sup> Rigoureusement, nous avons étudié des populations (1 espèce unique), et non pas des peuplements (mélange de plusieurs espèces). Cependant, nous avons conservé ce terme, qui fait partie du vocabulaire des agronomes.



Disposant alors d'éléments de caractérisation de la variabilité intra-peuplement et d'un modèle d'élaboration de la production d'un peuplement hétérogène, il est ensuite possible de concevoir de nouvelles techniques de pilotage de cette hétérogénéité, qui diffèrent de celles des maraîchers par le fait qu'elles ne reposent pas sur l'empirisme. En testant des règles d'action plante à plante, nous chercherons à savoir si l'adaptation de certaines techniques manuelles à l'état de chaque plante a des effets sur la production du peuplement (rendement et/ou qualité).

Les techniques de gestion du milieu jouent probablement aussi sur la genèse et le développement de la variabilité. Cependant, nous avons choisi de ne pas les prendre en compte parce qu'il semblait difficile de chercher à comprendre d'emblée le fonctionnement global du système. De ce fait, on privilégie un modèle d'élaboration du rendement additif, où les interactions entre techniques sont peu prises en compte.

### **Notre travail se situe dans une démarche d'aide à la décision.**

Des travaux récents ont montré que pour que des outils d'aide à la décision soient utilisables, il faut qu'ils tiennent compte des logiques d'action des agriculteurs (Sebillotte & Soler, 1990). C'est pourquoi, il est indispensable d'analyser leurs pratiques, à savoir les actes techniques ou "manières de faire" (Landais & Deffontaine, 1990), mais de prendre également en considération l'enchaînement des opérations mentales qui a conduit à ces actes, depuis le diagnostic jusqu'à la décision technique (Sebillotte, 1989). L'agronome dispose d'un tout autre type de connaissances : lorsqu'il propose de nouvelles techniques, il fournit en réalité une portion de théorie (Sebillotte, 1978b), car les techniques sont raisonnées par rapport à sa logique propre et non par rapport à celle de l'agriculteur. Or, la non-prise en compte, dans l'élaboration d'une technique, des objectifs et des contraintes de l'agriculteur peut l'amener à rejeter les références produites par les agronomes (Capillon, 1988).

Plusieurs concepts permettent de tenir compte des logiques d'action des agriculteurs. L'exploitation doit être considérée comme un système piloté (Osty, 1978) en vue d'atteindre des objectifs dans un ensemble de contraintes, ce qui a conduit à définir le concept de fonctionnement d'exploitation (Sebillotte, 1979). Le concept d'itinéraire technique (Sebillotte, 1978a), combinaison logique et ordonnée d'opérations techniques, met en évidence les liens entre techniques, et leur raisons d'être les unes par rapport aux autres, pour atteindre un ou des objectifs de production. Plus récemment, le modèle d'action (Sebillotte & Soler, 1988 ; Sebillotte & Servettaz, 1989), pendant chez l'agriculteur de l'itinéraire technique chez l'agronome, représente le cadre dans lequel les agriculteurs prennent leurs décisions, et révèle donc leur logique. L'étude des pratiques doit permettre de mettre en évidence à la fois les objectifs et les contraintes de l'agriculteur, ainsi que leurs modes de raisonnement.

Le passage d'une technique à une pratique nécessite un "savoir-faire". Sous ce terme, le dictionnaire Robert désigne l'ensemble des connaissances, expériences et techniques accumulées par une personne. Plus spécifiquement, le savoir-faire de l'agriculteur est l'ensemble des "règles" (même si elles sont rarement explicitées sous cette forme) permettant la mise en oeuvre des actes cultureux. Il provient de l'expérience accumulée par l'agriculteur au fil des années, qui reflète les caractéristiques de l'exploitation, le comportement des cultures dans cet environnement (climat, sol)... L'expérience de l'agriculteur évolue au cours du temps ; elle s'enrichit constamment de nouvelles connaissances d'origine externe (conseillers agricoles,

voisins...) ou interne (confrontation entre objectifs initiaux et résultats). Dans ce cas, c'est l'analyse de ses propres pratiques et du couple "objectifs/résultats" en fin de campagne qui permet à l'agriculteur d'élaborer un nouveau fragment de théorie. Dans cette démarche de **diagnostic global** (Sebillotte, 1990), l'appréciation d'une situation par rapport aux objectifs initiaux est immédiatement analysée en terme de conséquences sur la production ; il s'agit d'un diagnostic en vue d'agir.

La réalisation d'une opération technique est liée à l'observation d'**indicateurs d'action** (caractérisant l'état du milieu ou des plantes), qui sont comparés à des états objectifs. C'est le second aspect de la démarche de diagnostic qui, dans ce cas, a lieu en temps réel.

**Dans ce contexte général d'analyse de la décision, la culture de tomate indéterminée sous serre est originale car elle permet une acquisition très rapide des connaissances.** En effet, à cause du caractère répétitif de la culture, aussi bien dans la structure de la plante (organisation en sympodes) que dans la fréquence de réalisation de certaines techniques, la méthode des "essais-erreurs" est mise en oeuvre très fréquemment. La confrontation entre les objectifs d'une opération culturale et les résultats sur la plante se fait sur un pas de temps court<sup>4</sup>. Contrairement aux grandes cultures, où les opérations ne se répètent pas (ou peu) à l'échelle de l'année sur une même parcelle, et où il faut attendre la campagne suivante pour corriger les erreurs, les nouvelles connaissances peuvent être mises en pratique très rapidement sur la culture de tomate, même si, entre temps, certaines conditions ont changé (à cause de l'évolution du climat, des phénomènes cumulatifs sur la plante...).

Les concepts évoqués précédemment permettent d'analyser les comportements techniques des agriculteurs et de comprendre leur logique. Ainsi, comme cela a été montré sur d'autres cultures, il est probable que certaines pratiques des maraîchers ne trouvent pas leur justification dans la théorie agronomique, mais résultent de contraintes et de hiérarchies définies au niveau de l'exploitation (contexte économique, appréciation des risques, notamment climatiques, concurrence d'autres cultures...). **Notre objectif d'aide à la décision rend nécessaire l'étude des pratiques dans les exploitations maraîchères, dont la diversité est un révélateur de la diversité des objectifs et des contraintes de fonctionnement. Nous définirons ainsi les possibilités d'utilisation des règles d'action plante à plante sur des peuplements hétérogènes, dans les conditions de la pratique agricole.**

Le travail est donc réalisé en trois étapes, qui font l'objet des 3 parties du mémoire :

**Première partie : Analyse des pratiques dans les exploitations maraîchères.**

**Deuxième partie : La variabilité intra-peuplement. Caractérisation et effets sur la production.**

**Troisième partie : Effets sur la production de la conduite plante par plante, au sein d'un peuplement hétérogène.**

---

<sup>4</sup> Ainsi, les effets de l'éclaircissage de bouquet peuvent être observés très rapidement (1 à 2 semaines), à la fois sur le bouquet éclairci (nombre, qualité des fruits) et sur l'état végétatif de la culture.

\* Dans la première partie du mémoire, l'analyse des pratiques de conduite de la tomate sous serre cherche à répondre à 3 questions :

- Quels sont les **indicateurs d'état des plantes** utilisés par les maraîchers, et comment ils conditionnent le choix et la réalisation des techniques manuelles ?
- Comment les maraîchers jugent et prennent en compte la **variabilité intra-peuplement** ?
- Quels sont les **déterminants** des différentes pratiques de prise en compte de la variabilité ?

L'observation des actes techniques en temps réel est délicate. Elle ne donne accès qu'aux justifications très partielles de l'opérateur, c'est à dire pour ces techniques manuelles, l'ouvrier. Or, pour être analysés, les actes techniques doivent être replacés dans le système que constitue l'exploitation agricole, et c'est le chef d'exploitation qui est le plus à même d'en parler.

C'est pourquoi, nous avons privilégié une **approche indirecte des actes techniques**, à partir d'informations de plusieurs natures : en "amont" de l'action, nous observons deux facteurs que nous avons jugés déterminants dans la réalisation des actes techniques : les **consignes données aux ouvriers**, qui définissent leur cadre de travail et l'**organisation du travail** (gestion de l'emploi du temps du personnel et de la répartition des tâches). Cependant, cette analyse des déterminants de l'action est complétée par l'**observation a posteriori des plantes**, résultat des actes techniques.

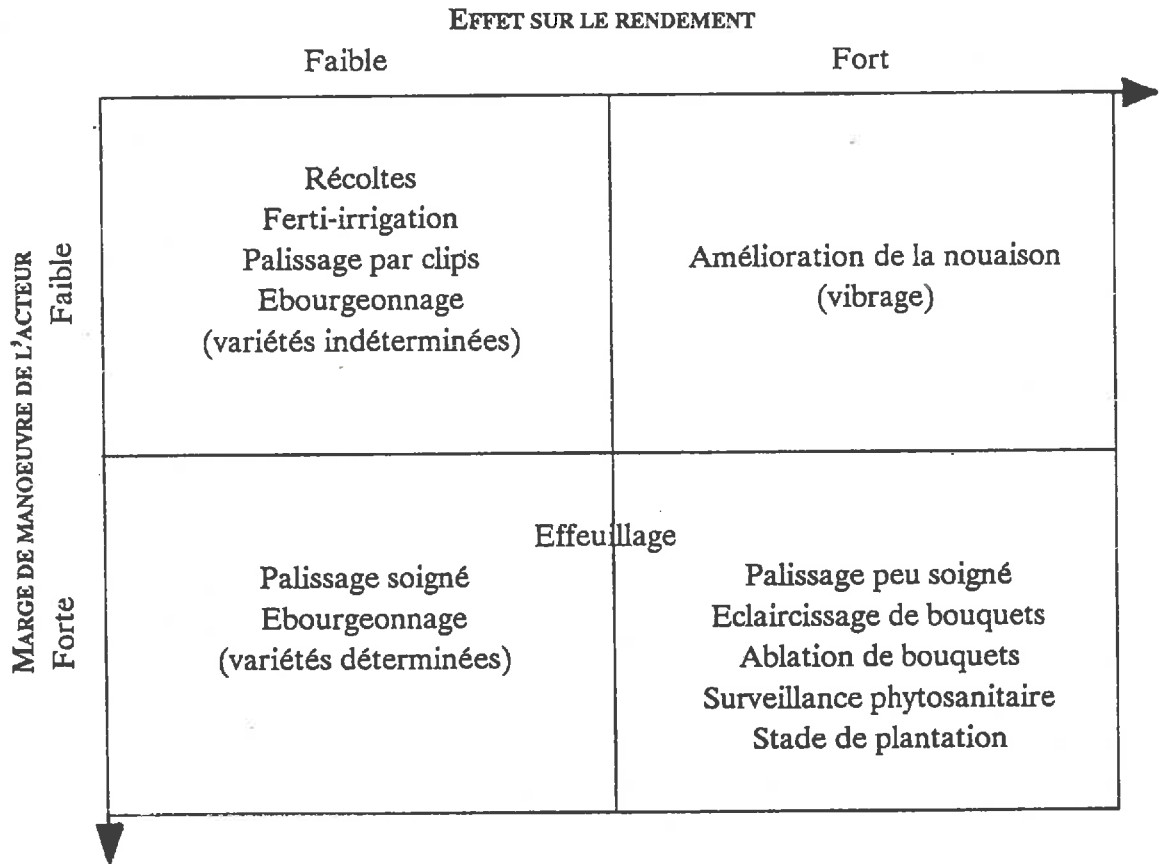
Toutes ces questions sont abordées par enquête dans des **exploitations maraîchères produisant de la tomate sous serre indéterminée, hors-sol**. Dans le choix de l'échantillon, on cherche à couvrir une diversité des pratiques, ce que l'on suppose atteint par une diversité de fonctionnement des exploitations. Le protocole d'enquête est construit à la manière d'un protocole d'essai, en limitant le nombre de facteurs et en les choisissant de façon raisonnée. Par conséquent, les exploitations enquêtées sont choisies plus en fonction des comparaisons que l'on souhaite réaliser qu'en fonction de leur représentativité régionale.

\* L'objectif de la deuxième partie est de comprendre les effets de la **variabilité intra-peuplement** sur l'élaboration du rendement et de la qualité par unité de surface.

La variabilité du peuplement peut être analysée par différentes méthodes. La démarche d'enquête permet d'étudier des situations proches de la réalité, mais leur complexité est souvent un frein à la compréhension. En particulier, étant donnée la diversité des facteurs susceptibles d'intervenir dans la genèse de la variabilité, une simple démarche d'enquête semble difficile à mettre en oeuvre. L'expérimentation, qui ne fait varier qu'un petit nombre de facteurs à la fois, est un outil d'étude privilégié. Mais en simplifiant à l'extrême, il devient souvent caricatural de la réalité : la majeure partie des études sur la variabilité intra-peuplement porte sur des associations de deux (rarement plus) espèces, variétés ou types d'individus, comme en témoigne la synthèse bibliographique de Trenbath (1974).

Dans notre cas, l'expérimentation par des essais "classiques" ne peut être satisfaisante à cause de la spécificité de la démarche. L'analyse des pratiques en exploitations montre le poids des techniques manuelles et de l'acteur sur l'élaboration de la production ; comme notre travail se situe dans un objectif d'aide à la décision, il est nécessaire de rester le **plus proche possible des pratiques des maraîchers**. Mais ceci est souvent contraire aux principes de l'expérimentation, qui supposerait que les facteurs non étudiés soient rigoureusement

**FIGURE 8 : SAVOIR-FAIRE ET TECHNIQUES CULTURALES**



identiques entre traitements et que les facteurs étudiés soient identiques entre les répétitions d'un même traitement<sup>5</sup>. Nous avons donc travaillé par expérimentation en normalisant au maximum les techniques, sans toutefois y parvenir complètement.

L'étude de la variabilité suppose de définir des critères d'identification de l'état des plantes, jouant un rôle similaire au concept de vigueur utilisé par les maraîchers, mais plus objectifs. L'indicateur "vigueur" des maraîchers oriente cette recherche, mais d'autres indicateurs sont également testés. Etant donné l'objectif d'aide à la décision, il est indispensable que les critères proposés soient utilisables par les maraîchers ; pour cela, un aller-retour doit s'instaurer entre les enquêtes et les expérimentations, entre le discours des maraîchers et la bibliographie.

L'étude des effets de la variabilité intra-peuplement sur l'élaboration du rendement et de la qualité est orientée par notre démarche globale : nous ne cherchons pas à établir un modèle général du fonctionnement du peuplement hétérogène sous l'effet de la compétition entre plantes, mais à déterminer comment s'élabore la production de quelques peuplements hétérogènes (rythme de production, nombre et poids des organes...). Le protocole d'expérimentation est donc très simplificateur par rapport à ce que serait l'étude par un écophysiologiste des phénomènes de compétition entre plantes. Il consiste à distinguer dans la population plusieurs types de plantes et à les agencer dans l'espace de façon organisée. Nous faisons l'hypothèse qu'un tel dispositif simule correctement l'hétérogénéité des peuplements des maraîchers.

\* L'objectif de la troisième partie est de tester quelques règles d'action plante à plante sur les peuplements hétérogènes étudiés précédemment.

Les techniques manuelles se différencient les unes des autres par la marge de manoeuvre de l'acteur et par leurs effets sur la production. A partir des discours d'"experts" (chercheurs de la station d'Alénya, conseillers du développement), une grille a été établie (figure 8). Elle synthétisait l'état de nos connaissances en 1989 et constitue le point de départ de notre réflexion. Les techniques choisies dans cette partie doivent être adaptables plante par plante ; il faut donc que la marge de manoeuvre de l'opérateur soit importante. De plus, elles doivent avoir un effet important sur la production. C'est pourquoi, nous avons choisi trois techniques : Pécclaircissage et l'ablation de bouquet et l'effeuillage. Les techniques de régulation du nombre de fruits sont reconnues pour avoir un effet important sur la production. L'effeuillage prête plus à polémique : il est peu pris en considération par la plupart des maraîchers, mais les agronomes estiment que c'est souvent un facteur de réduction du rendement.

Les traitements expérimentaux sont de deux types :

- Certains simulent très directement les pratiques des maraîchers; telles qu'elles sont apparues dans la première partie.

- D'autres traitements ont été "inventés", à partir du modèle de fonctionnement de la plante et du peuplement établi dans la deuxième partie.

L'analyse des pratiques des maraîchers nous a conduit à ne pas définir les traitements

<sup>5</sup> Cette condition est, en fait, rarement satisfaite.

expérimentaux du point de vue du système biologique, mais du point de vue de l'acteur. Cependant, leur construction repose sur la connaissance de phénomènes biologiques tels que :

- **la compétition intra-plante**, donc l'équilibre sources-puits au sein de la plante,
- **la compétition inter-plantes**, et plus particulièrement l'interception de l'énergie lumineuse par un groupe de plantes.

**Les variables de sortie pertinentes pour les maraîchers sont :**

- **le rendement** (production par unité de surface) : il reste à l'heure actuelle un objectif majeur des maraîchers.

- **le rythme de production** : il conditionne le chiffre d'affaire, car le prix de vente de la tomate évolue au cours de la saison (annexe 1a) : nous avons signalé dans l'introduction qu'un changement est intervenu les dernières années, une production précoce (janvier) n'étant plus garante d'un prix de vente élevé. Cependant, comme les cours varient de façon aléatoire en cours de campagne, mais avec une tendance à la baisse, la date d'entrée en récolte reste un facteur important. Il en est de même du rythme de production, qui conditionne la part du rendement total commercialisable à une date donnée.

- **la qualité** : elle constitue un élément très important de la production, qui est toujours commercialisée en frais. Elle est définie à partir de caractéristiques visuelles (calibre, couleur, absence de tâches, régularité de forme...), organoleptiques (goût) et nutritionnelles (absence de résidus toxiques..., teneur en éléments minéraux, ...) (Cf normes dans l'annexe 3).

Faute de pouvoir prendre en compte de nombreux critères de qualité, d'autant que beaucoup sont subjectifs (forme, couleur, goût...), nous nous sommes limités à l'enregistrement du poids moyen des fruits, qui constitue la principale cause de variation du prix de vente (annexe 1a), donc du chiffre d'affaire, après le rendement (Codron, 1986). De plus, il est facilement mesurable car il fait appel aux mêmes variables que le rendement.

Le travail d'enquête et d'expérimentation s'est déroulé dans le **Sud de la France** (principalement dans les Pyrénées-Orientales), région où la culture de tomate sous serre est très développée. Les essais ont été conduits à la station INRA d'Alénia, située à proximité d'une importante zone de production, la ceinture verte de Perpignan.

L'étude porte sur une unique variété, ce qui permet de réduire le poids des interactions, d'une part entre la variété et les techniques, d'autre part entre techniques. En effet, chaque variété a des exigences relativement sévères quant au milieu et aux techniques : température de chauffage et d'aération, composition de la solution nutritive, nombre de fruits optimal par bouquet...

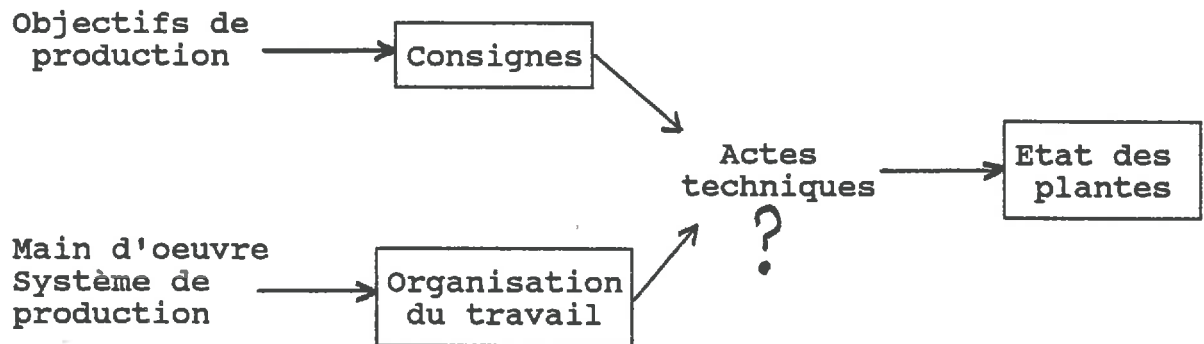
Nous avons choisi la **variété Capello**, très utilisée dans le Sud de la France car elle a un potentiel de production élevé (fruits nombreux et de gros calibre). De ce fait, la régulation de la charge en fruits joue fortement sur l'équilibre entre partie végétative et partie reproductive, donc sur l'élaboration du rendement et de la qualité.

**PREMIERE PARTIE**

**LES TECHNIQUES APPLIQUEES PLANTE PAR PLANTE  
DANS LES EXPLOITATIONS AGRICOLES**

FIGURE 1.1 : ELEMENTS DU PROTOCOLE D'ENQUETE

a) Les observations (encadrés = objets des enquêtes)



b) Position des périodes d'enquêtes dans le cycle cultural

Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil
Semis	Plantation		Début de récolte						Etêtage des plantes	Fin de récolte
<u>Périodes d'enquêtes :</u>			E1					E2		E3



## A - OBJECTIFS

Dans la problématique générale, nous avons montré l'intérêt, pour l'élaboration d'outils d'aide à la décision, d'analyser les pratiques de l'agriculteur et leurs déterminants. C'est pourquoi, dans la première partie, nous étudions la **conduite de la culture de tomate sous serre dans les exploitations maraîchères**. Rappelons que nous cherchons à répondre à 3 questions :

- la nature des **indicateurs d'état des plantes** utilisés dans la conduite de la culture,
- l'**appréciation et la prise en compte de la variabilité intra-peuplement**,
- la **mise en évidence de ses déterminants**.

Cette première partie participera à la construction des protocoles expérimentaux de la troisième partie, en définissant la marge de manoeuvre dont on dispose, notamment dans le **choix des techniques à tester**.

Nous avons vu dans la première partie de la problématique que l'action sur les plantes résulte de plusieurs étapes, qui font intervenir plusieurs personnes, depuis le "**décideur**" (maraîcher ou chef de culture) qui choisit les techniques jusqu'aux "**acteurs**", les ouvriers, le transfert d'information se faisant sous la forme de **consignes**.

Nous avons privilégié l'enregistrement des verbalisations du décideur (figure 1.1a), pour avoir accès aux **consignes de travail** et à l'**organisation du travail dans la serre**. Les **consignes de travail** révèlent la diversité des modes de conduite entre exploitations, et les **indicateurs d'action** que les maraîchers proposent à leurs ouvriers. Nous chercherons dans l'**organisation du travail** des justifications aux différents types de conduite et nous tenterons de définir des variables révélatrices des contraintes de l'exploitation. De plus, l'organisation du travail doit permettre de critiquer les consignes par rapport aux possibilités d'action effectives des ouvriers.

Lorsque plusieurs décideurs coexistent sur l'exploitation (le maraîcher et le chef de culture), nous nous sommes adressé à la **personne qui définit les consignes, les transmet aux ouvriers et encadre ces derniers, que nous appellerons "le serriste"**. Ce choix n'est pas neutre : nous faisons l'hypothèse que les différences de statut socio-professionnel (chef d'exploitation ou salarié) n'introduisent pas de biais dans le discours sur le fonctionnement, les objectifs et les contraintes de l'exploitation, bien que le chef de culture ne soit responsable que de la serre.

Malgré la grande place accordée aux verbalisations, **des observations ont été réalisées sur les plantes**. En effet, les actes techniques résultent à la fois des consignes du serriste et de leur interprétation par l'ouvrier ; observer le résultat sur les plantes donne donc accès à l'ensemble de la chaîne décisionnelle. Nous n'avons pas souhaité observer directement le travail des ouvriers, pour plusieurs raisons. D'une part, nous ne savions pas **quelles variables privilégier** pour caractériser en temps réel et de façon suffisamment précise et objective le travail des ouvriers. D'autre part, un certain nombre d'actions sont des **gestes inconscients**, qui risquent d'évoluer dès que l'opérateur est questionné.

L'observation du résultat des actions sur les plantes permet donc :

- d'observer si le discours du serriste concernant la réalisation des techniques se transforme effectivement en une action sur les plantes,
- de mettre en évidence d'éventuelles différences entre ouvriers, qui pourraient être liées à leur savoir-faire individuel.

## B - MATERIELS ET METHODES

### 1. LES VERBALISATIONS DU SERRISTE

#### 1.1 CHOIX DE L'ECHANTILLON

Le travail d'enquête s'est déroulé principalement sur une petite région agricole, qui est également celle où ont été conduits les essais : la "ceinture verte" de Perpignan (Pyrénées-Orientales).

Ainsi, les conditions climatiques sont homogènes. De plus, les techniques véhiculées par les conseillers agricoles sont très voisines : les exploitations enquêtées appartiennent à la même chambre d'agriculture, au sein de laquelle existe une véritable dynamique de groupe ; le transfert d'information entre conseillers ou entre maraîchers est fréquent. Le choix d'homogénéité du climat et de l'environnement technique présente un double avantage :

- il nous affranchit en partie des interactions entre climat et techniques étudiées,
- il permet de structurer les comparaisons entre exploitations, à la manière d'un dispositif expérimental : les différences entre modalités techniques d'une exploitation à l'autre, pour des calendriers culturaux et des climats identiques, révèlent une diversité de contraintes pour l'application d'une même technique.

Pour couvrir une large gamme de contraintes d'organisation, en particulier vis à vis de la concurrence des tâches, les principaux critères retenus sont :

- la surface de tomate sous serre : de 0.8 à 12 ha,
- la concurrence avec d'autres cultures : la serre représente de 20 à 100% de la SAU,
- le mode de commercialisation : directement par l'exploitant, par un groupement de producteurs, par une coopérative...

C'est pour augmenter la diversité que deux grosses exploitations ont été enquêtées hors de la ceinture verte de Perpignan (dans le Gard et le Vaucluse).

L'échantillon total comporte 9 exploitations. Ce nombre relativement faible s'explique par la nature des enquêtes : la puissance du dispositif provient non pas d'une analyse statistique, mais de l'étude approfondie d'un petit nombre de situations. De plus, bien que ce type d'enquête ait déjà été utilisé pour répondre à d'autres questions (Capillon, 1986), cette méthode reste en partie exploratoire, car on ne dispose pas *a priori* d'une grille d'analyse, ce qui nous a conduit à enregistrer un grand nombre d'informations.

#### 1.2 PERIODE ETUDIEE

L'étude porte sur la période d'entretien des plantes, qui s'étend de la plantation jusqu'au moment où on arrête la croissance végétative par étêtage (soit environ de novembre à juillet). La longueur de la période (quasiment tout le cycle cultural) permet d'analyser un processus qui est dynamique tant au niveau des plantes que du fonctionnement de l'exploitation : l'évolution de l'état des plantes sous l'effet du climat, l'apparition de nouvelles priorités entre cultures et de nouvelles tâches sur la culture de tomate est susceptible d'entraîner des changements des consignes et/ou de leurs conditions de réalisation.

### 1.3 SUIVI DES EXPLOITATIONS

Les serristes sont enquêtés à trois reprises, en début, milieu et fin de récolte (figure 1.1b).

Au cours de la première période, sont enregistrées les caractéristiques de l'exploitation : productions (surfaces, calendriers de culture, objectifs...), main d'oeuvre (évolution du nombre de salariés en cours de campagne, qualification, expérience...), ainsi que les consignes définies pour chaque technique, y compris celles qui sont automatisées. Les consignes des 3 techniques étudiées sont plus particulièrement approfondies.

La deuxième période permet de suivre l'évolution des consignes au cours du temps, et de comprendre l'organisation du travail sur la culture de tomate. Le serriste fournit un premier jugement sur les effets de l'itinéraire technique choisi en début de culture (notamment ses effets sur la vigueur des plantes), ce qui renseigne sur la nature des indicateurs utilisés dans le diagnostic global du serriste, et fait émerger son "modèle" de fonctionnement de la culture.

La troisième période complète les deux premières ; le serriste fournit un jugement sur l'ensemble de la campagne.

Les grandes lignes du questionnaire sont présentées dans l'annexe 4.

## **2. L'OBSERVATION DES PLANTES (en exploitations et en station expérimentale)**

Nous faisons l'hypothèse que les observations sur les plantes a posteriori permettent de juger le comportement de l'ouvrier. Ce choix entraîne cependant des pertes d'informations :

- On ne connaît pas la date des actions dont on observe le résultat ; il est donc impossible de relier les actions à l'état de la plante (stade de développement, vigueur), ni au fonctionnement de l'exploitation (pointes de travail...).

- On n'a accès qu'à une partie très réduite du comportement de l'ouvrier et on ne dispose d'aucune justification de sa part.

- Toutes les techniques ne sont pas observables de cette façon : nous nous sommes limités à la pratique d'éclaircissage. Nous verrons que c'est une des techniques pour lesquelles la conduite plante par plante se justifie le plus et où la consigne exprime le plus souvent l'idée d'adaptation.

### 2.1 CHOIX DE L'ECHANTILLON

Des observations ont été faites à la fois sur des exploitations et en station expérimentale. Dans les exploitations, on étudie la pratique d'éclaircissage en conditions réelles (notamment avec des contraintes de vitesse de travail) ; les données sont succinctes. Les observations en station expérimentale sont plus précises et permettent de mieux définir les critères d'action sur chaque plante. En revanche, on risque d'introduire un biais parce que l'acteur n'est pas soumis aux contraintes d'organisation d'une exploitation. Les deux démarches sont par conséquent complémentaires.

\* Les observations ont eu lieu sur 4 exploitations de l'échantillon précédent (situées autour de Perpignan), choisies pour leur diversité d'organisation du travail.

Le nombre et la position des placettes d'observation est lié à l'organisation du travail sur chaque exploitation (nombre d'ouvriers, répartition dans l'espace) et à l'hétérogénéité climatique propre à chaque serre. Le dispositif a donc été déterminé à l'issue de la première enquête. Chaque placette d'observation est constituée de 10 plantes successives sur le rang.

\* En station expérimentale, le traitement EXP de l'essai *Eclaircissage* (présenté dans la partie III) consiste en une expérimentation de type ergonomique : l'acteur, un ouvrier expérimenté, est chargé d'éclaircir des parcelles où alternent des plantes "vigoureuses" et des plantes "faibles"<sup>1</sup>. Aucune consigne d'éclaircissage n'est donnée et l'acteur n'est pas tenu au courant du déroulement de l'essai, ni enquêté oralement pour ne pas biaiser l'expérience.

## 2.2 NOTATIONS ET MESURES

Les principales observations consistent à noter le nombre de fruits total (NT), qui est le résultat du nombre de fleurs initiées par bouquet et de l'action d'éclaircissage. Ce nombre est réparti en 3 classes de diamètre :

- N1 : fruits de diamètre supérieur à 20 mm, taille au delà de laquelle les serristes estiment qu'il n'y a plus d'avortement,
- N3 : organes de moins de 5 mm de diamètre (fleurs ou fruits ayant avortés),
- N2 : classe intermédiaire (5-20 mm).

Cette subdivision en classes permet de juger à la fois le fonctionnement de la plante et la qualité de la production. En effet, la classe N1 représente les fruits les plus susceptibles d'être de bonne qualité (calibre, couleur). La classe N2 rassemble deux types de fruits : certains, en grossissant, rejoignent la classe N1 ; les autres donneront des fruits petits et vitreux, non commercialisables. Ces fruits, comme les organes de la classe N3, réduisent la quantité d'assimilats disponibles pour les autres fruits, sans augmenter le rendement ni la qualité.

Le suivi de plusieurs bouquets (4 à 6 suivant les cas, tous ayant dépassé le stade de la nouaison) permet d'enregistrer les effets de :

- l'interaction entre le climat et l'état de la plante, puisque les différents bouquets d'une même plante ont noué dans des conditions de vigueur et de climat différentes,
- un changement éventuel de la consigne d'éclaircissage au cours du temps.

Sur les exploitations, ces observations sont réalisées à une seule date (période E2). En station, elles ont lieu à deux reprises (février et juin), et pour chacune avant et après éclaircissage.

---

<sup>1</sup> Les plantes "vigoureuses" et "faibles" sont respectivement les plantes No et Ro dans les expérimentations (parties II et III).

TABLEAU 1.1 : CARACTERISTIQUES DES EXPLOITATIONS DE L'ECHANTILLON

EXPL.	SAU (ha)	SV (%)	SURFACES (ha)		Familiale	MAIN D'OEUVRE	
			Vergers froids	Abris plast. chauffés		Permanente Chef de cult. ouvriers	Temporaire
1	1.6	63		0.6 (S,T)	1.5	4	2
2	3	27	1.0 (S,M)	1.2 (S,M,T)	2	5	2-3
3	10.9	10	8	1.8 (S,T)	3	6	4-5
4	37.5	3	36	0.4 (T)	1	11	20-25
5	6	17			4	22-24	5-10
Tomate	1	100	5 (PL)		1	4	3
6	0.8	100		0.8	1	4	2-3
7**	5	100		5	0	12	8
8	4.8	100		4.8	0	10	14
9**	13.5	100		13.5	0	14	50

SAU : Surface Agricole Utile

SV% : Pourcentage de la SAU occupée par la Serre en Verre

T : Tomate S : Salade

M: Melon PL: Petits Légumes

\* Uniquement la tomate, variété Capello

\*\* Les exploitations 7 et 9 sont localisées respectivement dans le Vaucluse et le Gard.

## C - RESULTATS

Après avoir caractérisé le collectif de travail sur chaque exploitation, nous étudierons successivement les consignes, l'organisation du travail et le résultat de l'action sur les plantes, qui sont 3 moyens pour caractériser indirectement les actes cultureux.

### 1. CARACTERISATION DU COLLECTIF DE TRAVAIL SUR LA CULTURE DE TOMATE

Dans ce chapitre, l'analyse du collectif de travail permet de montrer la diversité des moyens humains mis en oeuvre dans la culture de tomate, du fait notamment des concurrences des autres productions de l'exploitation (tableau 1.1).

#### 1.1 LES PRODUCTIONS

Les exploitations ayant des cultures sous serre, du fait de la sophistication des techniques, sont généralement très spécialisées. Dans notre échantillon, la tomate sous serre est l'unique production pour quatre exploitations (6, 7, 8, 9). Seules deux exploitations possèdent des cultures de plein champ, et il s'agit de vergers (3, 4). Les autres exploitations associent à la culture de tomate sous serre du maraîchage sous abris (tomate, salade, melon, mini-légumes).

La production sous serre étant très intensive, les surfaces sont faibles :

- de l'ordre de 1 hectare pour les exploitations de taille familiale (1, 2, 3, 4, 5, 6),
- de 5 à 10 hectares pour les sociétés (7, 8, 9).

#### 1.2 LA MAIN D'OEUVRE

Le collectif de travail comprend des salariés permanents et temporaires. L'arrivée du personnel temporaire coïncide généralement avec le début de la récolte de tomate sous serre, mais elle est légèrement différée sur quelques exploitations de polyculture, parce qu'elle dépend également des autres cultures et de la quantité totale de main d'oeuvre.

Par exemple, sur l'exploitation 2, la main d'oeuvre à l'année est suffisamment importante pour assurer le début de récolte de la tomate sous serre ; l'arrivée des temporaires est rendue nécessaire par le pic de production de la tomate Prisca à croissance déterminée.

Parfois, des salariés occasionnels sont embauchés pour faire face à une pointe de travail de courte durée (2,3).

Les exploitations ayant une grosse surface de serre (7, 8, 9) emploient un **chef de culture**, responsable de la conduite du milieu (climat, ferti-irrigation) et de l'encadrement du personnel; il dispose sur les 3 exploitations citées d'une grande autonomie, le chef d'exploitation étant accaparé par les tâches de commercialisation.

Certains maraîchers ayant une surface en serre réduite adoptent ce même système, pour conduire les différentes activités de l'exploitation de façon aussi indépendante que possible. Le chef de culture a, soit une unique mission d'encadrement (5), soit un statut de chef d'équipe qui travaille sur les plantes, comme le reste du personnel (4).

Dans les autres exploitations, où les différentes cultures sont très imbriquées, c'est le maraîcher lui-même qui remplit cette fonction.

**TABEAU 1.2 : LES CONSIGNES D'ECLAIRCISSEMENT, D'ABLATION DE BOUQUET ET D'EFFEUILLAGES**

TECHNIQUE	CONSIGNES	EXPL
<b>ECLAIRCISSEMENT</b>	Laisser ... fruits par bouquet * Laisser ... fruits et supprimer les fruits déformés * Laisser au maximum ... fruits après avoir supprimé les fruits déformés * Obtenir un bouquet avec des fruits non déformés et de calibre régulier	1,8,9 2,4,6 5,7 3
<b>ABLATION DE BOUQUET</b>	Pas d'ablation de bouquet Ablation du bouquet n°... sur toutes les plantes * Ablation du bouquet n°... dans les zones chaudes de la serre * Ablation du bouquet n°... "s'il sort mal" * Ablation du bouquet n°... "s'il sort mal ou que la plante est fine"	2,4,5,8,9 4,8 6,7 3 1
<b>EFFEUILLAGES</b>	Supprimer ... feuilles * Supprimer au maximum ... feuilles, en s'arrêtant au bouquet en cours de récolte * Avant la première récolte, supprimer la feuille qui cache le bouquet * Laisser une feuille sous un bouquet vert et aucune sous un bouquet au stade tournant	2,4,9 1,3,6,8 1 5,7

Sur les exploitations 4 et 8, à chaque date de semis correspond une consigne d'ablation de bouquet. Le symbole \* indique que la consigne contient une règle d'adaptation plante par plante.

Les ouvriers, qu'ils soient temporaires ou permanents, n'ont généralement pas de qualification spécifique. Les expériences antérieures ne sont perçues comme positives que si elles concernent des modes de conduite très proches (tomate sous serre ou chapelle plastique). **C'est donc avant tout la formation du personnel sur l'exploitation (et notamment le nombre d'années passées sur l'exploitation), en interaction avec ses facultés individuelles (sens de l'observation...), qui déterminent ses capacités.** Par conséquent, il n'existe pas de variable simple (synthétique et indépendante du serriste) pour caractériser les capacités de chaque membre du personnel, ce qui est un inconvénient majeur dans une démarche d'enquête : **c'est l'observation des actions ou de leurs effets sur les plantes qui permettront une caractérisation a posteriori de l'opérateur.**

Le chef de culture a généralement une formation spécifique (niveau BTS) et une bonne expérience de la culture de tomate sous serre.

### 1.3 LE COLLECTIF DE TRAVAIL SUR LA TOMATE

Sur les exploitations où la tomate est l'unique production (6, 7, 8, 9), le collectif de travail sur tomate est clairement défini. Le nombre d'ouvriers (permanents et temporaires) est calculé pour éviter les pointes de travail systématiques.

Dans le cas où plusieurs productions coexistent sur l'exploitation, les principaux équipements nécessaires à la culture de tomate étant fixes (infrastructure de la serre) ou strictement spécifiques (chariots de palissage), la concurrence entre cultures ne porte que sur la main d'oeuvre.

Les exploitations de polyculture peuvent être scindées en deux groupes:

- spécialisation du personnel par culture, y compris le personnel d'encadrement ; les exploitations concernées (4, 5) s'apparentent du point de vue de l'organisation du travail à des exploitations de monoproduction, la majeure partie du temps.

Cependant, sur l'exploitation 4, il y a réorganisation des équipes soit en cas de pointe de travail sur l'une ou l'autre des activités (vergers et tomate), soit en cas de météo défavorable (tout le personnel travaille dans la serre en cas de pluie). Sur l'exploitation 5, il y a très rarement transfert de personnel d'une activité à l'autre ; les pointes de travail sont résolues par des heures supplémentaires.

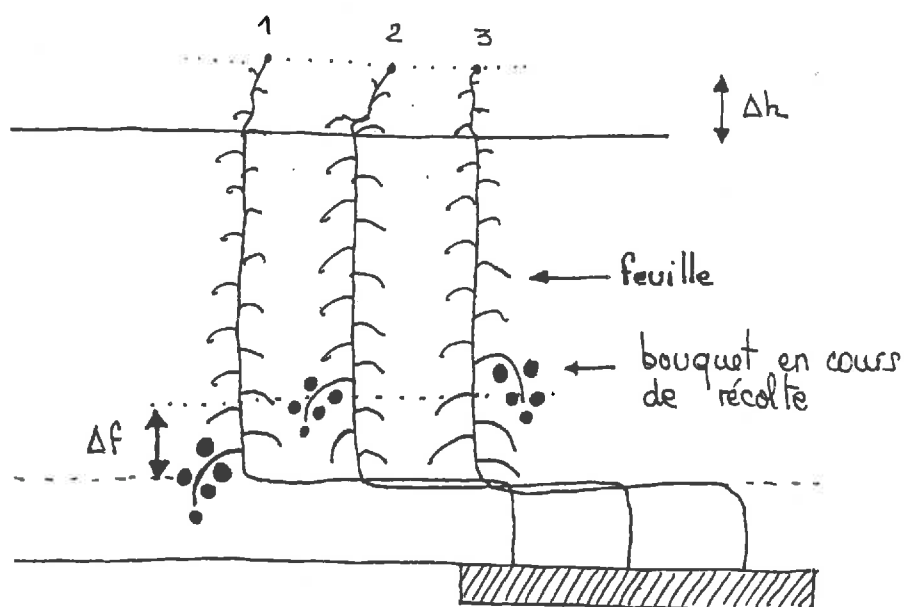
- pas de spécialisation du personnel par culture. C'est le cas des exploitations de taille réduite (1, 2, 3) ; c'est alors la concurrence entre cultures qui détermine le collectif de travail sur tomate, il peut être très changeant d'un jour à l'autre. En particulier, il arrive qu'une partie ou la totalité de l'équipe arrête son travail dans la serre pour une activité plus urgente sur une autre culture.

Aucune étude économique n'a été faite dans le cadre des enquêtes. Cependant, compte tenu des surfaces cultivées et des niveaux d'investissement, on peut raisonnablement penser que la culture sous serre est économiquement prioritaire, du fait d'une marge nette élevée et du niveau des capitaux immobilisés. Mais, dans l'organisation du travail, cette priorité est, en fait, loin d'être systématique. S'il y a concurrence entre la tomate sous serre et les autres cultures, mais que chacune des tâches peut-être repoussée de quelques jours sans conséquences irrémédiables, la tomate est effectivement prioritaire. Par contre, s'il existe une date butoir pour une autre culture, la tomate peut alors passer alors au second plan ; il s'agit en général des

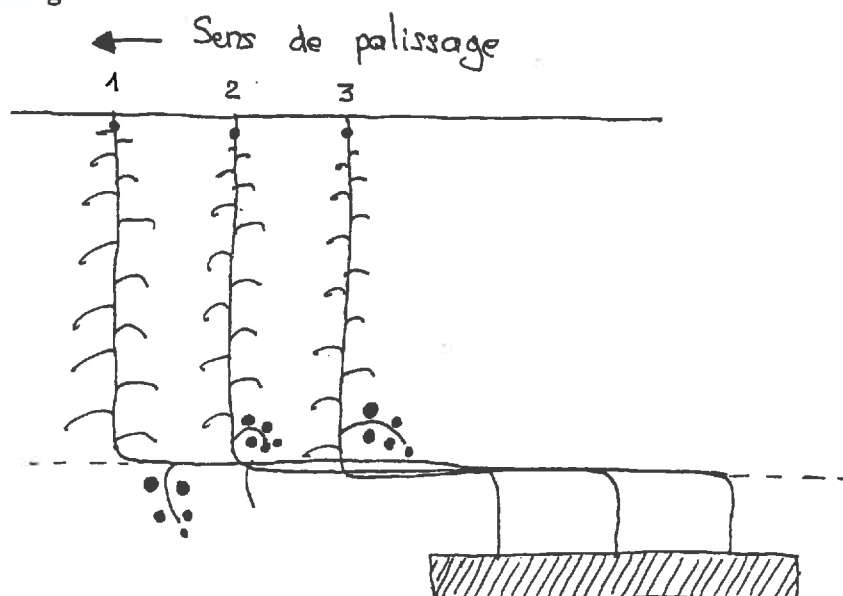


FIGURE 1.2 : L'OPERATION D'EFFEULLAGE,  
PRISE EN COMPTE SIMULTANEE DE LA PLANTE ET DU PEUPEMENT

a) Avant palissage



b) Après palissage



Sur les plantes 2 et 3, il est possible de respecter simultanément :

- les exigences de la plante (1 feuille sous le bouquet en récolte),
- les exigences du peuplement ( $\Delta f$  : Hauteur d'effeuillage imposée par la hauteur de palissage  $\Delta h$ ).

Sur la plante 1, un choix doit être fait entre les deux alternatives.

périodes de récolte des autres productions (salade, tomate sous abris plastiques), pour lesquelles la date conditionne fortement la qualité du produit et notamment sa durée de conservation.

**Il existe donc une grande diversité de situations, depuis les grosses exploitations où le collectif de travail est qualitativement et quantitativement stable, jusqu'aux exploitations de polyculture, où le nombre et l'expérience des personnes qui interviennent sur la tomate sont beaucoup plus variables en cours de campagne.**

## 2. LES CONSIGNES VERBALISEES

### 2.1 LA PLACE DE LA CONDUITE PLANTE A PLANTE DANS LES CONSIGNES

Le tableau 1.2 récapitule les consignes verbalisées par les serristes pour les 3 techniques. Les consignes concernant les autres techniques sont récapitulées dans l'annexe 5.

Une consigne décrit la façon de réaliser l'opération technique sur les plantes. Elle ne comporte pas, en général, d'indication de temps (date, stade ou fréquence d'intervention), ni de type de personnel concerné. Comme chaque consigne décrit une technique un jour donné, elle ne révèle pas les interactions entre techniques ; c'est le serriste, lorsqu'il définit la consigne, qui intègre ces interactions avec les autres techniques manuelles, les techniques automatisées (ferti-irrigation, micro-climat de la serre) et le climat extérieur.

Dans un certain nombre de cas, la consigne tolère, voire impose, une marge de manoeuvre autour de la norme, en fonction de différents critères d'état de la plante (aspect du fruit, du bouquet, de l'appareil végétatif, stade de développement du bouquet...) ou du milieu (caractéristique locale du climat). Mais le degré d'adaptation de la consigne et la nature de l'indicateur à observer varie d'une exploitation à l'autre et d'une technique à l'autre : il semble que la consigne prévoit plus fréquemment une adaptation de la consigne pour l'éclaircissage et l'ablation de bouquet que sur l'effeuillage. D'autres techniques, comme l'ébourgeonnage ou le palissage, présentent certes une diversité entre exploitations. Mais sur une exploitation donnée, la consigne ne laisse aucune marge de manoeuvre, soit que l'opération n'est pas adaptable, soit que cela ne présente aucun intérêt agronomique évident.

Certains éléments dans la façon de réaliser une technique n'apparaissent pas dans la consigne, car ils se répètent identiques à eux-mêmes d'une semaine à l'autre, voire d'une année à l'autre, et sont donc bien connus des ouvriers. En particulier, le discours du serriste montre que l'action sur une plante est plus ou moins conditionnée par celle sur les plantes voisines :

- pour les techniques de régulation de la charge en fruits (éclaircissage et ablation de bouquet), l'adaptation de la technique à chaque plante peut se faire indépendamment des plantes voisines.

- la consigne d'effeuillage peut être plus ou moins modulée plante par plante mais la marge de manoeuvre est faible, car sur l'ensemble des plantes d'une rangée il faut maintenir une hauteur relativement constante (à 10-20 cm près) pour permettre de descendre et palisser les tiges, sur une longueur qui est nécessairement identique sur toutes les plantes (figure 1.2).

**TABEAU 1.3 : DEFINITION DE LA VIGUEUR**

Verbalisations du serriste	Critères	Exploitations									% de citation	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9		
"le diamètre est faible" "la tête est fine" "la tête s'affine" "la plante file"	DIAMETRE DE LA TIGE	1	2	1	1	1	2	1	2	1	1	100
	LONGUEUR DES ENTRE-NOEUDS	1	2	2	2	1	1	2	2			67
	COULEUR DU FEUILLAGE	2			3	4	4	4	3			56
	VOLUME DU FEUILLAGE	3										
"la plante frise" "la plante fait un pompon" "la plante fait un chignon" "la plante se recroqueville"	PORT DU FEUILLAGE			4	5	2	3			4		56
	ALLURE DU BOUQUET - avant floraison - après floraison	4	3			3		1			2	44 22
	DISPARITION DE RACINES		4	4	4		2					33

Le chiffre indique l'ordre d'apparition du critère dans le discours.

Les interactions entre techniques ne sont jamais prises en considération à l'échelle de la plante, lorsqu'il y a adaptation. Les serristes estiment que la conduite plante à plante est déjà suffisamment difficile à exiger pour une technique ; il n'est pas souhaitable de compliquer les opérations (augmentation des risques d'erreur, diminution de la vitesse de travail). Mais il semble que certains ouvriers très expérimentés et les serristes, lorsqu'ils travaillent eux-mêmes sur les plantes, prennent en charge les interactions, pour certaines techniques du moins.

Par exemple, sur une plante très faible, en plus d'une réduction du nombre de fruits (par ablation, éclaircissage ou les deux simultanément), l'effeuillage sera réduit au strict nécessaire, l'ébourgeonnage fait très précocement.

## 2.2 LA PRISE EN COMPTE DE L'ETAT DES PLANTES DANS LES OPERATIONS TECHNIQUES

### *2.2.1 Les indicateurs d'état du peuplement utilisés par le serriste dans l'élaboration de la consigne*

Les enquêtes ont conduit à identifier deux indicateurs utilisés par les serristes dans l'élaboration des consignes : la vigueur et la charge en fruits.

#### a) La vigueur

Pour définir le terme de vigueur, le vocabulaire des serristes est très variable (tableau 1.3). Cependant, il est possible de regrouper les différents éléments de la définition dans de grandes catégories, que l'on retrouve chez presque tous les serristes, ce qui leur donne un caractère général.

La majeure partie des critères vise à estimer le fonctionnement de l'appareil végétatif :

- **Pétiolement**, qui joue sur la croissance en longueur des entre-noeuds et le diamètre de la tige est un indicateur de faiblesse. Le serriste caractérise soit un état ("la plante est fine"), soit une évolution ("la plante file"). Dans les deux cas, c'est sur la partie terminale de la plante, où se trouvent les organes en croissance, que se porte l'attention.

- **le port du feuillage** : lorsque les feuilles mûres ont un port horizontal, ou que les jeunes feuilles font un "chignon" (recroquevillées sur elles-mêmes le matin et/ou le soir), la plante est jugée vigoureuse,

- **la couleur du feuillage** : des feuilles vert-jaune sont signes de faiblesse,

- **le "volume" de l'appareil végétatif** : impression globale qui rassemble à la fois la longueur des feuilles, leur épaisseur, leur port et l'étiollement éventuel.

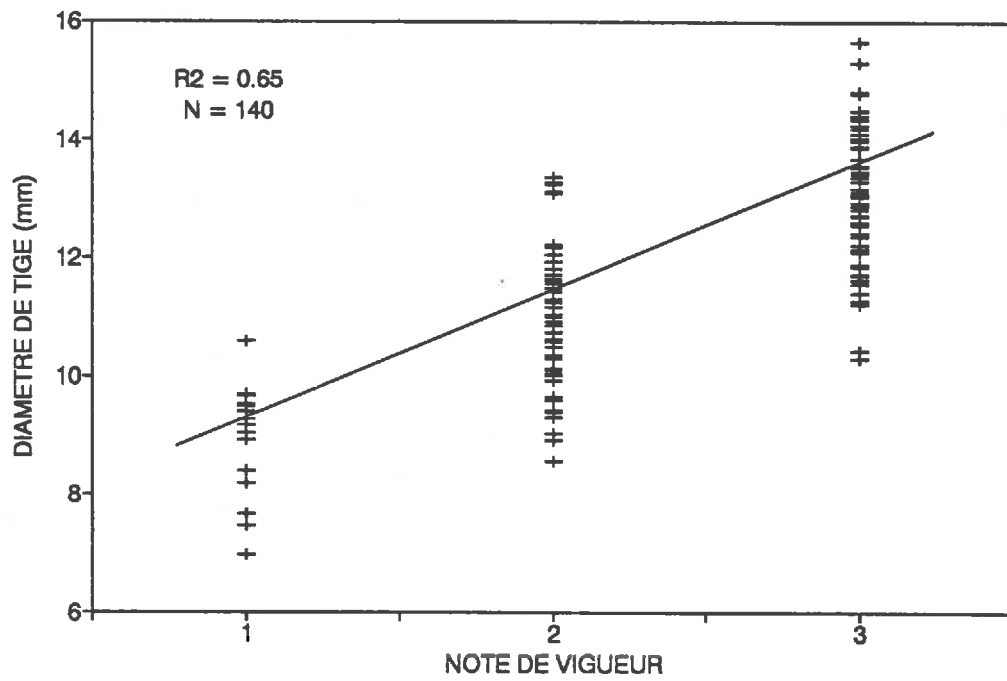
Le fonctionnement de l'appareil racinaire est observé à travers :

- **l'abondance de racines mortes**, repérées par leur couleur brune,

- **la présence de racines adventives sur la tige**, au niveau du collet,

- **les carences des feuilles en éléments minéraux** (magnésium et chlore notamment), qui traduisent la difficulté de la plante à absorber certains éléments minéraux (si toutefois la cause n'est pas un déséquilibre de la solution nutritive).

FIGURE 1.3 : RELATION ENTRE NOTE DE VIGUEUR ET DIAMETRE DE LA TIGE



**Données :** Essai *Ablation*

**Variables :**

- Note de vigueur, de 1 à 3, donnée après observation de chaque plante par un expert de la station d'Alénaya (ouvrier expérimenté).
- Diamètre de la tige : mesure après arrêt de croissance sur le sympode 4.

Parmi l'ensemble de ces critères, le diamètre de tige et la longueur des entre-noeuds sont cités par tous les serristes en première position, ce qui est confirmé pour le diamètre sur la figure 1.3. Mais le diamètre n'explique pas à lui seul toute la variabilité de vigueur ; les autres critères ont un poids beaucoup plus variable. Comme l'enquête ne s'est pas déroulée devant les plantes (sauf l'exploitation 5), il n'est pas possible d'expliquer précisément la variabilité des autres critères. Mais elle pourrait indiquer soit une divergence de définition entre serristes, soit un biais lié à l'état de chaque culture au moment de l'enquête.

**La vigueur est un indicateur de l'équilibre entre appareils végétatif et reproducteur. C'est pourquoi, elle est parfois caractérisée par ses conséquences sur l'appareil reproducteur :**

Sur une plante faible, le bouquet "sort mal": avant la floraison, le pédoncule est court, très mince, le bouquet a peu de fleurs, qui avortent souvent avant épanouissement. Si la floraison a lieu, le bouquet présente des défauts de nouaison, un avortement précoce des fruits, les fruits restants sont creux ou de petit calibre.

Cependant, d'autres facteurs peuvent engendrer les mêmes symptômes (faible rayonnement ou forte température avant la nouaison, mauvaise pollinisation par les bourdons, phyto-toxicité). La surveillance de la culture nécessite donc non seulement l'observation des plantes, mais aussi l'enregistrement de multiples autres facteurs.

**Inversement, le nombre de fruits joue sur la croissance végétative, donc sur la vigueur.** Or, l'équilibre entre croissance végétative et reproductrice est artificiel, puisqu'il provient des opérations de taille (fleurs, fruits, bourgeons, feuilles). Le raisonnement de ces opérations, bien qu'empirique chez les serristes, trouve sa justification dans la théorie "sources-puits".

- Les puits sont supprimés aussi précocement que possible, en particulier les jeunes organes (fleurs, bourgeons). L'ablation de bouquet sur les plantes faibles permet de réduire le nombre de fruits sur la plante. Les fruits sont récoltés au stade "tournant" (avant maturité), pour des raisons de qualité (meilleure conservation des fruits), mais aussi pour éviter l'affaiblissement des plantes.

- Les sources (feuilles) sont supprimés aussi tard que possible, comme en témoignent les signes d'effeuillage.

**Il est donc possible de dégager du discours des serristes une définition de la vigueur, dont les critères sont plus ou moins reliés à des phénomènes physiologiques.**

**La grande difficulté réside dans le passage du concept de vigueur à la caractérisation de l'état d'une plante ou d'un peuplement.**

Très souvent, l'estimation de la vigueur d'une plante se fait par comparaison avec d'autres individus (d'autres plantes de la même serre, les plantes d'une autre serre, la culture d'une autre année...), ce qui relève d'un processus d'apprentissage. On peut, par conséquent, se demander s'il existe une vigueur absolue ou si elle est toujours définie de façon relative, en fonction des expériences antérieures du serriste.

L'estimation de la vigueur d'un peuplement est encore plus complexe, puisqu'elle repose sur une synthèse d'informations obtenues à l'échelle des plantes. Faute d'observation du serriste en train de faire un diagnostic, aucun résultat précis n'a été apporté. Mais il est probable que le processus d'agrégation des informations ne consiste pas seulement en une

**TABLEAU 1.4 : LES HYPOTHESES DU MODELE DE CALCUL DE LA CHARGE EN FRUITS**

**H1 : La vitesse de floraison des bouquets est linéaire et identique sur toutes les exploitations**

Cette hypothèse est assez bien vérifiée; elle s'appuie sur une quasi-linéarité de la vitesse de développement en fonction du temps, exprimé en somme de degrés-jours. A cause du chauffage, on peut considérer en première approximation que la température dans la serre est constante (tant que la température extérieure est inférieure à la consigne de chauffage). De plus, la variété étant assez exigeante du point de vue de la température, la consigne de chauffage est relativement stable entre exploitations. Par contre, une réduction de la vitesse de croissance (résultant par exemple d'un déséquilibre entre offre et demande) peut entraîner un ralentissement de la vitesse de développement ; nous avons négligé ce phénomène.

**H2 : La maturité du bouquet B1 coïncide avec la floraison du bouquet B9**

Cette hypothèse résulte de la relative adéquation entre les vitesses de floraison et de maturation. Ce qui nous intéresse ici est un ordre de grandeur, pour positionner la date de début de récolte par rapport à l'évolution du rayonnement solaire. Cette hypothèse est vérifiée sur toutes les exploitations à un bouquet près.

**H3 : Le nombre de fruits par bouquet est égal à la consigne d'éclaircissage**

C'est sans doute l'hypothèse la plus importante, parce qu'elle est contestable, et qu'elle conditionne fortement les résultats du modèle. Cette hypothèse est fautive principalement dans deux cas :

- lorsque le nombre de fleurs est inférieur à la consigne (situation fréquente sur plantes affaiblies),
- lorsque le taux de nouaison est faible (cas où la consigne d'éclaircissage est trop élevée par rapport à la vigueur des plantes).

Ce modèle fixe donc une charge maximale, la charge réelle étant d'autant plus éloignée du maximum que celui-ci est élevé et/ou que les plantes sont faibles.

**H4 : Quand le bouquet Bn fleurit, sa charge en fruits passe instantanément de 0 à la valeur de la consigne d'éclaircissage**

Cette hypothèse n'a pas un poids important dans le raisonnement, parce qu'on réalise la même erreur sur tous les calculs et qu'on procède par comparaison.

**H5 : A partir de la récolte du bouquet B1 et en l'absence de changement d'itinéraire technique, la charge en fruits est constante**

Cette hypothèse est justifiée par le fait que la vitesse de maturation est à peu près égale à la vitesse de floraison.

moyenne des vigueur de l'ensemble des plantes, mais qu'il existe **une valeur seuil, au delà de laquelle le serriste considère le peuplement comme faible et décide d'intervenir**. La façon dont les données sont synthétisées est d'autant plus importante à prendre en compte qu'il existe une forte variabilité intra-peuplement.

### **b) La charge en fruits**

Du fait des corrélations entre appareils végétatif et reproducteur, et parce que les serristes ont un objectif de production de fruits, il existe un second indicateur d'action, la **charge en fruits**, qui est le nombre de fruits présents sur la plante à un instant donné. Les techniques d'éclaircissage et d'ablation de bouquet visent à réduire cette charge.

**La charge en fruits maximale peut être recalculée à partir des consignes des serristes au moyen d'un modèle simple**, dont les hypothèses sont récapitulées dans le tableau 1.4.

Sur les exploitations enquêtées, la charge maximale<sup>2</sup> varie de 28 à 42 fruits et dépend des facteurs suivants (figure 1.4) :

- le nombre de fruits par bouquet (qui provient de la consigne d'éclaircissage),
- l'ablation ou non d'un bouquet,
- le stade de récolte (vert-mâturation ou tournant).

**Une même charge en fruits peut provenir de conduites différentes**. Ainsi, la charge en fruits sur l'exploitation 9 est identique à celle de l'exploitation 8, malgré un nombre de fruits par bouquet supérieur, parce que le premier bouquet est récolté au stade vert. Il est possible que la façon dont la charge est atteinte n'ait pas les mêmes effets sur la vigueur et le rendement, mais on se limite à étudier ici la charge en début de récolte.

A l'exception des exploitations 4 et 9, **il existe une relation lâche mais positive entre la date de semis et la charge maximale tolérée** (figure 1.5a) : plus la date de semis est précoce, plus la charge en fruits est faible, ce qui se vérifie aussi bien d'une exploitation à l'autre, qu'à l'intérieur d'une exploitation pour des compartiments de serre semés à des dates différentes (8a et 8b). Les exploitations proches de la droite (1, 3, 4b, 5, 6, 7) suivent les préconisations des conseillers agricoles. Sur les autres, le nombre de fruits est très supérieur pour une même date de semis et nous verrons ultérieurement les conséquences sur la production.

**Il existe donc probablement, chez les serristes, une relation empirique entre le rayonnement disponible** (variable d'une date de semis à l'autre) **et le nombre de fruits supporté par une plante**, qui les conduit à ajuster la charge en fruits pour maintenir une vigueur suffisante.

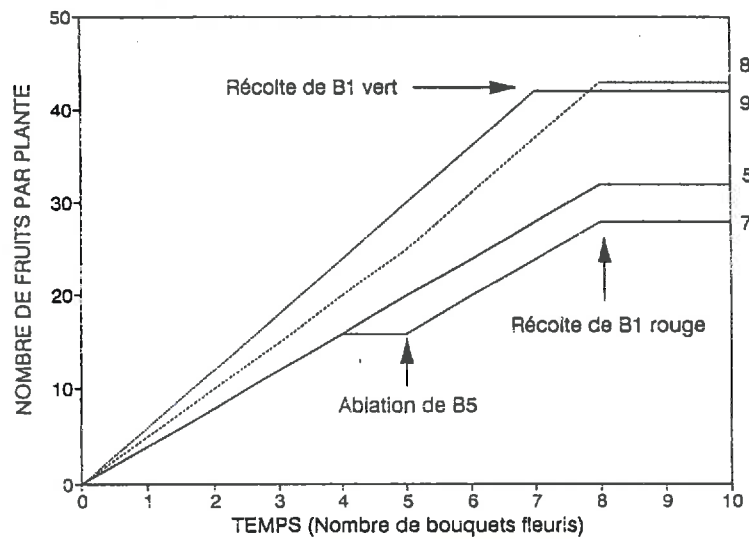
Pour confirmer l'hypothèse précédente, on représente la charge maximale en début de récolte en fonction du rayonnement cumulé entre la floraison des bouquets 5 et 8 (figure 1.5b), soit une durée d'environ 3 semaines à un moment où les risques d'affaiblissement sont très élevés. Pour tous les points proches de la droite, la consigne a été adaptée au rayonnement disponible.

**La charge en fruits est donc bien un critère d'action pour les serristes, et une variable intermédiaire** entre les techniques de régulation du nombre de fruits et le rayonnement.

<sup>2</sup> Nous nous intéressons désormais à la charge maximale juste avant le début de la récolte, car il s'agit d'une période critique où le risque d'affaiblissement est élevé.

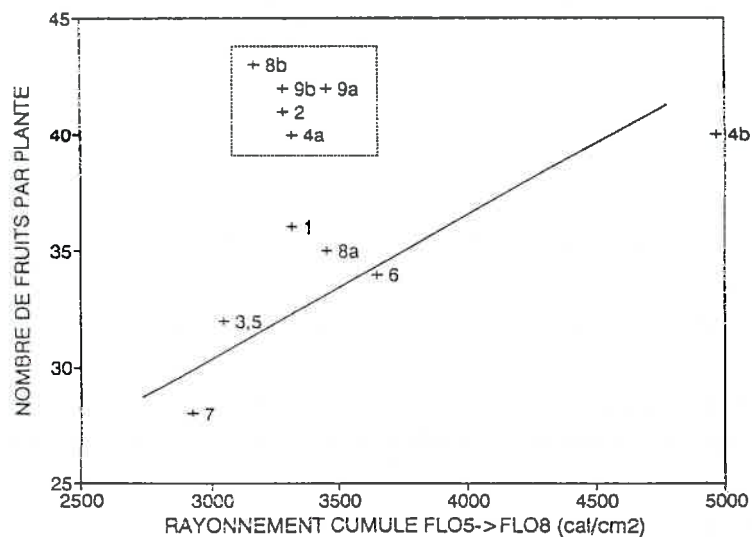
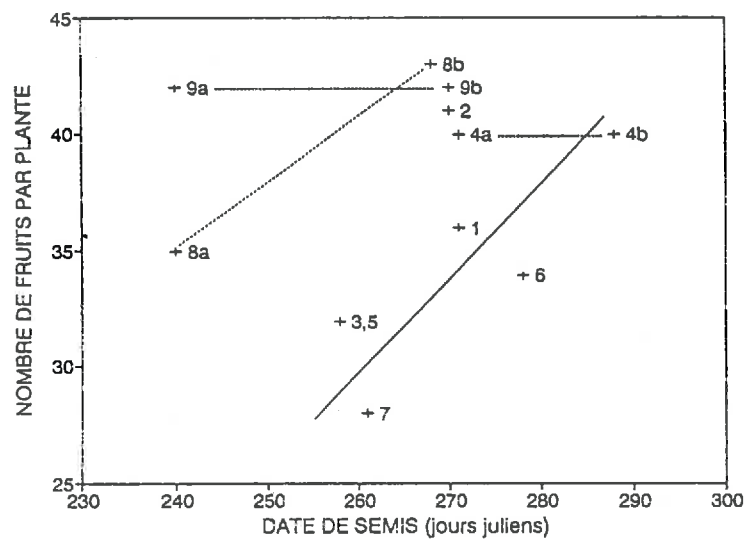


**FIGURE 1.4 : FACTEURS DE VARIATION DE LA CHARGE EN FRUITS MAXIMALE**



Les chiffres à droite du graphique indiquent le numéro de l'exploitation

**FIGURE 1.5 : ADEQUATION ENTRE CHARGE EN FRUITS MAXIMALE ET DATE DE SEMIS**



**Les autres exploitations (9a et 9b, 8b, 2, 4a) ne suivent pas ce modèle.**

Rappelons que le modèle précédent calcule la charge en fruits maximale. Or, lorsque celle-ci est trop élevée, des avortements de fruits isolés ou de bouquets ont lieu. Certains serristes laissent volontairement trop de fruits, comptant sur les capacités de régulation propres à la plante (réduction de la croissance végétative, puis avortement de fruits). Sur l'exploitation 4 où un même itinéraire technique a été appliqué sur deux compartiments semés à des dates différentes, le serriste a observé une perte de vigueur sur le semis précoce (4a) : jaunissement du feuillage, bouquet sortant mal, mauvaise nouaison et avortements de fruits. Il estime a posteriori qu'une ablation aurait été souhaitable.

Les conséquences sur la qualité des fruits seront étudiées ultérieurement. Signalons cependant que laisser trop de fruits sur la plante entraîne une irrégularité dans la production : lorsque les plantes s'affaiblissent, un à deux bouquets consécutifs avortent quasiment à la même période sur toutes les plantes, ce qui entraîne une chute de production temporaire 50 à 60 jours plus tard. Ce phénomène cyclique tend ensuite à s'amplifier (périodes de forte production et faible croissance végétative, suivies de nombreux avortements, qui permettent une reprise de la croissance végétative, etc...)

**Ces résultats doivent être nuancés :**

Outre les hypothèses de base du modèle, qui ne sont que partiellement vérifiées, de nombreux facteurs éventuellement en interaction sont négligés :

- *les autres techniques culturales* : ferti-irrigation, chauffage, lutte contre les maladies et les parasites... La densité de plantation, bien que jouant un rôle très important sur la relation entre offre et demande en assimilats carbonés peut être négligée, car elle est très peu variable entre exploitations.

- *la qualité du verre de la serre*, qui joue sur le pourcentage de rayonnement transmis à l'intérieur de la serre, donc le rayonnement incident,

- *l'indice foliaire*, qui joue sur l'interception du rayonnement incident : il varie fortement non seulement en fonction de la vigueur, mais aussi de la technique d'effeuillage (suivant que les feuilles éliminées sont photosynthétiquement actives ou sénescentes).

Il serait également souhaitable de valider ce modèle par observation de la charge en fruits réelle sur la plante.

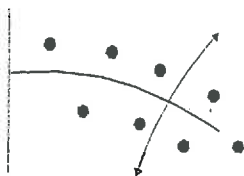
Cependant, bien que ce modèle soit très simple, il montre que **les consignes de régulation du nombre de fruits contiennent un objectif implicite de charge en fruits**. Il justifie que le concept de charge en fruits soit utilisé par les serristes comme **une variable intermédiaire pour raisonner l'itinéraire technique en fonction de la vigueur**. De plus, **il s'appuie sur une réalité agronomique (équilibre entre offre et demande en assimilats)**.

La vigueur est donc un **indicateur de l'état végétatif du peuplement, qui sert à fixer certaines consignes**. Pour les techniques de régulation du nombre de fruits, ce concept est remplacé par celui de **charge en fruits**, qui est plus directement relié aux pratiques d'éclaircissage et d'ablation de bouquet.

FIGURE 1.6 : LES CRITERES DE CONDUITE PLANTE A PLANTE  
DANS LA TECHNIQUE D'ECLAIRCISSEMENT DE BOUQUETS

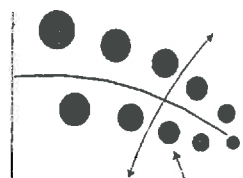
1) Suppression de la "queue de bouquet" (opération Q)

\* Stade fleur



\* Stade fruit

*Respect de la consigne*



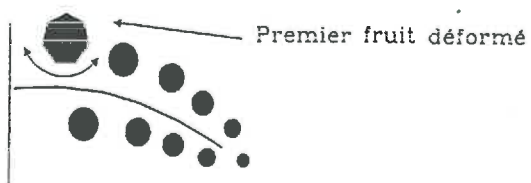
Fruits de qualité correcte

*Adaptation de la consigne*



Fruits vitreux et de petit calibre

2) Suppression du premier fruit (opération FR1)



## 2.2.2 Les indicateurs utilisés par les ouvriers dans la conduite plante à plante (tableau 1.2)

### a) L'éclaircissage de bouquet

L'éclaircissage peut se décomposer en deux actes simples (figure 1.6) : supprimer la "queue de bouquet" (Q) et/ou le premier fruit (FR1).

- **La suppression des organes distaux** est réalisée soit au stade fleur, soit au stade fruit ; elle est justifiée par le fait que ces fruits, s'ils nouent, sont de petit calibre et de mauvaise qualité (vitreux), donc difficilement commercialisables. Leur présence a un effet négatif sur la vigueur, sans augmenter le rendement commercialisable. Comme ils arrivent à maturité très tardivement, ils risquent d'être oubliés sur la plante. De plus, ils augmentent le temps de récolte et de conditionnement, car un tri est nécessaire.

- **Le premier fruit du bouquet** est souvent disproportionné par rapport aux autres, et déformé (présence de cotes, voire de malformations), ce qui augmente le risque qu'il soit non-commercialisable. Sa présence réduit le calibre des autres fruits du bouquet, surtout si la plante est faible.

Dans les deux cas, c'est "l'allure du bouquet" après la nouaison qui est le critère d'action: on observe la présence de fruits déformés, vitreux, et le gradient de calibre à l'intérieur du bouquet (figure 1.6).

L'opération de taille est d'autant plus efficace qu'elle est réalisée tôt, si possible avant la floraison. Mais plus elle est précoce, plus la présence éventuelle de fruits déformés et/ou de petit calibre est difficile à détecter. En particulier, en dessous d'une taille de 1 à 2 cm, peu d'ouvriers sont capables de reconnaître des fruits déformés ou vitreux. Rendement et qualité sont antagonistes : un éclaircissage très sévère évite de conserver des fruits déformés, mais risque de diminuer le rendement. C'est pourquoi, il existe un **stade d'intervention optimal** (lorsque le premier fruit a atteint environ 1 cm de diamètre) pour lequel le **critère d'action est pertinent et facilement utilisable** et où l'action d'éclaircissage a un effet positif sur la qualité et le rendement. Le stade d'intervention réel dépend de la fréquence de passage des ouvriers : l'organisation du travail dans la serre conditionne fortement la réalisation de l'opération d'éclaircissage.

### b) L'ablation de bouquet

La technique d'ablation de bouquet est moins facilement applicable plante par plante, parce que les critères sont difficiles d'emploi. Lorsque la consigne prévoit une conduite plante à plante, les critères d'action sont :

- **L'état du bouquet avant floraison** (lorsque le bouquet "sort mal"). Nous avons vu que c'était plus généralement un indicateur de vigueur. Ce critère est facilement détecté par les ouvriers. L'élimination d'un tel bouquet a peu d'effet sur la qualité (en général, il ne noue pas) mais un effet positif sur le rendement.

- **la vigueur de la plante** : la difficulté réside dans la reconnaissance de cet état par les ouvriers, surtout que l'opération est d'autant plus efficace qu'elle est réalisée précocement, avant que l'affaiblissement ne soit important. Seuls certains ouvriers très expérimentés et/ou qui ont la "main verte" savent utiliser cet indicateur.

**TABEAU 1.5 : MODALITES D'ECLAIRCISSAGE ET OBJECTIFS DE PRODUCTION**

TYPE	EXPL.	ACTIONS		OBJECTIFS			CONSEQUENCES	JUSTIFICATIONS
		FR1	Q	NFR	CAL	DEF	ETAT DU BOUQUET	COMMERCIALISATION
I	1		X	B1-4 : 4 B5-8 : 5 >B8 : ?			Nombre de fruits élevé Qualité très variable : - fruits déformés - calibres hétérogènes	1 <sup>er</sup> Choix: vrac + coop. 2 <sup>e</sup> Choix: vente au détail prix de vente élevé
	8		X	B1-4 : 4-5* >B4 : 5-6*				Conditionnement sur l'exploitation, Poids commercial, Plusieurs produits
	9		X	6				
II	4		X	5		X	Nombre de fruits et qualité variables	Conditionnement et commercialisation sur l'exploitation
	2	x	x	B1 : 6 >B2: 5		X		
III	5	X	X	4			Nombre de fruits réduit Qualité très bonne - pas de fruits déformés - calibres homogènes	Conditionnement et commercialisation sur l'exploitation
	7	x	x	B1-5: 4 >B6: 5				
	6	x	X	5				
	3	x	en 2 étapes		X	X		

**Actions :**

FR1 : Suppression du premier fruit

Q : suppression de la queue de bouquet

**Objectifs :**

NFR : Nombre de fruits par bouquet (B1-4 : bouquets 1 à 4 ; >B4 : bouquets au delà de B4)

CAL : Homogénéité de calibre

DEF : Absence de fruits déformés

Un X (ou x) indique que l'opération est faite systématiquement (ou non)

Dans la colonne NFR, la croix X est remplacé par la consigne de nombre de fruits par bouquet

\* suivant la date de semis

### c) L'effeuillage

Dans la pratique d'effeuillage, le critère de conduite plante à plante est relativement simple, puisqu'il s'agit d'un nombre de feuilles sous un bouquet de stade donné (par exemple, on laissera une feuille sous les bouquets verts et aucune feuille sous les bouquets mûrs). La difficulté réside dans la recherche d'un compromis entre ce qui est souhaitable pour chaque plante et les exigences moyennes de la culture (figure 1.2).

## 2.3 COHERENCE DE LA CONSIGNE AVEC LES OBJECTIFS DE PRODUCTION

### L'EXEMPLE DE LA TECHNIQUE D'ÉCLAIRCISSEMENT

Les exploitations de l'échantillon se répartissent en 3 types en fonction de leurs objectifs de production (tableau 1.5).

**Dans le type I, l'objectif du maraîcher est de maximiser le rendement.**

Sur ces exploitations, la consigne impose un nombre de fruits par bouquet et une unique action : tailler les queues de bouquet (figure 1.6). Il n'y a donc pas d'adaptation volontaire de la consigne plante par plante ; l'unique cas de non respect de la consigne est un nombre de fleurs insuffisant. Cette pratique se fait au détriment de la qualité de la production. Des fruits déformés, éventuellement non commercialisables, sont conservés sur la plante. De plus, plus l'objectif de nombre de fruits est élevé, plus le risque d'obtenir une grande hétérogénéité de calibre augmente, en particulier si la consigne est mal adaptée à l'état du peuplement (Cf charge en fruits de 8b, 9a et 9b, figure 1.5).

Pour une même pratique d'éclaircissement, le type I rassemble des exploitations ayant des modes de commercialisation différents.

- Le serriste 1 souhaite réduire les charges de main d'oeuvre, il commercialise le premier choix en vrac, par l'intermédiaire d'une coopérative. Le prix de vente est faible et la qualité n'est pas valorisée. Le deuxième choix (fruits déformés, de petit calibre) est vendu au détail par la main d'oeuvre familiale, à un prix souvent plus intéressant que la coopérative.

- Les sociétés 8 et 9 conditionnent en cagette et commercialisent directement leur production. Elles ont un volume de récolte, donc un poids commercial suffisant pour imposer plusieurs produits (notamment différents calibres), dont certains de qualité inférieure.

Dans les deux cas, bien que les modes de commercialisation soient différents, l'application d'une consigne unique dans la serre est en accord avec l'objectif de production.

**Le type III rassemble des exploitations où l'objectif de qualité est prépondérant.**

De ce fait, d'une part, la charge en fruits est faible (exploitations 3, 5, 7 sur la figure 1.5). D'autre part, la consigne généralisée n'est plus satisfaisante, car nous avons vu dans le paragraphe 2.2.2 l'intérêt, dans un objectif de qualité, d'éclaircir en fonction de l'"allure du bouquet", de façon variable d'une plante à l'autre. Deux types de consignes permettent d'atteindre cet objectif :

- sur les exploitations 6 et 7 (cas a), la consigne comporte une norme de nombre de fruits, mais la production est de qualité parce que la norme est très restrictive (en général 4 fruits en début de culture). L'éclaircissement est maintenu tout au long du cycle et il résulte de deux opérations : suppression de la queue de bouquet et/ou du premier fruit. Si l'objectif de nombre de fruits est suffisamment faible par rapport au nombre de fleurs présentes sur le bouquet, les

deux opérations sont faites simultanément. Sinon, l'ouvrier choisit celle qui lui semble la plus intéressante, d'après l'allure du bouquet : s'il juge faible le risque que le premier fruit soit déformé, il privilégie la seconde action. **Il y a donc une adaptation de la technique plante par plante, non pas dans le nombre de fruits conservé par bouquet, mais dans le choix de l'opération la plus adéquate.**

- sur l'exploitation 3 (cas b), l'objectif de qualité est encore plus dominant, la consigne ne décrit plus la technique, mais le **résultat à obtenir**, qui est un bouquet de calibre homogène, sans fruits déformés. Les deux types d'éclaircissage sont utilisés. L'opération d'éclaircissage se fait en deux temps : la première fois, l'ouvrier taille les queues de bouquet à un stade précoce, pour réduire le nombre de puits à alimenter (5 fleurs). La seconde fois, il taille au choix la queue de bouquet ou le premier fruit, pour éliminer les futurs fruits vitreux et de petit calibre.

**Dans les deux cas a et b, la conduite plante par plante garantit une bonne homogénéité de calibre et une quasi-absence de fruits déformés.** Sur toutes les exploitations du type III, la production est commercialisée par l'exploitant, en cagettes, avec des créneaux de vente privilégiés où la qualité conditionne fortement le prix de vente (centrales d'achat...).

Dans le **type II**, intermédiaire, la qualité apparaît comme un objectif de production dans le discours du serriste, mais l'analyse des pratiques montre que cet objectif est rarement atteint.

La consigne porte uniquement sur un nombre de fruits ; l'objectif de qualité apparaît dans la consigne, qui recommande de supprimer les fruits déformés, mais l'organisation du travail montrera que c'est généralement plus un souhait qu'une réalité (en particulier, parce que certains bouquets sont éclaircis tardivement ou pas du tout). Pour les deux exploitations concernées, la production est conditionnée en cagette et commercialisée par l'exploitant.

**Dans la consigne d'éclaircissage, la conduite plante par plante est donc justifiée par des objectifs de qualité, eux mêmes liés au mode de commercialisation.**

Le même raisonnement pourrait être fait sur l'ablation de bouquet : ses conséquences sur la qualité et le rendement sont similaires à celle de l'éclaircissage. Mais nous avons déjà signalé dans le paragraphe 2.2.2 que le principal indicateur d'action est la vigueur, dont l'utilisation par le personnel est délicate.

Par contre, sur l'effeuillage, il n'y a pas de conduite plante à plante volontaire, car son effet sur le rendement et la qualité est jugé faible par les serristes.

## 2.4 DISCUSSION

L'étude des consignes montre l'existence, chez le serriste, d'un "modèle de fonctionnement du peuplement" : ce modèle, empirique, permet de définir les modalités techniques en fonction d'objectifs de production (nous en avons étudié deux : qualité et rendement) et des conditions du milieu : par exemple, la charge en fruits est adaptée en fonction du rayonnement incident. La vigueur du serriste est une variable intermédiaire entre le fonctionnement du peuplement et les objectifs de production. En caractérisant l'état végétatif de la culture, le serriste cherche probablement à quantifier le rayonnement intercepté par les plantes.

Dans ce "modèle de fonctionnement" du serriste, il apparaît également une tentative plus ou moins achevée de **prendre en compte la variabilité intra-peuplement**. Certaines techniques disposent d'une marge de manoeuvre pour leur réalisation sur les plantes (éclaircissage,

ablation de bouquet). D'autres, au contraire, ne semblent pas être volontairement adaptées plante par plante (effeuillage), bien qu'il existe une variabilité d'action. Pour une même technique, il existe une diversité de conduites entre exploitations, qui semble assez bien corrélée à la diversité des objectifs de production et de commercialisation.

Parmi les critères permettant l'adaptation de la conduite plante à plante, on retrouve certes la vigueur. Mais son utilisation difficile par le personnel (de multiples critères subjectifs) fait qu'elle est souvent remplacée par des critères plus simples d'appréciation de l'état du bouquet (forme et calibre des différents fruits du bouquet dans le cas de l'éclaircissage, dimension des organes dans le cas de l'ablation de bouquet).

Les serristes semblent disposer, en général, des connaissances pour adapter les consignes, mais c'est dans l'application de la consigne par les ouvriers que réside la principale difficulté, comme en témoigne cette tentative de simplification des critères d'action.

### **3. ORGANISATION DU TRAVAIL et CONDUITE PLANTE A PLANTE**

#### **3.1 L'ORGANISATION DU TRAVAIL**

Nous proposons une grille d'analyse pour décrire le fonctionnement de la serre, aussi bien dans le temps (le cycle cultural) que dans l'espace, afin d'identifier le rôle de chaque personne (tâches réalisées et lieu) ainsi que les interactions entre les différents individus. Partant du cycle cultural complet et de l'unité spatiale de la serre, nous décrivons des unités de taille décroissante.

##### *3.1.1 Schéma d'organisation de la campagne*

L'itinéraire technique est étroitement lié à la vitesse de développement et à la position du cycle par rapport au climat. Certaines techniques réalisées pendant tout le cycle évoluent conjointement avec le climat (ex : le nombre de fruits laissés par bouquet). D'autres techniques débutent en cours de cycle (descente des tiges, effeuillage, récolte), ce qui justifie l'arrivée du personnel temporaire. Or, l'introduction de personnel quasi-inexpérimenté, sur une culture aussi manuelle et avec des consignes qui font appel à l'appréciation individuelle, est susceptible de jouer fortement sur l'organisation du travail.

**C'est pourquoi, la grille d'analyse repose sur deux éléments structurants : l'axe des temps et la nature du personnel.**

Le cycle cultural est divisé en périodes. Une période se caractérise par la constance de la main d'oeuvre et des tâches à réaliser. Le passage d'une période à l'autre est, par exemple, déclenché par l'arrivée des salariés temporaires ou l'apparition des opérations de récolte et de descente des tiges.

La main d'oeuvre est subdivisée en catégories à partir de deux critères : l'expérience (qui oppose salariés permanents et temporaires) et le sexe.

\* Certaines opérations sont réalisées préférentiellement par les salariés permanents (palissage, éclaircissage), alors que les salariés temporaires sont plutôt affectés aux tâches



**TABLEAU 1.6 : MODALITES D'ORGANISATION D'UN CHANTIER. ECHELLES DE TEMPS ET D'ESPACE**

	Travail par RANGEE		Travail par PARCELLE	
	VARIABLE	FIXE	VARIABLE	FIXE
1 opération par passage	4 (II)	1 (I)		5,6 (IIIa)
plusieurs opérations par passage	2 (II)		3 (IIIb)	7* (IIIa)
				8,9 (I)

Les chiffres arabes indiquent le numéro de l'exploitation, les chiffres romains le type d'appartenance (objectif de production)

"VARIABLE" : Pas de temps inférieur à la campagne

"FIXE" : Pas de temps de la campagne

\* laissé à l'appréciation de l'ouvrier

d'effeuillage et de récolte. Cette répartition des tâches s'explique par la prise en compte à la fois de la difficulté de réalisation et de l'effet sur la production.

\* **Deux critères expliquent la distinction entre hommes et femmes.** De façon assez systématique, les tâches les plus pénibles sont réservées aux hommes (notamment la descente des tiges, car il faut tenir à bout de bras une tige chargée de fruits). Quelques serristes mettent en avant la plus grande attention des femmes pour certaines opérations délicates comme l'éclaircissage.

Cependant, la subdivision entre hommes et femmes n'est pas systématique. L'existence de matériel adapté (notamment des chariots auto-moteurs réglables en hauteur) réduit la pénibilité du travail, y compris pour le palissage. La réalisation de l'éclaircissage par les hommes ne semble pas être un frein à l'adaptation de la consigne plante par plante, puisque sur certaines exploitations où l'éclaircissage est une pratique complexe (3,7), on emploie indistinctement des hommes et des femmes. Il semble au contraire que la capacité à éclaircir correctement soit plus liée à la formation du personnel qu'à ses capacités initiales.

On appellera **équipe** l'ensemble des personnes (quelle que soit leur catégorie professionnelle) qui effectuent les mêmes tâches pendant une période donnée.

**Le nombre et la durée des périodes dépendent du fonctionnement de l'exploitation, de l'itinéraire technique et des caractéristiques du matériel :**

- nous avons déjà signalé que l'arrivée du personnel ne dépend pas uniquement de la culture de la tomate mais de l'ensemble du fonctionnement de l'exploitation.

- le début de la récolte et de la descente de tige est fonction de la date de semis et de la vitesse de développement (donc notamment du chauffage). De plus, la date de la première descente des tiges est d'autant plus précoce que la hauteur de palissage (donc la hauteur de la serre) est faible.

Cependant, les 3 étapes sont généralement à peu près concomitantes, à l'exception de l'exploitation 2.

### 3.1.2 Schéma d'organisation du chantier

Par **chantier** on désigne l'ensemble des opérations qui sont réalisées par une équipe donnée, pendant une période donnée.

Nous étudierons uniquement ceux correspondants à la dernière période (après l'arrivée des salariés temporaires et le démarrage de la descente des tiges et de la récolte), parce que c'est la période la plus longue, et pour laquelle il y a le plus de concurrence entre tâches.

A l'intérieur d'un chantier, deux critères permettent l'analyse du travail : **la répartition spatiale** (agencement des ouvriers dans la serre) **et temporelle** (succession des opérations). La position de chaque exploitation est récapitulée dans le tableau 1.6.

#### a) Répartition spatiale

Le travail est organisé dans la serre selon 2 modalités.

\* **Tous les membres de l'équipe travaillent simultanément dans la même zone de la serre, chacun dans une rangée de plantes.** Ce système caractérise les exploitations très peu

spécialisées, où le personnel est peu expérimenté et non autonome (2,4). Il peut à tout instant demander conseil à une personne plus expérimentée (soit un ouvrier, soit le serriste). En revanche, il n'est pas facile de contrôler individuellement le travail des ouvriers. Mais dans cette situation se trouvent uniquement des exploitations où le serriste passe beaucoup de temps dans la serre, connaît bien le personnel et est capable de juger le travail de chacun.

**\* Chaque ouvrier est responsable d'une surface** (que par la suite nous appellerons **parcelle**) **pour toute la durée de la campagne**. Toutes les exploitations spécialisées (5, 6, 7, 8, 9) ont adopté ce système. L'extrême division du travail permet un contrôle strict du travail de chaque ouvrier (qualité et vitesse de travail) et une responsabilisation (chaque personne est motivée, parce que c'est elle qui reprendra le travail sur les mêmes plantes la fois suivante). Cette organisation est fréquemment associée à un système de primes personnalisées en fonction de la qualité du travail. Le travail par parcelle permet de former le personnel, en analysant avec lui les erreurs.

L'inconvénient est une certaine rigidité dans le travail, qui n'est possible que lorsque la tomate sous serre est l'unique production. Sur de grosses exploitations (plus de 5 ha), où le personnel est plus anonyme, c'est une condition nécessaire pour contrôler le personnel.

Certaines exploitations se trouvent dans une **situation intermédiaire** (1,3) : elles ont des exigences en matière de qualité du travail et d'efficacité, mais l'organisation en parcelles est difficile à appliquer de façon stricte, du fait de la multiplicité des cultures. Le travail en équipe n'est pas souhaité, car le serriste n'est pas constamment dans la serre avec les ouvriers. On observe deux variantes :

- les ouvriers travaillent côte à côte, **chacun dans une rangée attribuée à l'année** (1),
- les ouvriers travaillent **par parcelle un jour donné** (3), en changeant éventuellement de parcelle d'une fois sur l'autre pour parer aux changements de taille de l'équipe.

**Dans ces deux cas, les exploitants cherchent un compromis entre le système par parcelle, performant mais rigide, et le système par équipe, plus souple, mais exigeant un suivi précis du travail.**

**Il y a convergence entre l'organisation du travail et le degré d'adaptation des techniques :**

Dans le système **par équipe**, la consigne est rarement adaptée plante à plante, par manque de connaissance et de motivation du personnel : non seulement le système provient d'une incapacité des ouvriers à travailler seuls, donc a fortiori à adapter une consigne ; mais encore, il n'encourage pas, au contraire, la prise d'initiative, puisque le travail individuel ne peut être valorisé.

Au contraire, le système **par parcelle** est bien adapté pour former le personnel, le motiver (primes...), il met en valeur le travail individuel. Le personnel est donc dans des conditions favorables pour faire un travail de qualité, à condition cependant qu'il y soit incité par le serriste. C'est ce qu'on observe sur les exploitations de taille moyenne (5,7), alors que sur les exploitations 8 et 9, le système par parcelle est seulement justifié par l'abondance du personnel.

#### **b) L'organisation temporelle : l'enchaînement des opérations**

**L'enchaînement des opérations dans le temps est observé à partir de 3 critères :**

- le nombre d'opérations à chaque passage sur une plante,

- la fréquence de passage (durée entre deux répétitions d'une même opération),
- l'ordre des opérations.

Cet enchaînement est fonction des impératifs biologiques, mais aussi du fonctionnement de l'exploitation. Dans ce paragraphe, on accorde une place privilégiée au premier critère, le **nombre d'opérations par passage**, qui semble jouer fortement sur la réalisation des consignes sur les plantes.

#### **\* Le nombre d'opérations par passage**

**# Il est possible de regrouper certaines opérations au cours d'un même passage (c'est à dire de réaliser n opérations sur une plante avant de passer à la suivante), si les conditions de travail sont similaires : debout sur un chariot, pour les opérations qui concernent le haut de la plante (ébourgeonnage, éclaircissage, palissage), assis ou accroupi pour l'effeuillage et l'ébourgeonnage du bas de la plante.**

Le choix de regroupement (2, 3, 8, 9) est expliqué par :

- une diminution du risque de casser ou d'abîmer tiges et feuilles, et de "stresser" les plantes ; Buitelaar (1988) a montré que le fait de secouer les plantes accroît la respiration et a un effet négatif sur le rendement.

- une réduction des temps de travaux.

**# Mais sur d'autres exploitations, une seule opération est faite à chaque passage (1,4,5,6), les raisons avancées étant que :**

- le personnel est plus concentré,

- chaque opération devient un automatisme et elle est faite plus rapidement.

Cette organisation concerne soit la totalité des opérations (5,6), soit une opération jugée particulièrement délicate, l'éclaircissage (1,4).

**# Enfin sur Pune des exploitations (7), chaque ouvrier est libre de choisir Pune ou l'autre des méthodes.**

Il est difficile de dire quel est l'effet réel du nombre d'opérations sur la vitesse de travail, car elle dépend de nombreux facteurs, et notamment de l'existence ou non de chariots automoteurs. Le nombre d'opérations par passage varie également en fonction de la formation des ouvriers et de leur capacité à réaliser correctement plusieurs opérations à la fois (expérience, concentration).

**Ce facteur doit être pris en compte pour estimer la possibilité, sur une exploitation, d'adapter les techniques plante par plante : lorsque plusieurs opérations sont faites simultanément, il est difficile d'exiger une attention constante, ce que requiert une conduite plante à plante. Inversement la réalisation d'une seule opération par passage n'est pas une condition suffisante pour adapter les techniques plante par plante ; en effet, elle est justifiée soit par un souci de travail soigné (5,6), soit par une incapacité du personnel à réaliser correctement plusieurs opérations à la fois (1,2). Dans ce cas, elle révèle seulement d'autres contraintes qui interdisent l'adaptation plante par plante.**

FIGURE 1.7 : SCHEMA D'ORGANISATION DU TRAVAIL DANS 3 EXPLOITATIONS DE L'ECHANTILLON

a) EXPLOITATION 1

Culture	plantation	début récolte	
Main d'oeuvre		première descente	fin d'entretien
	Nov.	arrivée des temporaires Fin Jan.	Juill.

	PERIODE 1	PERIODE 2
SERRISTE	SURVEILLANCE PLANTES, CLIMAT, PERSONNEL	
S. PERMANENTS (3 hommes)	PAL, EBG, ECL	PAL, EBG, DES, REC
S. PERMANENTS (1 femme)		EFF, EBG, ECL, REC
S. TEMPORAIRES (3 femmes)		

b) EXPLOITATION 2

Culture	plantation	début récolte	première descente	fin d'entretien
Main d'oeuvre				arrivée des temporaires
	Nov.	1er Jan.	Fin Jan.	Juill.

	PERIODE 1	PERIODE 2	PERIODE 3	PERIODE 4
SERRISTE	SURVEILLANCE PLANTES, CLIMAT, PERSONNEL			
S. PERMANENTS (3 hommes)	PAL + EBG + ACC	PAL + EBG + ACC REC	PAL + EBG + DES REC	PAL + EBG + DES + ECL REC
S. PERMANENTS (3 femmes)			PAL + EBG, REC	EFF + EBG, REC
S. TEMPORAIRES (3 femmes)	ECL	ECL	ECL	

c) EXPLOITATION 5

Culture	plantation	début récolte	
Main d'oeuvre		première descente	fin d'entretien
	Oct.	arrivée des temporaires Fin Déc.	Juill.

	PERIODE 1	PERIODE 2
SERRISTE	SURVEILLANCE PLANTES, CLIMAT, PERSONNEL	
S. PERMANENTS (2 hommes et 2 femmes)	PAL, EBG, ACC, ECL	PAL, EBG, ACC, EFF, ECL, DES
S. TEMPORAIRES (3 femmes)		REC

LEGENDE: PAL: Palissage ECL: Eclaircissage ACC: Accrochage des bouquets  
DES: Descente des tiges EBG: Ebourgeonnage EFF: Effeillage REC: Récolte

Les opérations séparées par le signe + sont faites au cours du même passage  
Les opérations séparées par une virgule sont faites séparément

### \* La fréquence de réalisation des opérations

La fréquence n'a pas d'effet direct sur la possibilité d'adaptation des techniques plante par plante. Cependant, une durée importante entre deux répétitions d'une opération traduit une inadéquation entre le travail à réaliser et la main d'oeuvre disponible. Or l'adaptation plante par plante augmente les temps de travaux, puisqu'elle suppose qu'un diagnostic, même partiel, soit fait sur chaque plante. La fréquence est donc un révélateur des conditions de réalisation des opérations.

### \* L'ordre de réalisation des opérations

L'ordre des opérations, entre passages ou à l'intérieur d'une même passage, ne semble pas en interaction avec la conduite plante à plante.

Parmi les techniques étudiées, la position de l'éclaircissage et l'ablation de bouquet dans l'enchaînement ne conditionne pas du tout leur adaptation. Par contre, nous avons vu que l'effeuillage pouvait être adapté au stade de maturation du bouquet, à condition de respecter un niveau d'effeuillage moyen dans la serre. Cette condition provient du fait que l'effeuillage est réalisé avant le palissage (en effet, dans le cas contraire, l'opération d'effeuillage est beaucoup plus longue et fastidieuse, car on augmente le risque de faire tomber des fruits et de casser des tiges). Elle est donc rarement remise en cause ; mais si l'ordre était inversé, il serait possible d'adapter beaucoup plus l'effeuillage à chaque plante.

## 3.2 CONSEQUENCES DE L'ORGANISATION DU TRAVAIL SUR LA REALISATION DES CONSIGNES

La grille précédemment établie est utilisée pour expliquer les conditions de réalisation des consignes, et leur degré d'adaptation plante à plante. Nous ne présenterons à titre d'illustration que les résultats pour 3 exploitations (figure 1.7), représentatives de la quasi-totalité des situations rencontrées (tableau 1.6). La réalisation de l'ablation de bouquet dépend peu de l'organisation du travail, parce qu'elle est très ponctuelle (1 à 2 fois par an). C'est pourquoi, les conséquences de l'organisation du travail ne sont analysées que sur 2 techniques : **Péclaircissage et l'effeuillage.**

Sur l'exploitation 1 (qui appartient au type I), l'apparition des tâches "récolte" et "descente de tige", ainsi que l'arrivée du personnel étant simultanées, la campagne se divise en deux périodes :

- Avant la récolte, la descente des tiges et l'arrivée des salariés temporaires, les salariés permanents forment une équipe unique et réalisent l'ensemble des opérations : palissage, ébourgeonnage et éclaircissage. Le palissage est fait indifféremment par les hommes et la femme : tant qu'il n'y a pas descente de tige, ce n'est pas une opération pénible et l'utilisation de chariots n'est pas indispensable.

- Après le début de la récolte, la descente des tiges et l'arrivée des salariés temporaires, le personnel est divisé en deux équipes. L'équipe E1 (salariés permanents-hommes) fait l'entretien des plantes (ébourgeonnage, palissage, couchage) avec les chariots. L'équipe E2 comprend les salariés temporaires (uniquement des femmes sur cette exploitation), à laquelle se joint la femme permanente. Cette division résulte de l'apparition de la tâche de descente des tiges et de la nécessité d'utiliser les chariots (instables et par conséquent jamais utilisés par le

personnel féminin). L'équipe E2 a en charge l'effeuillage et l'éclaircissage.

**A chaque passage, une seule opération est réalisée. Chaque personne est responsable d'une rangée.**

**Sur l'exploitation 2 (type II), la saison se divise en 4 périodes :**

- **Avant de récolter et descendre les tiges**, comme précédemment, le palissage peut être fait par tous les salariés, y compris les femmes. Mais à la différence de l'exploitation 1, il y a suffisamment de salariés permanents pour former deux équipes ; l'organisation du travail est donc généralement la suivante : l'équipe E1 (permanents-hommes) palisse, ébourgeonne et accroche les bouquets ; l'équipe E2 (permanents-femmes) réalise l'éclaircissage et travaille à temps partiel sur l'autre culture de tomate, à croissance déterminée. L'exploitant préfère confier aux femmes, jugées plus soigneuses, deux activités plus délicates : l'éclaircissage des deux cultures et l'ébourgeonnage de la culture déterminée.

- **Lorsque la récolte commence**, l'organisation du travail est identique, l'opération de récolte est réalisée par l'ensemble du personnel.

- **Après l'apparition de la tâche de descente**, le schéma précédent devient **quasi-systématique**, parce que l'opération de descente est pénible.

- **Après l'arrivée des salariés temporaires**, la constitution des équipes est modifiée. Comme dans la dernière période pour l'exploitation 1, les salariées permanentes s'associent aux temporaires pour faire l'effeuillage et l'ébourgeonnage, car ce sont des tâches moins pénibles pour les femmes, et faciles à réaliser pour les temporaires. L'éclaircissage est alors réalisé par l'équipe E1 (salariés permanents-hommes).

**Pendant les 3 premières périodes, l'éclaircissage est isolé des autres opérations ; il est ensuite fait simultanément avec le palissage et l'ébourgeonnage. Le travail est réalisé en équipe.**

La comparaison de ces deux exploitations montre que l'éclaircissage est fait par plusieurs catégories de personnel, aussi bien d'une exploitation à l'autre qu'au sein d'une exploitation au cours du temps. Il est réalisé prioritairement par les femmes, donc éventuellement par du personnel peu qualifié (des salariées temporaires). La majeure partie du temps, l'éclaircissage nécessite un passage à lui-seul ; selon les serristes, ce n'est pas lié à la difficulté de réaliser l'opération en elle-même, mais au risque d'oublier de faire l'opération lorsque plusieurs opérations s'enchaînent. Sur l'exploitation 2, il est réalisé par les salariés permanents-hommes dans la période 4, car à cette période où les pointes de travail sont systématiques, il n'est plus fait qu'une fois sur deux (voire moins), en même temps que les autres opérations pour gagner du temps.

Sur ces deux exploitations, il y a peu d'adaptation des techniques plante par plante, bien que certaines conditions soient réunies pour permettre cette conduite (1 opération par passage...). Au contraire, cette organisation s'explique par le fait que la main d'oeuvre n'est pas très performante (car peu spécialisée).

**L'exploitation 5 (type IIIa) se caractérise par une organisation du travail beaucoup plus codifiée et stable au cours de l'année.** Deux équipes se partagent le travail : les salariés permanents (E1) réalisent toutes les opérations d'entretien, sans distinction entre les hommes et les femmes. Les salariés temporaires (E2) n'effectuent que la récolte et le conditionnement.

**Une seule opération est réalisée par passage.** La présence d'un chef de culture, et

l'attribution d'une parcelle à chaque individu font que le personnel est étroitement encadré et contrôlé. L'existence de primes à la qualité du travail incite le personnel à faire un travail soigné. Les exploitations 4 et 7 ont une organisation similaire (moins stricte pour 4 du fait de la présence d'autres cultures sur l'exploitation), mais l'opération d'effeuillage est réalisée systématiquement par les salariés temporaires.

Nous avons vu précédemment que sur ce type d'exploitation, les serristes sont exigeants sur la qualité du travail, et que la conduite plante à plante est assez systématique.

### 3.3 DISCUSSION GENERALE SUR LE DISCOURS DES SERRISTES

L'étude précédente montre que les choix techniques et ceux d'organisation du travail sont étroitement liés, par l'intermédiaire de l'objectif de production. En effet, l'objectif de production détermine un mode de conduite de la plante (consigne unique par serre ou adaptation plante par plante). L'organisation du travail est en général étudiée pour permettre la réalisation de ces objectifs, en particulier dans le cas de la conduite plante à plante qui nécessite certains aménagements. Parfois cependant, l'organisation de travail est source de contraintes qui interdisent ou rendent difficile la réalisation des consignes.

- Lorsque l'objectif de qualité est prépondérant (type III), les consignes envisagent une adaptation plante par plante (Cf dans le paragraphe 3 les critères et la marge de manoeuvre). L'organisation du travail en fournit les moyens : le travail par parcelle permet une responsabilisation du personnel et une motivation plus grande (éventuellement accompagnée d'incitations financières).

- Dans le type I, l'objectif est de maximiser le rendement et non pas la qualité. Une conduite généralisée est donc satisfaisante. Dans ce cas, l'organisation du travail n'est pas imposée par les objectifs de production, mais par les caractéristiques de la main d'oeuvre (nombre, expérience). Ceci explique que le type I regroupe des exploitations disparates : petite surface et personnel pas autonome (exploitation 1) ; grosse surface en serre et personnel abondant (exploitations 8 et 9).

Ce résultat doit être nuancé : en effet, il est probable qu'il existe un "feed-back" et que les objectifs de production intègrent déjà pour partie les caractéristiques de l'exploitation, notamment en ce qui concerne la main d'oeuvre. En particulier, la tendance des petites exploitations à faire une conduite plante à plante et des grosses exploitations à une conduite généralisée ne semble pas due à un biais de l'échantillon : sur les petites exploitations, la qualité est souvent un atout de commercialisation, dans un contexte où elles ont individuellement peu de poids. Par contre, les grosses exploitations disposent d'une force commerciale qui les autorise à ne pas produire que des fruits de qualité optimale. Cependant, l'aggravation du contexte économique (surproduction...) va certainement généraliser la recherche d'une production de bonne qualité.

Le critère "nombre d'opérations par passage" semble moins pertinent pour caractériser les exploitations, ou du moins, son utilisation est délicate. La réalisation d'une opération par passage est à la fois un indicateur :

- d'une recherche de simplification des tâches, dans une démarche analogue au taylorisme, donc dans un objectif d'augmentation de la vitesse de travail,



**TABEAU 1.7 : COHERENCE DES NOTATIONS D'ECLAIRCISSEMENT AVEC LA CONSIGNE VERBALISEE**

Expl.	NOTATIONS (variable NT*)					VERBALISATIONS
	Bouquets concernés NB	Taille de l'échantillon N	Nombre de répétitions NB * N	Moyenne	Coeff. de Variation (%)	Consigne d'éclaircissement
1	B5 à B10	60	300	4.8	24	> B4: 5
2	B5 à B10	40	240	4.6	29	>B1: 5
3	B8 à B12	40	200	4.5	26	QUALITE
6	B1 à B4	80	320	4.8	18	B1, B3, B4: 5 ; B2: 4

\* NT : Nombre total d'organes du bouquet

- d'une recherche d'augmentation de l'attention du personnel, en le concentrant sur un petit nombre d'observations.

**Le premier est donc antagoniste avec une conduite plante à plante, alors que le second a pour objectif de la rendre plus efficace.**

L'étude du discours des serristes présente donc un double intérêt. Elle révèle la diversité des choix pour l'adaptation des techniques plante par plante, et montre les déterminants de ces choix (objectifs de production, contraintes...), grâce à une grille d'analyse pertinente.

#### 4. OBSERVATION DE LA PRATIQUE D'ÉCLAIRCISSEMENT SUR LES PLANTES

Nous avons vu le poids des objectifs et des contraintes de l'exploitation dans la réalisation des consignes. A l'intérieur d'une exploitation, ces paramètres étant fixes, la diversité d'action sur les plantes provient des interactions entre l'état des plantes et le comportement de chaque ouvrier, ce qui permet donc d'étudier le poids de l'individu dans l'adaptation de la consigne.

Rappelons que la pratique d'éclaircissement est caractérisée a posteriori par des comptages de nombre de fruits.

Notations : le nombre total d'organes d'un bouquet après éclaircissement (NT) est décomposé en 3 classes de diamètre :

- N1 : > 20 mm (fruits commercialisables)
- N2 : 5-20 mm
- N3 : < 5 mm (fleurs/fruits avortés)

$$NT = N1 + N2 + N3$$

##### 4.1 COHERENCE AVEC LE DISCOURS DU SERRISTE

Nous comparons les notations sur les plantes avec le discours du serriste, à partir des histogrammes de répartition du nombre d'organes (NT) par bouquet, après éclaircissement (figure 1.8) et des consignes verbalisées (tableau 1.7).

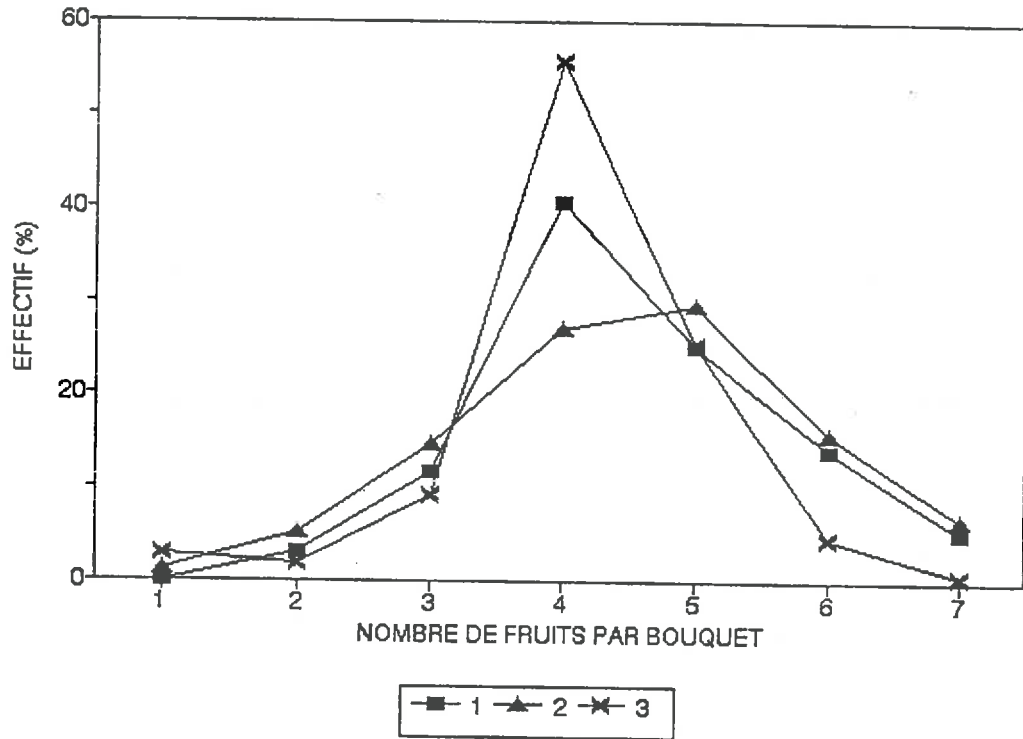
Sur les exploitations 2 et 6 (figure 1.8), le mode de la distribution<sup>3</sup> est égal à la consigne du serriste. Par contre, sur l'exploitation 1, le mode est inférieur d'un fruit à la consigne. L'exploitation 3, qui a un objectif de qualité et pour laquelle il n'y a pas de consigne de nombre de fruits, se caractérise par le nombre de fruits moyen le plus faible et par un coefficient de variation élevé (tableau 1.7). Cependant, même sur les exploitations où la consigne porte sur un nombre de fruits, il existe une variabilité relativement importante autour de la moyenne (le coefficient de variation varie de 18 à 30%).

Le nombre NT est le résultat de la pratique d'éclaircissement, tant que le nombre de fleurs initiées est suffisant. Si l'on admet que les consignes verbalisées sont bien celles qui ont été données aux ouvriers, deux hypothèses peuvent expliquer le non-respect de la consigne :

<sup>3</sup> Valeur qui correspond à la fréquence maximale

FIGURE 1.8 : CARACTERISATION DE LA PRATIQUE D'ECLAIRCISSEMENT : HISTOGRAMMES DU NOMBRE DE FRUITS

a) Distribution moyenne sur tous les bouquets, exploitations 1, 2 et 3



b) Distribution par bouquet, exploitation 6

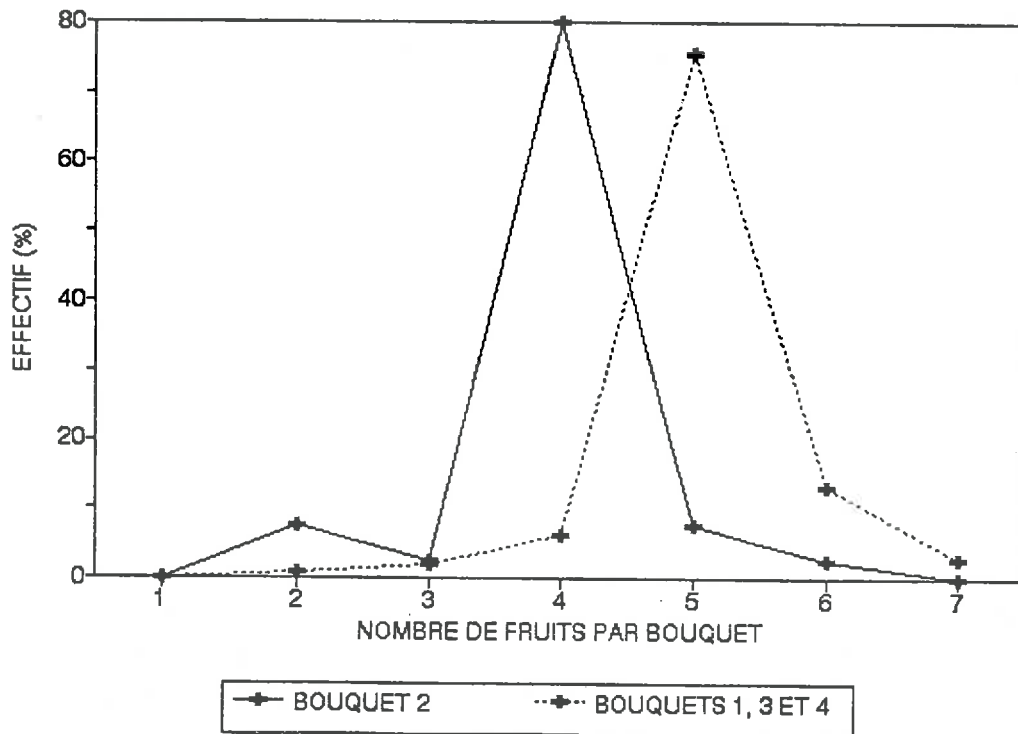
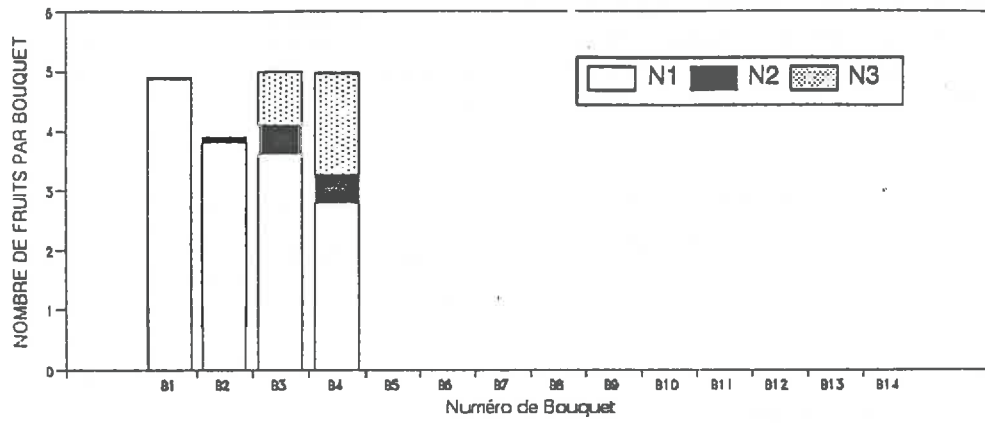
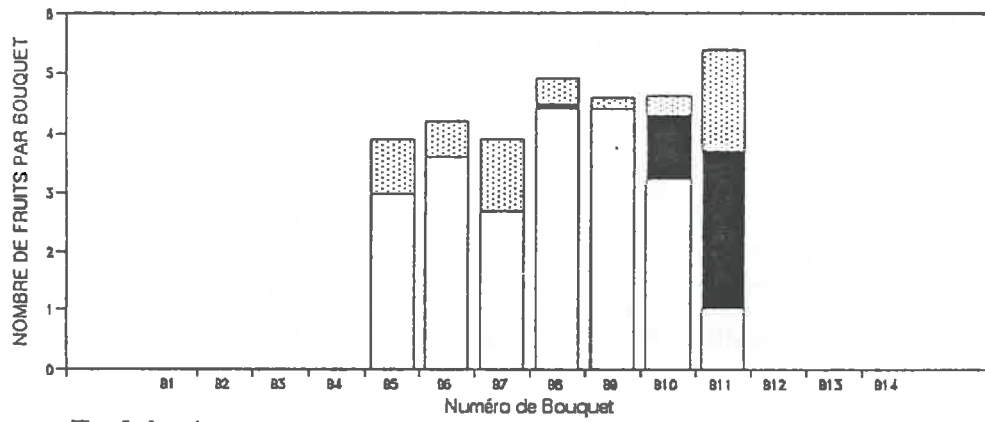


FIGURE 1.9 : CONSEQUENCES DE LA PRATIQUE D'ECLAIRCISSEMENT SUR LA QUALITE

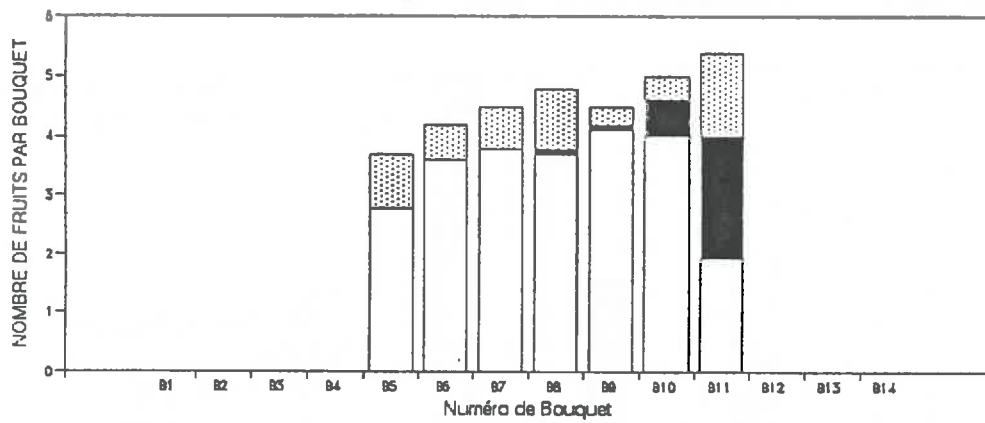
Exploitation 6



Exploitation 2



Exploitation 1



Exploitation 3

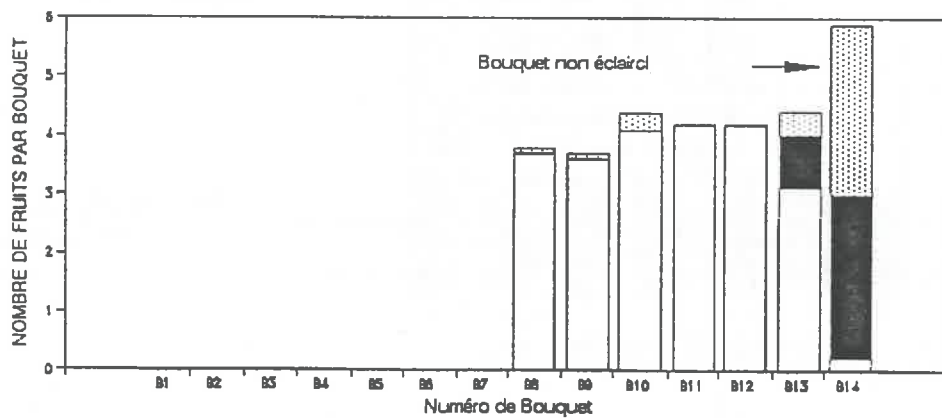
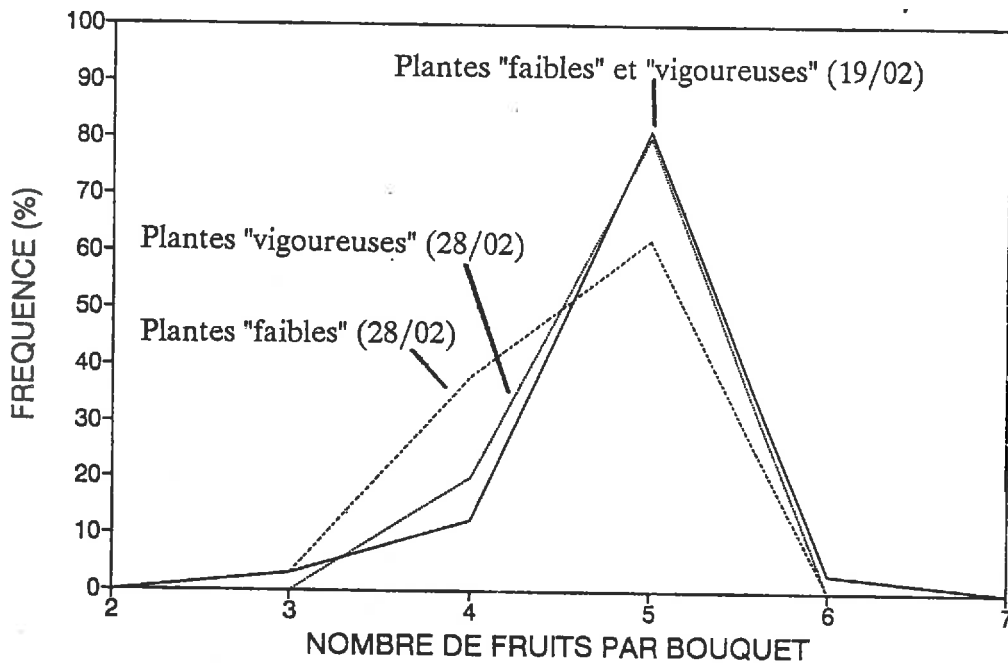


FIGURE 1.10 : ANALYSE DE L'OPERATION D'ECLAIRCISSEMENT ET RECHERCHE DE CRITERES D'ACTION

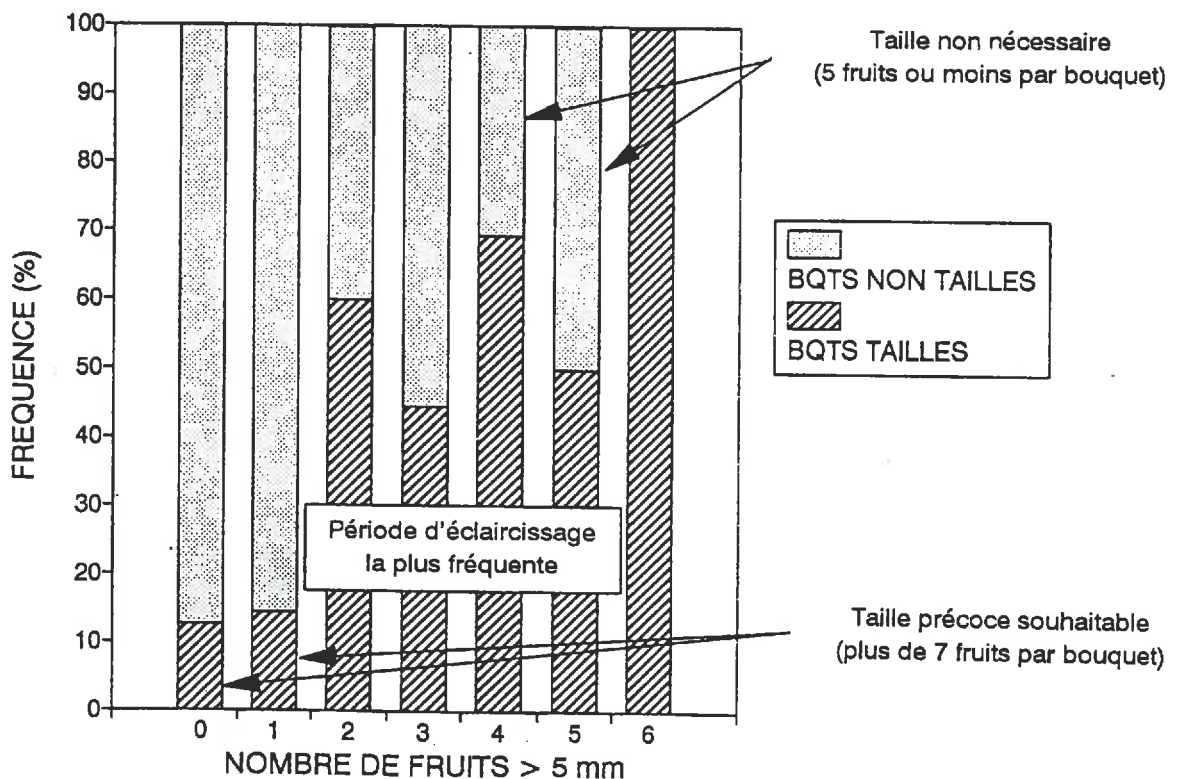
Données : traitement EXP de l'essai *Eclaircissage*

a) Histogramme du nombre de fruits par bouquet après éclaircissage

Les comptages de nombre de fruits sont faits sur les mêmes plantes à deux dates séparées d'une dizaine de jours (19/02 et 28/02). Au 19/02, un seul histogramme est représenté pour les plantes "vigoureuses" et "faibles" car il est identique pour les deux types.



b) Détermination du stade d'éclaircissage sur le bouquet 12



- H1 : le nombre de fleurs par bouquet est limitant,
- H2 : la consigne n'est pas respectée à la lettre,
  - . soit involontairement (par exemple la cadence de travail imposée ne permet pas d'appliquer correctement la consigne),
  - . soit volontairement : les ouvriers adaptent la consigne en fonction de chaque plante.

L'hypothèse H1 (nombre de fleurs limitant) intervient probablement dans un certain nombre de cas ; c'est l'hypothèse la plus vraisemblable lorsque NT est de l'ordre de 1 à 3 fruits. Dans les autres cas (NT = 4 par exemple), en l'absence de notation plus précise, il est difficile de trancher avec l'hypothèse H2. Cependant, les comptages dans les essais laissent penser que l'insuffisance de fleurs est un phénomène statistiquement mineur. Le faible coefficient de variation sur l'exploitation 6 par rapport aux exploitations 1 et 2 s'explique probablement par des différences dans la période de mesure (sous B5 pour l'exploitation 6, au delà pour les autres) : en début de culture, les plantes étant "vigoureuses", le nombre de fleurs est toujours suffisant.

Lorsqu'il y a adaptation de l'éclaircissage plante par plante, nous avons vu que c'est dans un objectif de qualité. L'analyse de la répartition des fruits en 3 classes doit donc permettre de tester cette hypothèse (figure 1.9), puisque seuls les fruits de la classe N1 (> 20 mm) sont commercialisables de façon certaine.

Sur l'exploitation 3, les classes N2 et N3 sont quasi-absentes (la classe N3 parce que le nombre total d'organes est faible, la classe N2 du fait de l'éclaircissage en deux temps qui élimine les fruits de mauvaise qualité). Sur les autres exploitations, environ un fruit avorte pour chaque bouquet (N3). Même en admettant que tous les fruits de la classe N2 soient commercialisables, la consigne est toujours très supérieure aux possibilités de la plante. La chute de N1 le long de la plante sur l'exploitation 6 s'explique parce que la consigne est élevée et que les plantes, qui sont dans une période de charge croissante, s'affaiblissent.

#### 4.2 LES CRITERES A L'ORIGINE DE L'ADAPTATION

Sur les parcelles des exploitants, nous n'avons pas caractérisé l'état des plantes, il n'est donc pas possible d'expliquer et de juger la pratique d'éclaircissage plante par plante. Par contre, cette analyse peut être faite sur le traitement EXP de l'essai *Eclaircissage*, où la conduite de l'éclaircissage est laissée à l'appréciation d'un expert.

L'observation des mêmes plantes à 10 jours d'intervalle montre que l'opération d'éclaircissage est faite en deux temps (figure 1.10a) :

- **au moment de la première observation (19/02)**, un premier éclaircissage a déjà eu lieu, puisque peu de bouquets portent plus de 5 fruits. Cette valeur de 5 fruits correspond donc à la "consigne" moyenne que s'est fixé l'expert ; elle est identique sur les plantes "faibles" et sur les plantes "vigoureuses".

- **au moment de la deuxième observation (28/02)**, l'histogramme des plantes "vigoureuses" est quasi-identique à celui du 19/02 ; les rares bouquets à 6 fruits (moins de 5%) sont supprimés. Par contre, l'opérateur est intervenu à nouveau sur certaines plantes "faibles" : environ 20% des bouquets taillés initialement à 5 fruits sont retaillés à 4 fruits. Deux causes ont été identifiées. En effet, le cinquième fruit appartient soit à la classe N3 des fruits ayant avorté, soit à la classe N2 des fruits au devenir incertain. Dans ce cas, sur des plantes Ro faibles,

**TABEAU 1.8 : EFFET DE L'OPERATEUR DANS LA REALISATION DE LA CONSIGNE D'ECLAIRCISSEGE**

**Cas de l'exploitation 6**

**1) Rappel du dispositif expérimental**

- Facteur Bloc (BL=1..2) : entrée et fond de la serre
- Facteur Numéro de Bouquet (NB=1..3) : Bouquets B1, B3 et B4, qui ont la même consigne d'éclaircissage
- Facteur Opérateur (OP=1..2) : Ouvriers 1 et 2

**2) Modèle testé : Facteurs simples (BL, NB, OP) et interactions (BL.NB, BL.OP, NB.OP)**

Valeurs des probabilités et moyennes :

Variable	Probabilités		Moyenne par bouquet			Moyenne par ouvrier	
	OP	NB.OP	B1	B3	B4	1	2
N1	***	**	4.9	3.8	2.9	3.8	4.0
N2			0.1	0.5	0.4	0.4	0.3
N3	*		0.0	0.7	1.7	0.9	0.7
NT			5.0	5.0	5.0	5.1	4.9

Notations :

\* : significatif au seuil 10%

\*\* : significatif au seuil 5%

\*\*\* : significatif au seuil 1%

l'expert a jugé que de tels fruits ne seraient jamais commercialisables et les a enlevés.

Il semble donc que le **premier éclaircissage ait seulement pour objectif de limiter le nombre de puits sur la plante** (environ 5 par bouquet), indépendamment de l'état végétatif de la plante et de la qualité des fruits. Le **second éclaircissage, au contraire, est beaucoup plus variable d'une plante à l'autre : il est adapté à la vigueur et à l'allure du bouquet** (appartenance aux trois classes). La pratique de cet opérateur se rapproche donc de celle observée sur l'exploitation 3 (Cf tableau 1.5).

En cours de culture, lorsqu'il existe une variabilité de développement entre plantes, l'acteur n'éclaircit un jour donné le même bouquet sur toutes les plantes, mais c'est le stade de chaque bouquet qui déclenche l'action d'éclaircissage. Sauf exception, celui-ci a lieu lorsque 2 à 4 fruits ont dépassé la taille de 5 mm (figure 1.10b).

Les renseignements apportés par ces notations restent cependant succincts, ce qui confirme la difficulté à caractériser le travail d'un opérateur sur  $n$  plantes par des observations réalisables facilement et a posteriori.

#### 4.3 LE POIDS DE L'OPERATEUR DANS L'APPLICATION DE LA CONSIGNE

L'effet de l'opérateur ne peut être analysé que sur 2 exploitations (1 et 6), pour lesquelles le travail se fait respectivement par rangée et par parcelle attribuées à l'année.

Le **facteur opérateur n'est significatif que sur l'exploitation 6<sup>4</sup>** (tableau 1.8), sur les variables N1 et N3 : Les deux opérateurs laissent sensiblement le même nombre d'organes par bouquet (NT), mais le nombre de fruits de la classe supérieure (N1) est plus élevé pour l'opérateur 2, en particulier sur les bouquets B3 et B4 (interaction significative). Il n'y a pas de différence significative d'écart-type intra-parcelle entre les deux opérateurs.

L'effet Opérateur sur N1 et N3 peut être expliqué par deux hypothèses :

- Cette différence est due à **une action directe de l'opérateur sur le bouquet** : Si l'opérateur 1 supprime systématiquement, ou plus fréquemment le premier fruit, le bouquet semble plus en retard et N1 est plus faible. Cet effet n'est pas sensible sur le premier bouquet, parce que tous les fruits ont dépassé le seuil de 20 mm (les deux autres classes sont négligeables).

- Cette différence reflète **un effet indirect de l'opérateur** : les deux opérateurs travaillent différemment sur les plantes, ils peuvent jouer sur la croissance et/ou le développement, ce qui se répercute sur la répartition des fruits dans les 3 classes. Il faut un certain temps pour que les différences entre les conduites des deux opérateurs aient des effets décelables, ce qui explique qu'il n'y ait aucun effet sur le premier bouquet.

En l'absence de mesures suffisamment précises, il est impossible de trancher entre les deux hypothèses.

Sur l'exploitation 1, l'effet opérateur est significatif à 10% sur la variable N2, mais il n'y a aucun effet sur N1, N3 et NT. Comme la classe N2 n'a pas de signification bien précise (c'est une classe intermédiaire au devenir incertain), nous ne chercherons pas à interpréter ce résultat.

<sup>4</sup> La prise en compte de l'hétérogénéité climatique par les blocs, sur l'exploitation 6, n'est sans doute pas étrangère à ce résultat. Sur les autres situations enquêtées, la puissance des tests est toujours faible.

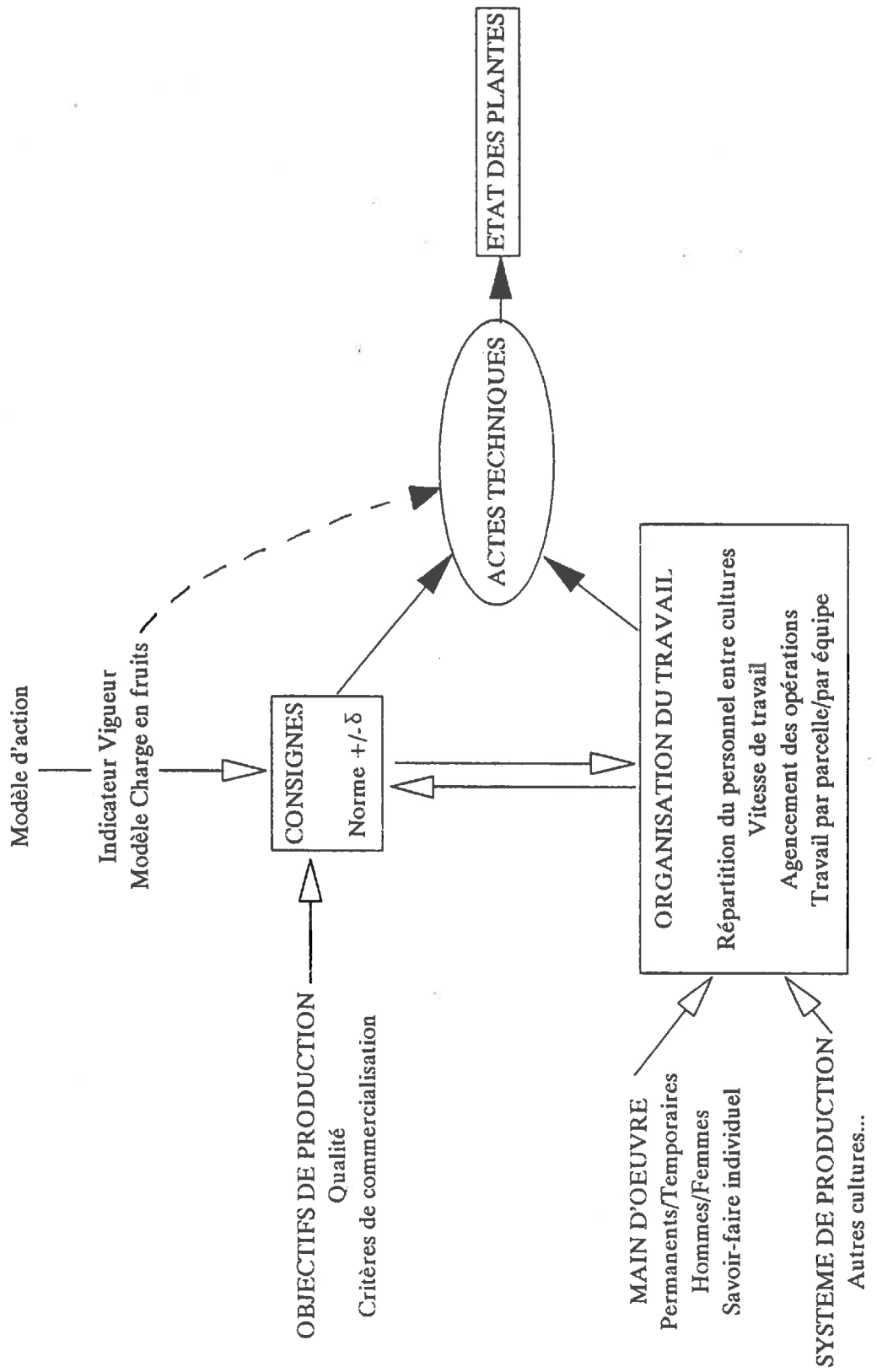


Les notations d'éclaircissage, bien que succinctes, confirment que l'action d'éclaircissage varie d'une plante à l'autre. Cette variabilité existe même lorsque la consigne n'incite pas l'opérateur à moduler la technique, ce qui lui donne un caractère très général : il y a bien une action plante à plante, que les différences observées résultent d'actions volontaires ou non. Un certain nombre de critères d'action ont été mis en évidence sur le dispositif en station expérimentale, mais ils n'ont pas été vérifiés sur les exploitations.

Des différences significatives entre opérateurs sont montrées sur une exploitation. Ce résultat doit être interprété avec prudence : étant donnée la faible puissance des dispositifs sur les autres exploitations enquêtées, il est possible que les ouvriers travaillent différemment les uns des autres, mais que ce facteur n'ait pas été révélé par l'analyse statistique. Cependant, l'effet opérateur sur l'exploitation 1 doit également être discuté, faute de caractérisation directe de l'état des plantes et du travail des ouvriers en temps réel. En particulier, le risque principal est une confusion d'effets, due à une mauvaise appréciation des facteurs de variabilité (notamment climatique) dans la serre, ce qui constitue une faiblesse d'une expérimentation en exploitation agricole.

Ces résultats montrent cependant l'intérêt de la méthode de notation : l'opération d'éclaircissage peut être caractérisée par des notations simples, qui semblent pertinentes pour étudier le fonctionnement moyen du peuplement et qui permettent de vérifier a posteriori l'adéquation entre la consigne d'éclaircissage et la vigueur. Par contre, la caractérisation est très insuffisante pour une étude plante par plante, parce qu'on ne sait pas à quoi relier les différences observées entre les notations.

FIGURE 1.11 : LES DETERMINANTS DE L'ACTION SUR LES PLANTES



## D - DISCUSSION ET CONCLUSION

L'objectif de la première partie était de décrire et de comprendre certaines pratiques maraîchères, à savoir la manière dont les acteurs conduisent le peuplement plante après plante. Nous avons étudié indirectement les actes techniques à partir de 3 "modules" : les consignes, l'organisation du travail et l'observation sur les plantes.

Les serristes ont conscience de l'existence, à l'intérieur de leur serre, d'une forte variabilité d'état végétatif entre plantes. Selon eux, l'effet de la variabilité sur la production concerne principalement la qualité (distribution des calibres, qualité visuelle des fruits). C'est pourquoi, certains d'entre eux tentent de la piloter en adaptant les actions à l'état des plantes.

Il existe une grande diversité des modes de conduite entre exploitations : diversité des consignes, mais aussi du résultat de leur application sur les plantes. L'analyse de cette diversité met en évidence les déterminants de l'action sur les plantes (figure 1.11). L'application des techniques sur les plantes dépend des consignes (forme de transfert des connaissances du serriste vers les acteurs) et des conditions de réalisation (donc de l'organisation du travail).

Les consignes indiquent une norme, modalité d'intervention moyenne, et une (des) règle(s) de remplacement qui sont déclenchées après observation d'indicateurs sur la plante. Le degré de diversité des consignes entre exploitations varie d'une technique à l'autre, en fonction des conséquences agronomiques et de la marge de manoeuvre de chacune : pour certaines techniques (palissage, ébourgeonnage), il n'y a qu'une façon d'opérer. Pour d'autres (effeuillage), la marge de manoeuvre est faible car il faut tenir compte des plantes voisines. L'adaptation plante par plante des techniques de régulation du nombre de fruits (éclaircissage, ablation de bouquet) est la plus fréquente, car non seulement la marge de manoeuvre de l'acteur est grande (ablation ou non d'un bouquet, d'un ou plusieurs fruits), mais aussi ces techniques jouent fortement sur le rendement et la qualité de la production.

Le mode de conduite est très fortement lié aux conditions socio-économiques de l'exploitation : objectifs de production et contraintes, liées notamment à la main d'oeuvre.

La conduite plante à plante n'est pratiquée que lorsque c'est la qualité qui est l'objectif de production principal. Sur ce type d'exploitations, la production est commercialisée en cagettes, directement par le maraîcher, système qui valorise bien la qualité.

Le type de conduite est fonction des caractéristiques individuelles de la main d'oeuvre (qualification, expérience, motivation...), mais aussi de ses caractéristiques globales, qui découlent de l'organisation du travail, c'est à dire de la répartition des différentes tâches à l'ensemble du personnel : une conduite plante à plante est plus facilement réalisable si elle s'accompagne d'une spécialisation du personnel par culture et, pour la culture de tomate, par compartiment de serre (motivation individuelle plus forte), et si une seule opération est réalisée à chaque passage dans la serre (plus grande attention pour chaque opération).

Tous ces facteurs sont en corrélation. Nous avons mis en évidence certaines relations de cause à effet, suivant un axe "à sens unique" allant des consignes et de l'organisation du travail jusqu'aux actes techniques. Mais d'autres relations, non étudiées ici, existent probablement, qui résultent du fonctionnement de l'exploitation (Sebillotte, 1983 ; Capillon, 1986) : par exemple, les caractéristiques de la main d'oeuvre conditionnent les objectifs de production. Petit (1981)

souligne le **caractère adaptatif du comportement de l'agriculteur**, qui adapte ses moyens aux objectifs qu'il s'est fixé, mais aussi réajuste ses derniers en fonction des contraintes qu'il choisit de ne pas lever.

L'étude de l'organisation du travail a permis d'élaborer une **grille d'analyse** à partir des critères précédents, qui révèle les contraintes de chaque exploitation pour l'adoption d'une conduite plante à plante. Cette grille n'est probablement pas exhaustive. De plus, elle n'a pas été validée sur un échantillon d'exploitations indépendant. Cependant, elle montre l'intérêt d'enregistrer ces critères pour proposer des conseils techniques adaptés à chaque exploitation.

Signalons que l'idée d'adapter une conduite générale à l'état de chaque individu se retrouve dans d'autres domaines de l'agriculture. En horticulture, les roséristes (fleurs coupées) adaptent l'opération de taille à l'architecture de chaque plant, car cette opération conditionne fortement la qualité (longueur de tige, état de la fleur...) et le rendement (nombre de ramifications). Il en est de même de la taille des arbres fruitiers. En élevage, on retrouve des conduites similaires, mais dans ce cas, ce sont l'espèce (bovins, ovins) et les objectifs de production (viande, lait) qui déterminent principalement le mode de conduite : c'est avec les troupeaux bovins-lait qu'on trouve le plus fréquemment une adaptation de l'alimentation à chaque individu en fonction de sa production (connue individuellement grâce au contrôle laitier).

**Ce travail apporte un certain nombre d'éléments à la compréhension des processus de décision en exploitations maraîchères.**

Dans les connaissances mises en jeu par le maraîcher pour fixer les consignes, les **indicateurs d'état des plantes** occupent une place importante. La vigueur des plantes apparaît comme un indicateur primordial dans le diagnostic ; elle recouvre plusieurs critères, parmi lesquels le diamètre de la tige semble un élément très important, car stable entre exploitations. Le modèle de **charge en fruits maximale** formalise des éléments du raisonnement du maraîcher; il intègre la notion d'équilibre entre offre et demande en assimilats carbonés (comme le montre l'adaptation de la charge en fruits à la date de semis) et justifie donc le concept de vigueur, qui permet d'adapter les techniques à l'état végétatif de la culture. Les théories agronomiques et écophysiologicals permettent ici de "valider" le raisonnement de l'agriculteur, puisqu'on montre que les verbalisations recueillies sont bien les raisons de faire de l'agriculteur et non pas de fausses justifications.

Tous ces éléments sont constitutifs d'un "**modèle du maraîcher**", qui est une représentation du fonctionnement du peuplement végétal sous l'effet des techniques. Il est probablement un des éléments d'un modèle plus global, le **modèle d'action**, résultat d'un ajustement progressif entre des connaissances théoriques et les caractéristiques physiques (sols, climat) et socio-économiques de l'exploitation.

L'existence de ce modèle a été montrée à partir de l'analyse du chantier de semis de betterave (Sebillotte & Servettaz, 1989), puis appliqué à d'autres éléments du fonctionnement des exploitations (organisation du travail et gestion des systèmes fourragers : Duru et al., 1988), ce qui lui confère un caractère assez général. Il semble que, sur la culture de tomate, il soit possible de formaliser un tel modèle d'action, en définissant un itinéraire technique prévisionnel, une organisation du chantier de travail et un corps de règles. En effet, des

analogies apparaissent entre la façon de conduire un groupe de parcelles de la sole de betterave et un groupe de plantes (règles d'enchaînement des opérations techniques, états-objectifs...)

Puisqu'il y a une variabilité intra-peuplement et une action plante par plante, **les ouvriers prennent également des décisions**. Nous avons peu étudié leur travail (uniquement indirectement et a posteriori), mais il semble qu'ils disposent également d'un **modèle de fonctionnement de la tomate**, sans doute beaucoup plus simple que celui du maraîcher, pour la plupart d'entre eux. C'est en effet une condition indispensable pour qu'ils puissent adapter la consigne générale, après observation de l'état de chaque plante. Dans ce cas, ils mettent en jeu un processus de décision analogue à celui du maraîcher lorsqu'il définit une consigne, qui leur permet d'adapter la consigne plante par plante. Cependant, les **indicateurs diffèrent**, pour partie, de ceux utilisés dans la construction de la consigne, parce qu'ils sont plus simples et **dirigés vers l'action** (par exemple l'allure du bouquet pour l'éclaircissage). La vigueur n'apparaît que très rarement comme indicateur d'adaptation des consignes, parce que difficile d'emploi ; elle ne fait donc pas partie du modèle de raisonnement de la majorité des ouvriers.

Il serait intéressant de confirmer et d'étudier ce modèle, et en particulier **d'analyser les différences entre les modèles des différents ouvriers, et par rapport au modèle du maraîcher**. Celui des ouvriers diffère probablement de celui du maraîcher, par le fait qu'il ne prend pas ou peu en compte l'échelle de l'exploitation (objectifs, contraintes, conditions économiques...). Cette étape se heurte cependant à la lourdeur du travail d'enquête pour avoir accès à un tel modèle, que nous n'avons que partiellement défini même pour les maraîchers, aucune grille d'analyse n'étant actuellement au point.

Le modèle du maraîcher est évolutif, grâce aux apports exogènes (conseillers, voisins...), mais aussi grâce à la méthode des essais-erreurs. Sur tomate, l'acquisition de nouvelles connaissances grâce à cette méthode est très rapide, du fait de la succession de sympodes et de la répétition des opérations manuelles au cours du cycle, **bien que les conditions climatiques et la vigueur de la culture évoluent dans le temps**.

L'analyse des pratiques dans les exploitations maraîchères fournit donc des éléments pour l'étude agronomique de la prise en compte de la variabilité intra-peuplement (deuxième et troisième parties), qui peuvent être résumés en quatre points :

1. Il existe une variabilité intra-peuplement, qui porte d'une part sur l'état végétatif des plantes, d'autre part sur les actes techniques.

2. L'indicateur qui détermine l'action des maraîchers est la vigueur. Elle est définie par plusieurs critères, mais le diamètre de la tige apparaît comme un élément déterminant dans cette définition, et pourrait donc servir de variable de caractérisation de la variabilité.

3. Selon les maraîchers, la variabilité intra-peuplement a surtout un effet sur la qualité, et peu sur le rendement. Mais elle complique également la conduite de la culture, à la fois dans le diagnostic global du serriste (à l'échelle de la serre) et pour l'action des ouvriers à partir d'une consigne unique sur des plantes différentes.

4. L'analyse des pratiques permet donc de définir un cahier des charges, pour élaborer des techniques prenant en compte la variabilité ; il concerne la nature des indicateurs d'action, les objectifs et les contraintes de l'exploitation. C'est par l'observation de ces facteurs qu'il sera possible de déterminer, sur chaque exploitation, quel type de conduite peut être adopté, et par conséquent de proposer des outils d'aide pertinents pour les maraîchers.



**SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE**

## PRELIMINAIRE

Cette synthèse bibliographique s'inscrit dans le cadre tracé par la première partie de résultats, qui a mis en évidence dans le comportement des acteurs une prise en compte de la variabilité du peuplement par les techniques manuelles. Elle prépare l'étude **des effets de la variabilité du peuplement (deuxième partie) et l'utilisation des techniques manuelles en vue de gérer cette diversité (troisième partie)**. Son objectif est d'aider à **construire les traitements expérimentaux** (notamment à raisonner le choix des peuplements et des techniques), à choisir les **variables pertinentes** à cette étude, et à **discuter les résultats obtenus**.

**Dans un premier temps, nous ferons l'hypothèse que le peuplement peut être décrit par les caractéristiques de l'individu moyen.** C'est avec cette démarche qu'a été analysée la très grande majorité des essais disponibles dans la littérature sur la culture de tomate. A l'image du modèle TOMGRO (Jones et al., 1991) qui part de cette hypothèse, nous présenterons un état des connaissances sur les 3 points suivants :

- Organogénèse et Développement
- Production de matière sèche
- Répartition des assimilats dans la plante et Elaboration du rendement et de la qualité.

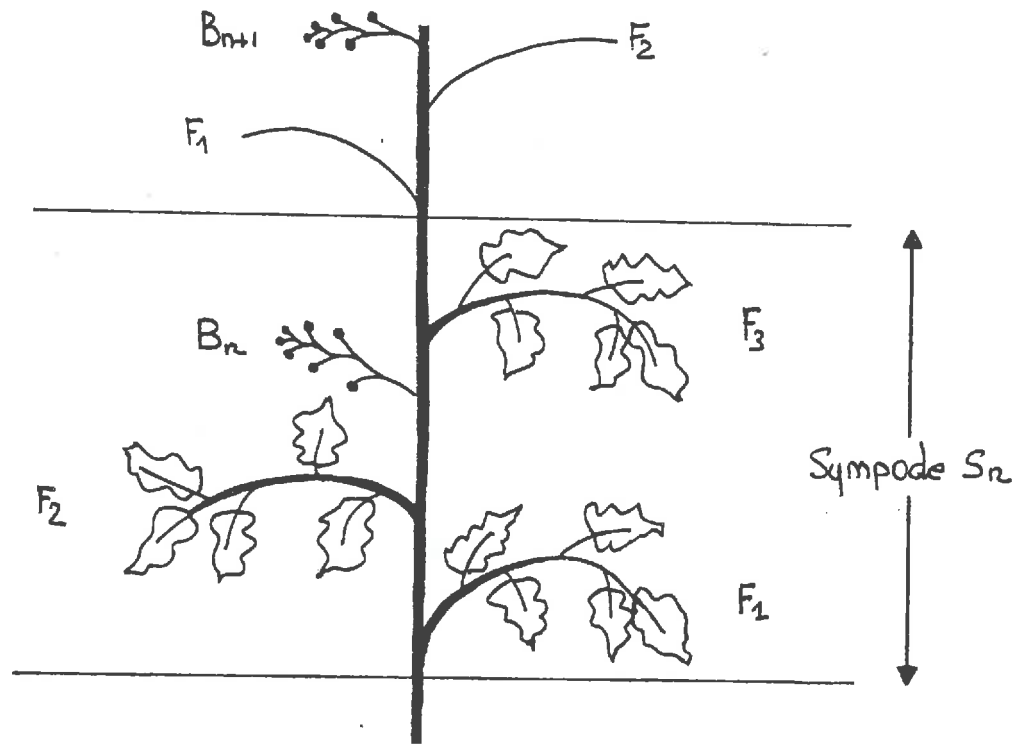
**Dans un deuxième temps, nous étudierons comment l'hétérogénéité intra-peuplement est susceptible de modifier le schéma d'élaboration du rendement et de la qualité établi précédemment, et quelles méthodes sont proposées dans la bibliographie pour étudier ce problème.**

L'effet du milieu et des techniques sur l'élaboration du rendement est généralement expliqué par deux mécanismes : selon l'**hypothèse hormonale**, ce sont les substances de croissance qui gèrent les relations entre organes (avortements...) et leurs croissances respectives. L'**hypothèse trophique** s'appuie sur la production et la répartition des assimilats carbonés : c'est la quantité d'assimilats disponibles, donc l'équilibre entre offre et demande, qui détermine la croissance des différents organes. Ces deux mécanismes sont fréquemment opposés, cependant, Jeuffroy (1991) souligne, au delà de cette opposition, l'intérêt de choisir la variable intermédiaire la plus pertinente pour comprendre le problème étudié.

Or, d'une part, le mécanisme de la répartition des assimilats semble a priori bien adapté pour raisonner les techniques que nous allons étudier, qui consistent pour la plupart en ablation d'organes. Bertin & Gary (1991) montrent que la théorie Sources-Puits fournit des simulations satisfaisantes de la croissance des fruits et des avortements. Inversement, les ablations d'organes constituent une des méthodes privilégiées pour l'étude de la répartition des assimilats (Watson, 1971). D'autre part, la bibliographie sur tomate privilégie très largement la répartition des assimilats. **C'est pourquoi, nous privilégions les mécanismes de répartition des assimilats, non pas en considérant que ce sont les seuls mécanismes en cause, mais parce que cela semble être un outil bien adapté à notre objet d'étude.**

**Les théories Sources-Puits et de la répartition des assimilats ne seront pas présentées en détail, bien qu'elles constituent le fil directeur de cette synthèse.** La théorie Sources-Puits (Watson, 1971) stipule que les transferts d'assimilats carbonés depuis les organes producteurs ("sources") jusqu'aux organes consommateurs ("puits") sont sous une double dépendance : la

FIGURE 9 : STRUCTURE D'UN PLANT DE TOMATE





photosynthèse est réduite lorsque la quantité d'assimilats produits est supérieure aux capacités d'utilisation de la plante (organes en croissance et/ou de réserve) et s'accumule dans les sources. Au contraire, l'accroissement de la demande des puits provoque une augmentation de l'activité des sources. La quantité d'assimilats destinés à un organe est fonction de sa "force de puits", définie comme sa vitesse de croissance potentielle, mesurée en conditions non limitantes. Lorsque l'offre en assimilats est inférieure à la demande, les assimilats sont répartis entre organes au pro-rata de leurs forces de puits respectives.

## 1. ORGANOGENESE ET DEVELOPPEMENT

### 1.1 UNE STRUCTURE ETAGEE

Sur les variétés de tomate de type indéterminé, la période strictement végétative est de courte durée et se termine à la floraison du premier bouquet, environ 50 à 60 jours après semis. Au delà, les croissances végétative et reproductrice ont lieu simultanément. Les plantes présentent une structure étagée très régulière, formée d'un empilement de **sympodes**.

D'un point de vue histologique, un sympode est formé d'un bouquet, de deux feuilles au dessous et d'une feuille au dessus (figure 9), structure qui résulte des différences de vitesse de croissance entre le bouquet et les feuilles (Atherton & Harris, 1986). Cependant, la variété Capello a un comportement original : il y a parfois 2 ou 4 feuilles entre 2 bouquets (rarement 1 ou plus de 5), ce qui perturbe la vitesse d'apparition (donc de floraison et de maturation) des bouquets suivants (Cf 1.2).

L'apparente croissance indéterminée provient du fait que le bourgeon axillaire situé à l'aisselle de la feuille 3 démarre très précocement, et se place exactement dans l'axe du sympode précédent, à la différence des variétés à croissance déterminée, où chaque sympode se trouve en position de ramification par rapport au sympode précédent (Atherton & Harris, 1986). La variabilité du nombre de feuilles par sympode sur la variété Capello n'est pas bien expliquée actuellement. Généralement, elle fait suite à un déséquilibre entre appareils végétatif et reproducteur, et/ou à des conditions climatiques défavorables (faible rayonnement...) (Jeannequin, Comm. pers.). Il pourrait donc s'agir d'un phénomène de détermination similaire à ce qui se passe sur les variétés déterminées, où le phénomène est très lié à l'état végétatif (la "vigueur") : une plante "faible", dont la surface foliaire est réduite, se détermine très rapidement. Cependant, sur les variétés indéterminées, le nombre de feuilles moyen à l'échelle de la plante reste toujours proche de 3 : il semble donc y avoir compensation entre les sympodes successifs.

Les ramifications issues des autres bourgeons axillaires sont supprimées au fur et à mesure de leur apparition ; la croissance se fait sur une tige unique. L'étalement de la floraison et de la récolte provient donc uniquement de l'apparition successive de bouquets sur la tige principale.

### 1.2 VITESSE DE DEVELOPPEMENT

Les feuilles apparaissent à intervalle constant en somme de degrés-jours, le **phyllochrone**. Sous serre, la température journalière moyenne varie beaucoup moins qu'en plein champ au cours du cycle, grâce au chauffage (de 15 à 18°C suivant les variétés). C'est pourquoi, le

phyllochrone est rarement exprimé en somme de degrés-jours, mais en jours (Hurd et al., 1979). Il varie de 2 à 3 jours suivant la période de l'année (la plus faible valeur en été, la plus forte en hiver) (Cooper, 1959 ; Picken et al., 1986), ce qui correspond à peu près à l'apparition d'un bouquet par semaine. La vitesse d'apparition des feuilles est un indicateur de l'âge physiologique de la plante, mais elle est difficile à estimer précisément, car contrairement à d'autres espèces, il n'existe pas, sur tomate, de notation décimale des stades de développement foliaires. **C'est donc la vitesse de floraison des bouquets successifs qui sert d'indicateur de vitesse de développement.** Cette variable est très intéressante, car elle conditionne la vitesse de maturation, donc de récolte, des différents bouquets. Si chaque sympode est formé de 3 feuilles, la vitesse de floraison est linéaire en somme de degrés-jours. Mais les irrégularités dans le nombre de feuilles par sympode, signalées précédemment sur la variété Capello, perturbent la linéarité de la vitesse de floraison.

Sur un certain nombre d'espèces à croissance indéterminée, et dans certaines conditions de croissance, la vitesse de développement est fonction de la vitesse de croissance (Pois : Turc, 1988 ; Soja : Pigeaire et al., 1985). Sur Tomate, le même effet pourrait exister sur la vitesse de floraison ; en particulier, un nombre de feuilles par sympode différent de 3, que l'on a rapproché du phénomène de détermination, semble consécutif à une diminution de la vitesse de croissance.

### 1.3 DUREE DE LA PERIODE DE FLORAISON

A la différence des variétés indéterminées de Soja ou de Pois, on peut considérer que sauf accident, **la floraison des variétés indéterminées de tomate se poursuit tout au long du cycle, jusqu'à l'arrachage de la culture**, indépendamment du nombre de fruits en croissance sur la plante. Dans les conditions de culture habituelles, l'entrée en sénescence n'est donc pas physiologiquement programmée. Elle peut cependant survenir si la tige principale est cassée (par exemple au cours du palissage) et que tous les bourgeons axillaires ont été supprimés. Dans ce cas, l'arrêt de floraison provient des interventions humaines.

Plus que la durée de floraison, **c'est la date de début de floraison qui est le critère le plus intéressant pour les maraîchers, puisqu'elle détermine la date d'entrée en récolte.** Pour une date de semis et une variété données (ce qui fixe assez précisément les conditions climatiques à l'extérieur et à l'intérieur de la serre, notamment la température), cette date est peu variable (60 +/- 5 jours). Elle est fonction du nombre de feuilles sous le premier bouquet et de la température de la serre (qui détermine le phyllochrone). Le nombre de feuilles sous le premier bouquet varie (en général de 6 à 10) suivant le génotype et les facteurs du milieu, en particulier rayonnement et température (Klapwijk & Wubben, 1984). Le nombre de feuilles sous le premier bouquet conditionne aussi les dimensions de l'appareil végétatif à la floraison (surface foliaire, biomasse...), facteur déterminant de l'équilibre ultérieur entre les appareils végétatif et reproducteur, et donc du rendement (Spithost, 1975).

L'âge à la floraison étant peu variable par rapport à la durée de la floraison sur la plante (jusqu'à 11 mois), **c'est la vitesse de développement qui est le principal déterminant du nombre de bouquets produits au cours de la saison, une fois fixée la date d'arrêt de la culture.**

**TABEAU 5 : LA FONCTION D'EFFICIENCE  $\epsilon$  ET SES PRINCIPAUX DETERMINANTS**

$\epsilon$	Principaux facteurs de variation
$\epsilon_c$ : efficience de conversion $PAR_a / R_g$	ennuagement, hauteur du soleil...
$\epsilon_i$ : efficience d'interception $PAR_i / PAR_a$	caractéristiques du rayonnement incident, agencement spatial des feuilles, IF, propriétés optiques des feuilles et du sol
$\epsilon_b$ : efficience biologique $MS / PAR_a$	composition chimique des organes
$\epsilon_s$ : transmittance de la serre $R_{ge}/R_g$	Qualité du verre, inclinaison du toit, orientation de la serre Hauteur du soleil, rapport entre rayonnement direct et diffus

## 2. PRODUCTION DE MATIERE SECHE

La production de matière sèche d'une plante dépend de l'utilisation des facteurs du milieu (lumière, eau, éléments minéraux), qui, du fait de la présence des plantes voisines, sont disponibles en quantité limitée. **Compte tenu des caractéristiques de la culture, (culture de contre-saison, ferti-irrigation localisée, hors-sol...), on peut considérer que le facteur limitant est très généralement le rayonnement, et que c'est lui qui gère les relations de compétition entre individus.** C'est d'ailleurs l'hypothèse faite dans la plupart des modèles, qui estiment une production potentielle (lorsqu'aucun des autres facteurs et conditions du milieu ne sont limitants) : Whisler et al. (1986) sur diverses espèces, Jones et al. (1991) sur tomate (modèle TOMGRO).

De plus, la prise en compte du rayonnement est un trait important de la pratique des maraîchers : la technique d'effeuillage agit sur le nombre de sources photosynthétiques ; le palissage modifie la distance entre plantes, donc les relations de compétition entre individus.

**C'est donc ce facteur que nous privilégions dans la synthèse bibliographique.**

### 2.1 INTERCEPTION DU RAYONNEMENT ET PRODUCTION DE MATIERE SECHE

Notre objectif n'est pas de faire un bilan complet des facteurs qui interviennent dans l'interception du rayonnement et la production de matière sèche, mais de mettre en évidence certains facteurs qui auront un poids important dans les deuxième et troisième parties de la thèse.

La production de biomasse d'une culture en champ peut s'interpréter comme une fonction d'efficacité du rayonnement global extérieur  $R_{ge}$  (Monteith, 1972 ; Varlet-Grancher & Bonhomme, 1979) :

$$MS = \epsilon_c \cdot \epsilon_i \cdot \epsilon_b \cdot R_{ge}$$

Le tableau 5 récapitule les différents paramètres de la fonction d'efficacité  $\epsilon$  et leurs principaux facteurs de variation.

Dans le cas des cultures sous abris, la fonction  $\epsilon$  doit être corrigée par la **transmittance globale de la serre  $\epsilon_s$** , qui est le pourcentage de rayonnement extérieur transmis sous serre. Ce facteur dépend de la nature de la serre, mais varie également au cours de la journée en fonction de la hauteur du soleil et du rapport entre composantes directe et diffuse du rayonnement (Tchamitchian, 1990). Il est de l'ordre de 0.5 à 0.6, et **réduit donc de près de la moitié le rayonnement incident.** La réduction est surtout importante en hiver, quand le rayonnement extérieur est déjà faible. Le verre modifie également la nature du spectre lumineux et le rapport entre composantes directe et diffuse (Baille & Tchamitchian, 1991).

Parmi les caractéristiques du peuplement végétal susceptibles de jouer sur la biomasse (tableau 5), l'indice foliaire (IF) est le principal facteur de variation pour une espèce donnée (Varlet-Grancher & Bonhomme, 1979).

### 2.1.1 *Le rayonnement incident*

Le modèle précédent est basé sur l'hypothèse que la végétation est isotrope dans un plan horizontal. Or, le peuplement de tomate est structuré par la présence de rangs (en général doubles). **Plusieurs auteurs ont cherché à adapter les modèles d'interception de l'énergie lumineuse à la structure géométrique du couvert, en particulier dans le cas des cultures en rangs.** Sinoquet (1989), Sinoquet & Bonhomme (1989), Tchamitchian & Longuenesse (1991) décrivent le couvert (respectivement de maïs et de tomate) à partir d'un découpage du volume en couches horizontales et tranches verticales, chaque tube (parallèle au rang) étant caractérisé par sa densité foliaire, l'agencement des feuilles et le rayonnement incident. A partir de ces modèles probabilistes, ils déterminent la photosynthèse de chaque tube, puis du couvert par intégration. La structure en rangs et les phénomènes de compétition entre rangs ou entre plantes d'un même rang sont pris en compte par la **densité foliaire moyenne de chaque tube.** Cependant, du fait de la structure même du modèle, on fait l'hypothèse que le tube est de densité constante, ce qui ne permet pas de prendre en compte la variabilité de densité foliaire le long d'un tube. D'autres auteurs, travaillant sur des cultures où la distance sur le rang est du même ordre de grandeur que la distance entre rangs (arbres fruitiers, tabac), ont décrit le volume occupé par chaque plante (Thorpe et al., 1978 ; Whitfield & Connor, 1980) à partir de formes ellipsoïdales. Ces modèles sont basés, comme celui de Sinoquet, sur l'hypothèse d'homogénéité le long de l'axe du rang (Charles-Edwards & Thorpe, 1976 ; Whitfield & Connor, 1980), la description du volume ayant pour objectif de déterminer le profil vertical de photosynthèse et non pas d'analyser la compétition entre plantes éventuellement différentes. **Il n'existe pas, à notre connaissance, de modèle d'interception du rayonnement permettant de juger de la compétition entre individus d'un même rang.**

Par rapport à une culture de plein champ, la serre entraîne une augmentation de la variabilité spatiale du rayonnement. Sa surface réduite accroît les effets de bordure (qui modifient le rayonnement, la température et l'hygrométrie à proximité des parois). Les compartiments voisins qui abritent des cultures d'âge éventuellement différent, peuvent provoquer des ombrages plus ou moins importants suivant l'heure du jour et la saison.

De plus, les éléments opaques de la charpente créent de très nombreuses zones d'ombre, qui se déplacent dans la serre en fonction de la course du soleil. En moyenne, la perte de rayonnement due à la charpente seule est estimée à 10-20% (Baille & Tchamitchian, 1991). L'effet de l'ombrage de la charpente sur l'hétérogénéité du couvert et la production de chaque individu ne semble pas avoir été étudié avec précision.

La variabilité spatiale du rayonnement incident n'est jamais prise en compte dans les modèles de photosynthèse sous serre, qui se contentent en général de corriger le rayonnement incident par la transmittance globale de la serre (Tchamitchian, 1990).

### 2.1.2 *L'indice foliaire*

Sur les espèces à croissance déterminée (Blé), ou indéterminée avec arrêt de floraison (Pois), l'indice foliaire augmente régulièrement au cours du cycle jusqu'à l'arrêt d'émission de nouveaux noeuds, puis diminue progressivement à partir de l'entrée en sénescence des étages inférieurs.

Sur tomate, d'une part il y a sans cesse apparition de nouveaux noeuds, d'autre part, il

existe d'importantes fluctuations à court terme (échelle de la semaine), qui proviennent de :

- l'apparition de nouvelles feuilles (vitesse de développement),
- la disparition des feuilles les plus anciennes par sénescence et/ou au cours des effeuillages successifs,
- la croissance en surface des feuilles, sur les sympodes les plus récents.

L'indice foliaire croît d'abord régulièrement et atteint son maximum lorsque les plantes atteignent le haut de la serre. Au delà, le palissage (en hauteur) et l'effeuillage (en bas) maintiennent approximativement constante la longueur de tige porteuse de feuilles. Cependant, des fluctuations d'indice foliaire existent, du fait de l'inadéquation éventuelle des deux opérations culturales (qui jouent sur le nombre de feuilles), de la longueur des entre-noeuds (qui peut augmenter sous l'effet d'étiollement) et de l'état végétatif des plantes (qui détermine la surface unitaire des feuilles). Dans les travaux de Hurd et al. (1979), l'indice foliaire continue de croître après le premier effeuillage (figure 10), à cause de l'augmentation de la surface foliaire unitaire. Puis, la diminution de la surface unitaire alors que le nombre de feuilles est stable explique la décroissance de l'indice foliaire. Cependant, une telle diminution de l'indice foliaire n'est pas systématique, de nombreux auteurs signalent seulement une fluctuation autour d'une valeur moyenne.

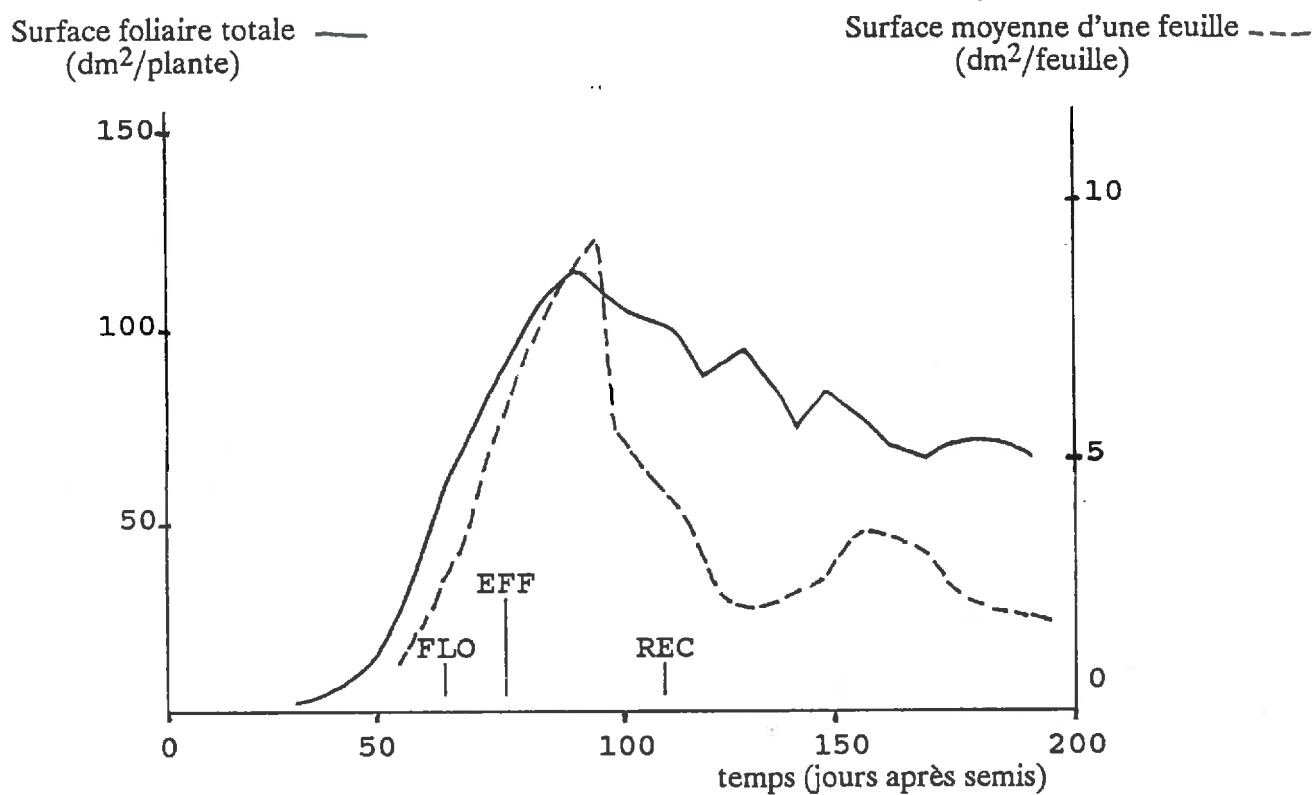
La croissance d'une feuille évolue en fonction du climat extérieur et de la saison (Cooper, 1959) : pour des semis de novembre ou décembre, la durée de croissance varie de 30 à 50 jours, le minimum ayant lieu en été. La surface foliaire (estimée par la longueur de la feuille) atteint son maximum dès la dixième feuille (soit aux alentours du premier bouquet) et tend à diminuer au cours du cycle, ce qui est lié à l'âge de la plante et à l'augmentation du rayonnement en été. A cette tendance générale s'ajoute une variation en fonction de la position de la feuille dans le sympode : c'est la feuille 3, immédiatement au dessus de l'inflorescence, qui a la surface la plus faible. Enfin, de fortes fluctuations existent d'une feuille à l'autre, qui ne sont que partiellement expliquées ; Cooper (1959) et Hurd et al. (1979) montrent cependant que l'évolution de la surface foliaire unitaire dans la saison est fonction de l'équilibre entre croissances végétative et reproductive au sein de la plante.

**L'indice foliaire est d'emploi assez difficile sur les cultures de tomate sous serre : d'une part, les mesures de surfaces foliaires sont lourdes ; d'autre part, l'indice foliaire est un concept dont l'utilisation pose problème sur les cultures en rangs :**

**\* Le fonctionnement de la plante et le mode de conduite du peuplement rendent difficile toute mesure de la surface foliaire :** la mesure au planimètre ne peut être que destructive, du fait de la complexité de forme des feuilles (nombreux folioles, eux-même découpés), et de leur dimension. Le suivi de l'indice foliaire au cours du temps impose donc la destruction de nombreux échantillons. C'est pourquoi, des mesures indirectes sont souvent utilisées.

Des coefficients de corrélation élevés existent, sur diverses espèces et dans des conditions très variables, entre la surface foliaire et des mesures linéaires (les plus utilisées étant la longueur et la largeur des feuilles). Un certain nombre de corrélations sont récapitulées par Hamid & Agata (1989) et par Ma et al. (1992). Elles sont également utilisées par Cooper (1959, 1964) sur tomate. La principale difficulté tient à la variabilité des équations reliant surface foliaire, longueur et largeur, tant dans leur forme (linéaire, polynomiale...) que dans les coefficients. Les principaux facteurs de variation sont la variété (Hamid & Agata, 1989), les

FIGURE 10 : EVOLUTION DE LA SURFACE FOLIAIRE D'UNE PLANTE AU COURS DU TEMPS



Semis : 14 janvier ; densité : 3.3 plantes/m<sup>2</sup>

EFF : Premier effeuillage

FLO : Début de floraison

REC : Début de récolte

(d'après Hurd et al., 1979)

conditions du milieu, la position dans le cycle cultural, voire la position de la feuille sur la plante (Ma et al., 1992). Pour chaque situation, il est donc nécessaire d'étalonner la relation sur un échantillon détruit, puis de l'appliquer à l'essai, sur lequel on ne réalise que les mesures linéaires, non destructives.

**Il existe également des corrélations élevées ( $R^2$  supérieur à 0.9) entre la surface foliaire et la masse (fraîche ou sèche) des feuilles (Watson, 1937).** Comme pour les mesures linéaires, des corrélations ont été observées dans une large gamme d'espèces, de variétés et de conditions de milieu. En effet, c'est une méthode très utilisée parce que les mesures de masses sont précises et faciles à réaliser. De plus, cela permet un passage de la masse foliaire à la surface, ou vice-versa, dans les modèles de croissance qui ne calculent généralement qu'un seul des deux paramètres. Il est donc crucial d'étudier la variabilité du rapport entre masse et surface foliaires, la **masse surfacique  $m$** , ou son inverse, la **surface massique  $SLA = 1/m$**  (Specific Leaf Area). Le SLA varie d'une situation à l'autre ; pour une espèce et une variété données, les principaux facteurs de variation sont liés à **la position de la mesure dans le cycle cultural (donc au stade de développement de la culture), aux conditions de milieu et à la position de la mesure dans le couvert.**

La surface massique augmente dans la première partie du cycle cultural, puis diminue ensuite (Ma et al., 1992). Cette évolution semble liée principalement au stade de développement de la culture et en particulier à la date d'apparition des organes reproducteurs : Ma et al. (1992) constatent une diminution du SLA sur le pois au moment de l'initiation des gousses.

Le SLA varie en fonction des conditions climatiques, en particulier des facteurs qui jouent sur la photosynthèse. Sur tomate de serre, Thornley et Hurd (1974) montrent que la surface massique diminue lorsque le rayonnement incident et la teneur en  $CO_2$  augmentent, et lorsque la température diminue ; ces effets sont modélisés ainsi dans TOMGRO (Jones et al., 1991). Ils traduisent un phénomène d'adaptation au climat : lorsque les conditions de photosynthèse sont défavorables, la surface des feuilles s'accroît pour une même masse foliaire.

Le SLA varie en une date et un lieu donnés, en fonction de la position de la feuille dans le couvert. Koller (1972) montre que le SLA augmente quand on s'enfonce dans le couvert, à cause de la réduction de rayonnement (Reddy et al., 1989).

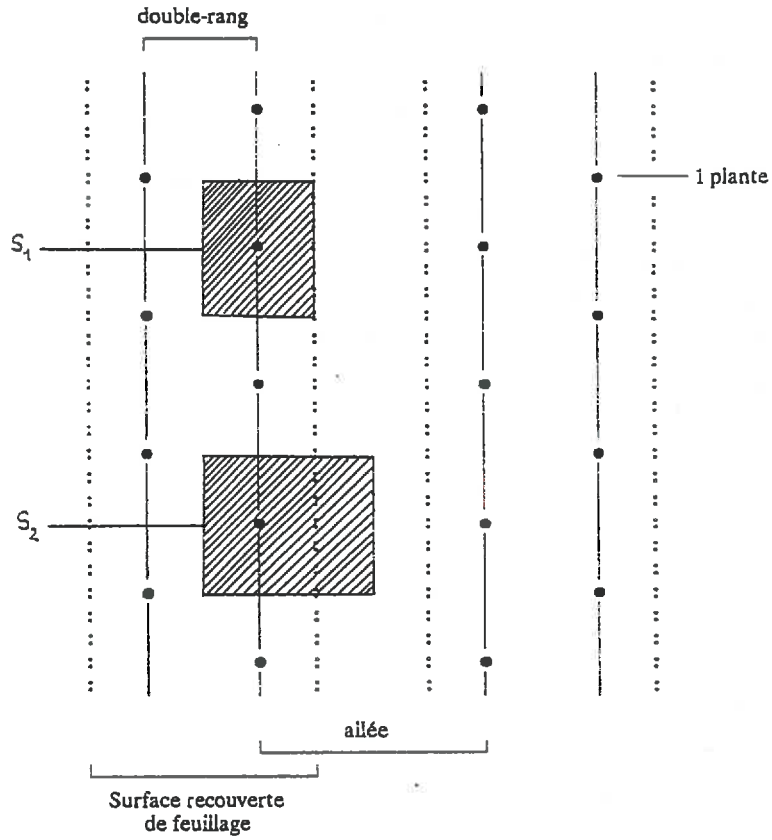
Gary et al. (1991) montrent que tous ces facteurs expliquent bien les variations de SLA à moyen terme, mais que les importantes variations journalières sont dues à des fluctuations du pool de carbohydrates dans les feuilles.

Comme pour l'estimation de la surface par les mesures linéaires, il est donc nécessaire de mesurer la masse surfacique sur un échantillon conduit dans des conditions analogues.

**\* A ces difficultés de mesure de la surface s'ajoute le fait que l'indice foliaire est d'utilisation délicate en culture en double-rangs.** En effet, la notion d'indice foliaire est associée à l'interception de rayonnement par un couvert homogène de dimension infinie, et à sa diminution exponentielle le long d'un axe vertical. Dans le cas d'une culture sous serre, la présence d'allées modifie le gradient de rayonnement dans l'axe vertical, certaines zones basses de la plante pouvant recevoir, à certaines heures de la journée, une quantité de rayonnement non négligeable en provenance des allées (Tchamitchian & Longuenesse, 1991). Le choix d'une surface de sol, dénominateur dans le calcul de l'indice foliaire, est donc délicate (et jamais explicitée par les auteurs, ce qui rend toute comparaison impossible). Tout au plus peut-on



FIGURE 11 : DEFINITION D'UN INDICE FOLIAIRE SUR CULTURES EN RANGS



Distance entre rangs = distance entre plantes sur le rang = 0.50m

Largeur de l'allée = 1m

$$IF_{\max} = SF / S_1$$

$S_1$  = Surface minimale  
= Surface occupée par la plante  
(modèle : cercle ou carré)

$$IF_{\min} = SF / S_2$$

$S_2$  = Surface maximale  
= Surface Serre / Nb de plantes

déterminer (figure 11) :

- un IF minimal, qui correspond à une surface de sol maximale, celle de la serre (dans l'hypothèse de capture totale du rayonnement),

- un IF maximal, qui correspond à une surface de sol minimale, celle recouverte effectivement par les feuilles.

L'indice foliaire est donc assez peu employé en culture sous serre. Des chiffres très variables sont annoncés dans la bibliographie : de 2.5 à 2.8 pour Tchamitchian & Longuenesse (1991), de l'ordre de 3.9 pour Hurd et al. (1979), 8.6 pour Acock et al. (1978). Cette forte variabilité pourrait être expliquée par l'état végétatif des plantes au moment des mesures (surface d'une feuille, nombre de feuilles donc longueur de tige), mais aussi par la diversité des dispositifs de culture (rangée simple ou double...), donc par les difficultés d'estimation de la surface de sol.

### *2.1.3 contribution des différents étages de la plante à la photosynthèse*

**Le processus de photosynthèse à l'intérieur du peuplement est structuré verticalement, du fait de l'évolution le long de la plante du rayonnement incident et de l'efficacité des feuilles.**

La présence de rangs modifie de façon assez radicale la classique décroissance du rayonnement suivant la loi de Beer. En effet, dans ce modèle, dès que l'indice foliaire est supérieur à 4 ou 5, les feuilles de la base du couvert n'atteignent plus le point de compensation (Baldy, 1975) et le bilan de la photosynthèse est négatif. Au contraire, Tchamitchian & Longuenesse (1991) montrent grâce au modèle en tubes, que dans un couvert en rangs, les feuilles de la base reçoivent, à certaines heures de la journée (notamment au midi solaire) un rayonnement important.

Par ailleurs, l'efficacité des feuilles diminue en fonction de leur âge, donc de leur rang sur la plante (Tchamitchian & Longuenesse, 1991) ; cette diminution peut être assimilée à une décroissance linéaire (figure 12). Cependant, la réponse d'une feuille à la photosynthèse dépend de son âge, mais également de son environnement lumineux : les feuilles de la base de la plante ont une photosynthèse faible, à cause non seulement de leur âge, mais aussi du faible rayonnement incident. Or, il est possible qu'à certaines heures de la journée (autour du midi solaire), les feuilles de la base aient une photosynthèse non négligeable (Acock et al., 1978).

Sur une plante d'indice foliaire égal à 8.6, ces auteurs montrent que l'effeuillage du tiers inférieur de la plante diminue, juste après l'intervention, l'indice foliaire de 39%, mais le rayonnement intercepté seulement de 3%, ce qui a un effet négligeable sur la photosynthèse totale. Le tiers supérieur de la plante (23% de l'indice foliaire) est par contre responsable des deux tiers de la photosynthèse. L'utilisation du modèle en tubes par Tchamitchian (1990) fournit une cartographie fine de l'activité foliaire des feuilles de la plante, qui est globalement en accord avec les résultats de Acock.

**FIGURE 12 : PRISE EN COMPTE DE L'AGE DE LA FEUILLE DANS L'EFFICIENCE DE LA PHOTOSYNTHESE**

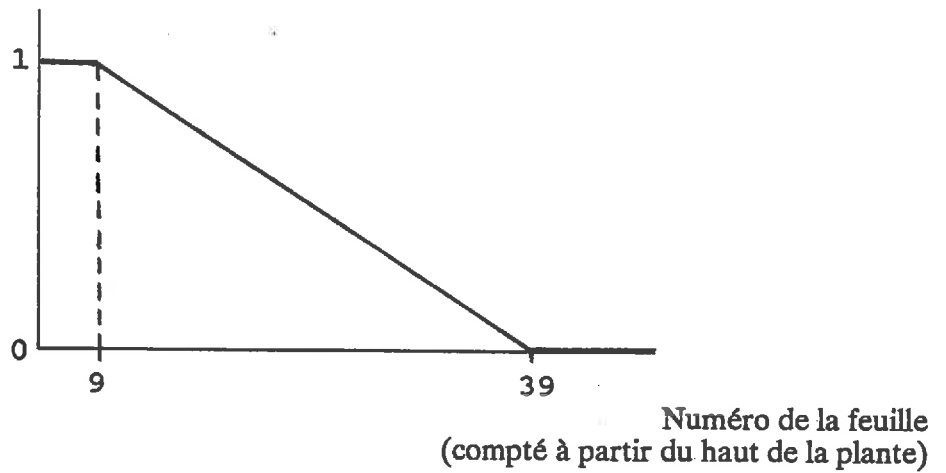
$$Pb_i = Pb_0 * F$$

$Pb_i$  = Photosynthèse brute de la feuille i

$Pb_0$  = Photosynthèse brute de la feuille la mieux éclairée (en haut de la plante)

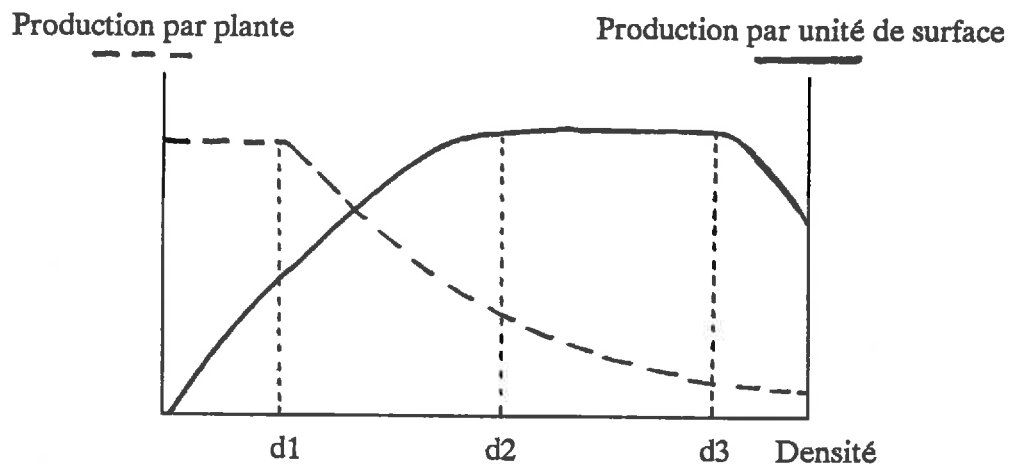
F = Fonction d'efficacité

Fonction d'efficacité F



(d'après Tchamitchian et Longuenesse, 1991)

**FIGURE 13 : EFFET DE LA DENSITE SUR LA PRODUCTION DE MATIERE SECHE**



(d'après Bredmose, 1972 et Van de Vooren et al., 1986)

## 2.2 DEUX TECHNIQUES JOUANT SUR L'INTERCEPTION DU RAYONNEMENT : LA DENSITE DE PLANTATION ET L'EFFEUILLAG

### *2.2.1 Effet de la densité de plantation*

L'indice foliaire, comme la photosynthèse, sont définis par unité de surface et sont donc très liés à la densité de plantation. L'effet de la densité a été étudié sur de nombreuses cultures, dont la tomate (Anker et al., 1980, cités par Van de Vooren et al., 1986). Sur les cultures en lignes, la densité est étroitement liée à l'arrangement spatial des individus ; ces deux facteurs sont donc souvent étudiés simultanément. Le rendement d'un individu est d'autant plus élevé que l'espace disponible autour de lui est proche d'un carré (ex du blé, Kemp et al., 1983). La disposition des individus dans la serre, en doubles-rangs, résulte de considérations pratiques (temps de travaux, ...) plus qu'écophysiologicals ; elle est donc relativement stable. Le modèle Hollandais fait aujourd'hui figure de référence (doubles rangs distants de 0.5 m, largeur de l'allée entre 2 doubles rangs : 1m). Les études de densité sous serre se limitent donc généralement à faire varier la distance entre plantes sur le rang, que l'on ramène à une densité moyenne. De ce fait, les études sont comparables aux études classiques de densité sur les autres espèces.

Au delà d'un seuil de densité  $d_1$ , le rendement par plante diminue (figure 13) ; le rendement par unité de surface continue de croître jusqu'au seuil  $d_2$ , au delà duquel il se stabilise, puis diminue. De plus, la densité a un effet sur la qualité de la production, puisque le poids moyen des fruits diminue avec la densité. L'effet de la densité est en interaction avec la date de semis. Pour des cultures sous serre précoces, le rendement par unité de surface n'est pas affecté entre 1.5 et 2.5 plantes/m<sup>2</sup>, mais le poids moyen des fruits diminue (Van de Vooren et al., 1986).

La densité de plantation sous serre est en fait très peu variable ; sur les cultures sous serre précoces, elle varie entre 2 et 2.5 plantes/m<sup>2</sup>.

L'effet "densité" montre l'existence de fortes relations de compétition entre plantes, et de phénomènes de compensation puisque, dans une certaine gamme de densité, le rendement par plante est altéré, alors qu'il n'y a pas d'effet sur le rendement total. La notion de densité repose cependant sur l'hypothèse que les relations de compétition sont identiques pour toutes les plantes d'un peuplement. Or, d'une part, il existe une variabilité de surface foliaire entre plantes, d'autre part le palissage crée des différences de distances entre plantes, et modifie donc localement la densité de plantation. La bibliographie concernant la densité de plantation donne peu d'information sur ce type de variabilité.

### *2.2.2 Effet de l'effeuillage*

L'effeuillage dans les cultures sous serre est justifié par l'opération de palissage et de descente des tiges sur le grillage horizontal. Il permet également une meilleure circulation de l'air dans la culture (réduction des risques de maladies) et accélère la maturation des fruits. Théoriquement, seules les feuilles sénescentes sont éliminées. Mais du fait de l'organisation du travail (Cf première partie), l'effeuillage est souvent plus intense et peut concerner des feuilles qui sont encore photosynthétiquement actives.

La bibliographie regroupe deux types de travaux. Sur certains, l'effeuillage est une méthode de travail pour comprendre les déterminants de la photosynthèse et de la répartition

des assimilats. D'autres étudient les effets de la technique "effeuillage" sur le rendement.

Le paragraphe 2.1.3 sur le profil de photosynthèse laisse penser que l'effet de l'effeuillage dépend étroitement de la **position des feuilles éliminées sur la plante**, qui détermine d'une part leur statut de source ou puits, d'autre part (lorsqu'elles sont des sources), le rayonnement incident qu'elles reçoivent et leur activité photosynthétique. Nous nous limiterons à l'**ablation de feuilles mûres** (donc de sources), car l'ablation de feuilles-puits ne concerne ni les pratiques des maraîchers, ni nos objectifs expérimentaux.

L'effet de l'effeuillage sur la photosynthèse a été étudié par divers auteurs, sur tomate (Aung & Kelly, 1966 ; Wolk et al., 1983) ainsi que d'autres espèces : maïs, haricot (Wareing et al., 1968 ; Alderfer & Eagles, 1976). Tous s'accordent sur le fait que l'ablation de feuilles mûres entraîne une augmentation du taux d'assimilation des feuilles restantes (Net Assimilation Rate NAR). L'effeuillage entraîne également un accroissement de la longueur (Fisher, 1977) et de la surface des feuilles restantes (Wolk et al., 1983). Cet accroissement de la surface foliaire unitaire provient de la redistribution d'une partie des assimilats des tiges et racines vers les feuilles en croissance, ce qui expliquerait la diminution du taux de croissance relatif (Relative Growth Rate RGR) des racines et tiges observée par Aung & Kelly (1966). Si l'effeuillage est suffisamment précoce, la surface foliaire au début de la récolte est identique sur les plantes effeuillées et témoins (Wolk et al., 1983).

**Du fait de ces phénomènes de compensation, il est donc probable qu'un effeuillage limité n'a pas d'effet sur le rendement.** De plus, les travaux cités précédemment ont montré que :

- un effeuillage du tiers inférieur de la plante ne diminue pas le rayonnement intercepté par le couvert (Acock et al., 1978). Ce résultat doit être rapproché de l'indice foliaire élevé de la culture (8.6) : il est probable que tant que l'indice foliaire après effeuillage est supérieur à une valeur seuil qui correspond à l'absorption de la totalité du rayonnement, l'effeuillage est sans effet sur la photosynthèse de la plante.

- les feuilles de la base de la tige, proches de la sénescence, ont une photosynthèse faible, mais qui peut augmenter avec l'accroissement du rayonnement incident (Tchamitchian & Longuenesse, 1991).

### 3. REPARTITION DE LA MATIERE SECHE DANS LA PLANTE

#### 3.1 REPARTITION DES ASSIMILATS CARBONES ENTRE APPAREILS VEGETATIF ET REPRODUCTEUR

Dès la floraison du premier bouquet, il y a croissance simultanée d'organes végétatifs et reproducteurs. Du fait de la structure étagée du plant, il existe pour chaque catégorie d'organes (feuilles, fruits...) une diversité d'états de croissance le long de la plante, qui reproduit la courbe de croissance d'un organe au cours du temps. Ces organes, qui, à l'origine, sont tous des puits, acquièrent progressivement leur statut définitif, source ou puits, suivant qu'il s'agit de feuilles ou de fruits.

**Cette multiplicité, à la fois des types d'organes et de leurs stades, complique fortement la compréhension des phénomènes de compétition intra-plante sur tomate.**

### 3.1.1 Evolution de la répartition des assimilats au cours du cycle

Les phénomènes de répartition des assimilats entre les différents types d'organes (feuilles, racines, fruits) sur les espèces à croissance indéterminée sont complexes, du fait des interactions fortes avec de nombreux paramètres, et de leur évolution au cours du cycle. On ne dispose pas encore de modèle complet, même si les études sur la répartition des assimilats sur tomate sont très nombreuses. On sait cependant qu'il existe des interactions très fortes entre les différents organes d'une plante, notamment entre les appareils végétatif et reproducteur et entre les appareils souterrain et aérien.

Dès la floraison de la première fleur, la quantité de matière sèche destinée à la tige feuillée et aux racines diminue rapidement, tandis que la part des assimilats détournés vers les fruits augmente jusqu'à 90% (Hurd et al., 1979). La réduction de la croissance végétative affecte plus fortement les racines que les feuilles (Heuvelink & Marcelis, 1989). La surface foliaire diminue, parce que la croissance en surface des jeunes feuilles ne compense pas les pertes par sénescence (Cf 2.1.2 Evolution de l'indice foliaire). La croissance racinaire s'arrête 4 semaines après l'anthèse, et s'accompagne fréquemment de la mort de racines, en particulier juste avant la récolte (Van der Post, 1968), qui correspond au moment où la plus forte proportion d'assimilats est dirigée vers les fruits. La suppression de fleurs permet de restaurer la croissance foliaire et racinaire (Hurd et al., 1979).

Les fruits semblent donc en compétition avec l'appareil végétatif dans son ensemble, et de façon identique pour la tige feuillée et les racines. En effet, le ratio entre les masses de la tige feuillée et des racines est constant quelle que soit la charge en fruits sur la plante (que l'on fait varier avec la technique d'éclaircissage). Il est également relativement constant tout au long du cycle cultural (Hurd et al., 1979).

Le schéma de répartition des assimilats évolue fortement, même après l'entrée en floraison, lorsque la structure de la plante se stabilise ( $n$  bouquets dont les stades de développement varient de la floraison à la récolte, alimentés par  $3n$  feuilles). La réduction de la croissance des racines et des feuilles à la floraison entraîne une réduction de la production de fruits (nombre et poids moyen), ce qui permet à la croissance végétative de reprendre. L'augmentation de la charge en fruits consécutive a alors les mêmes conséquences que la première anthèse, bien que les conditions climatiques soient alors plus favorables. Ces phénomènes cycliques ont été observés sur plusieurs espèces à croissance indéterminée : tomate (Murneek, 1926) et concombre (Liebig, 1978, cité par Heuvelink & Marcelis, 1989 ; Schapendonk & Brouwer, 1984) où de tels cycles sont mis en évidence même dans des conditions climatiques stables.

Les modèles de fonctionnement du peuplement sont basés sur l'hypothèse que la répartition des assimilats est sous la dépendance des puits (Gifford & Evans, 1981), et proportionnelle à leur force de puits (vitesse de croissance potentielle). Cependant, comme la force de puits de l'appareil végétatif est mal connue, ces modèles considèrent comme constant le ratio entre certains organes. Heuvelink & Marcelis (1989) imposent que la force de puits de l'appareil végétatif est deux fois celle d'un bouquet, et que la demande de la tige est proportionnelle à celle des feuilles. Dans le modèle TOMGRO, la demande des tiges est supposée proportionnelle à la demande des feuilles, la part des assimilats alloués aux racines est une fraction de la demande totale, qui ne dépend que des stades phénologiques.

Le terme de **vigueur** n'est plus guère utilisé par les scientifiques, si ce n'est dans un sens particulier (la vigueur au démarrage, qui représente la vitesse de croissance d'une plantule juste après son émergence). Malgré son imprécision, la vigueur caractérise l'appareil végétatif d'une plante, ou l'équilibre entre celui-ci et l'appareil reproducteur (Van der Post, 1968) ; mais on ne sait pas très bien quelle est la variable physiologique étudiée : vitesse de croissance, croissance absolue,... Cependant, les résultats précédents confirment sa légitimité sur une culture de tomate, et son importance dans l'élaboration du rendement.

Bien que la connaissance de la répartition des assimilats soit encore imparfaite, **ces processus, à la base de la subdivision entre les appareils végétatif et reproducteur, permettent de discuter le concept de "vigueur" des maraîchers, et par conséquent les interventions culturales qu'ils appliquent en utilisant cet indicateur.**

### 3.1.2 Effet de l'état végétatif à la plantation

L'équilibre entre appareils végétatif et reproducteur est dynamique. Mais **il dépend fortement de l'état de la plante au commencement de la phase reproductive** (entre la floraison et la maturation du premier bouquet), qui est une phase critique pour la plante : la demande en assimilats est très importante (beaucoup de puits en forte croissance) à un moment où, du fait de la position du cycle dans la saison, l'offre est encore très limitée (hiver).

Le potentiel photosynthétique de la plante au moment de la floraison (date à laquelle la croissance de l'appareil végétatif se réduit) est donc un critère important. Une relation positive entre la taille de l'appareil végétatif et le rendement total a été montrée sur Pois (Brouwer, 1962, cité par Heuvelink & Marcelis, 1989) et tomate (Verkerk, 1966 ; Hurd et al., 1979). Les différences d'état végétatif peuvent provenir de plusieurs facteurs : date de semis, précocité du cultivar, rapport entre rayonnement et température (qui définit l'équilibre entre offre et demande en assimilats carbonés). Ces facteurs jouent soit sur l'âge physiologique à la floraison (nombre de feuilles), soit sur la croissance des feuilles (vitesse et surface maximale).

Parmi eux, **le stade de développement à la plantation** a été fréquemment étudié sur tomate. En effet, en culture très précoce, la plantation est parfois retardée jusqu'à la floraison du deuxième bouquet, alors que la floraison du premier bouquet est considérée comme le stade optimal. L'objectif de cette pratique maraîchère est de favoriser la nouaison des premiers bouquets (généralement défailante à cause du faible rayonnement), et secondairement d'avancer le début de la récolte (Large, 1965, cité par Cooper & Hurd, 1968a). Cette opération modifie l'équilibre initial entre la croissance des feuilles et des fruits, et ses conséquences sont sensibles sur toute la culture. Les résultats des essais disponibles dans la bibliographie (Cooper & Hurd, 1968a et b ; Morgan & Clarke, 1975) convergent : le retard de plantation diminue la vitesse de floraison (l'écart pouvant atteindre un bouquet en fin de cycle), le nombre de fleurs par inflorescence et le taux de nouaison, le poids moyen des fruits et le rendement total.

Cependant, d'un auteur à l'autre, les résultats divergent sur l'amplitude des effets (en terme de durée et d'écart par rapport au témoin). Plusieurs facteurs sont susceptibles de jouer : des interactions ont été montrées avec la date de semis, le rayonnement, l'irrigation, la variété, ce qui rend difficile la comparaison des différents travaux.

Les mécanismes impliqués restent au stade d'hypothèses :

- l'hypothèse la plus fréquemment évoquée est un **changement dans la répartition des assimilats** : lorsque la plantation est retardée, les assimilats destinés à la croissance racinaire sont dirigés vers l'appareil reproducteur (d'où une vitesse de croissance supérieure sur les

premiers bouquets, qui explique que la récolte soit plus précoce). Par la suite, les racines se trouvent en compétition avec un nombre croissant de fruits, qui sont des puits prioritaires. Le ralentissement, voire l'arrêt temporaire, de la croissance racinaire mis en évidence précédemment est fortement accentué.

- la réduction de la croissance racinaire pourrait s'expliquer non seulement par la compétition avec l'appareil reproducteur, mais aussi par les stress hydriques : en retardant la plantation, on augmente la durée de séjour dans un cube (substrat) de volume très réduit ( $1 \text{ dm}^3$ ) alors que simultanément, l'évapotranspiration de la plante s'accroît. Des déficits en eau sont fréquemment observés, et l'écart au témoin est atténué lorsque l'irrigation est volontairement réduite sur les deux traitements (Cooper & Hurd, 1968a).

- enfin, des phénomènes hormonaux pourraient intervenir (Morgan & Clarke, 1975).

### 3.2 REPARTITION DES ASSIMILATS CARBONES AU SEIN DE L'APPAREIL REPRODUCTEUR

Le rendement d'un plant peut se décomposer comme la somme de la production des différents bouquets :

$$RDT = \sum RDT_i$$

avec  $RDT_i$  = Rendement du bouquet  $i$  ( $i=1..n$ )  
 $n$  = nombre de bouquets récoltés

Le rendement du bouquet  $i$  peut lui-même être décomposé en nombre de fruits récoltés  $NFR_i$  et poids moyen des fruits  $P1F_i$ , comme dans le schéma de décomposition du rendement des céréales :

$$RDT = \sum NFR_i * P1F_i$$

Dans le cas des céréales à paille, l'analyse des composantes du rendement dans une démarche de diagnostic permet de dater la période où a eu lieu la réduction de rendement, et de déterminer le facteur qui était limitant à cette période (Meynard & David, 1992). Ceci est possible parce que les phases de formation et de remplissage des graines sont distinctes. Lorsque des chevauchements partiels apparaissent du fait de la structure de la plante (ex: pois), le diagnostic est moins aisé (Jeuffroy, 1991). Dans le cas de la tomate, un tel diagnostic est impossible parce que les deux phases sont concomitantes. Par contre, la distinction des différents bouquets permet de dater et d'identifier le facteur limitant, en estimant la période de floraison et de croissance de chaque bouquet.

Dans ce qui suit, nous étudions successivement la répartition des assimilats au sein d'un bouquet et entre bouquets, en commençant par l'élaboration du rendement d'un bouquet, ce qui nous permettra de présenter la structure de l'inflorescence. Dans ce paragraphe, l'analyse devrait être faite en l'absence de relations de compétition entre bouquets. Or, à de rares exceptions près (Bangerth & Ho, 1984), la bibliographie n'étudie pas ces phénomènes après suppression de tous les bouquets sauf un. Rigoureusement, il s'agit donc d'une analyse de la compétition intra-bouquet sur des plantes où la compétition inter-bouquets joue simultanément.



### 3.2.1 *Elaboration du rendement d'un bouquet*

Un bouquet est une inflorescence de type cyme, qui se caractérise donc par l'**apparition successive des fleurs**. Le **nombre de fleurs par bouquet** est une caractéristique variétale, mais il dépend également de l'état de la plante, une partie des fleurs initiées pouvant avorter avant épanouissement. Sur les variétés sous serre, et dans des conditions habituelles de croissance, il varie entre 5 et 10 et n'est jamais un facteur limitant de la production (Atherton & Harris, 1986). L'épanouissement des fleurs d'un bouquet s'étale sur environ une semaine.

A cause des conditions climatiques défavorables pour les cultures sous serre (faible rayonnement, absence de vent), la fécondation est toujours favorisée artificiellement (vibrage mécanique, bourdons pollinisateurs). Le gradient de développement au sein du bouquet entraîne une variabilité des dates de nouaison et de récolte des fruits le long de l'axe de l'inflorescence, de l'ordre de 1 semaine. Il joue un rôle important dans la détermination du **nombre de fruits noués**. En effet, pour une quantité fixée d'assimilats, inférieure à la demande de l'ensemble du bouquet, ce sont les fruits qui ont noué les premiers (fruits proximaux) qui sont les plus compétitifs (Ho et Hewit, 1986). Mais même en l'absence de gradient de nouaison dans le bouquet, les fruits proximaux ont une force de puits supérieure aux fruits distaux (Bangerth & Ho, 1984). Le taux de nouaison varie en fonction du nombre de fleurs sur le bouquet et du rapport entre l'offre et la demande. Etant données les relations de compétition entre sympodes, il varie également en fonction de l'équilibre entre appareils végétatif et reproducteur de la plante. Si le rayonnement est suffisant, le taux de nouaison est élevé sur les premiers bouquets, il diminue au fur et à mesure de l'augmentation de la **charge en fruits** sur la plante. En l'absence d'interventions humaines, le nombre de fruits par bouquet est généralement compris entre 4 et 8.

Sur tomate, il n'existe pas de stade limite d'avortement au sens où il a été défini sur soja et sur pois (Pigeaire, 1984), comme la taille à partir de laquelle une graine a moins de 5% de risque d'avorter. Mais les maraîchers définissent empiriquement un diamètre de fruit limite, au delà duquel le risque de ne pas donner un fruit de taille commercialisable est très faible ; il est fixé à 20 mm.

**La durée entre la nouaison et la maturation** est d'environ 60 jours, pour une température moyenne de l'air de 18°C. Le fruit suit une classique courbe de croissance sigmoïde (Ho & Hewit, 1986), avec :

- une croissance lente dans les 2 à 3 premières semaines (gain de poids inférieur à 10%),
- une croissance rapide pendant 3 à 5 semaines, la vitesse maximale ayant lieu à la moitié (Ho & Hewit, 1986) ou au tiers (Jones et al., 1991) de la période de croissance,
- une croissance lente dans les 2 dernières semaines, qui se caractérise surtout par un changement de la composition du fruit (concentration en acides...). La teneur en eau augmente progressivement pour atteindre 93% du poids frais à maturation.

Sur les cultures maraîchères, mais plus particulièrement sous serre, **la qualité** est un critère de production important. Bien que sa définition soit complexe (annexe 3), le principal critère pris en compte par les maraîchers est actuellement le **calibre** des fruits. Il est étroitement lié au nombre de fruits par bouquet. Pour une quantité d'assimilats fixée à l'échelle du bouquet, **l'augmentation du nombre de fruits réduit leur poids moyen**. Cette relation théorique est difficile à mettre en évidence à l'échelle du bouquet, du fait des transferts

d'assimilats d'un sympode à l'autre, mais elle existe également à l'échelle de la plante entière.

Le nombre de fruits par bouquet n'a pas seulement des conséquences sur le poids moyen, mais aussi sur d'autres critères de qualité : les derniers fruits de l'inflorescence, s'ils nouent, sont fréquemment déformés et creux, et ils arrivent à maturité tardivement.

La technique d'éclaircissage de fleurs, qui consiste à supprimer quelques fleurs de l'inflorescence (généralement les fleurs distales), joue donc un rôle fondamental dans l'élaboration de la qualité. D'une part, elle permet de supprimer précocement les fruits qui seraient déformés, creux, ou de calibre trop faible pour être commercialisés. D'autre part, en supprimant un certain nombre de puits, elle permet une redistribution aux fruits restants des assimilats qui leur étaient destinés, qui sont donc de calibre supérieur (Hurd et al., 1979).

Ces résultats montrent les conséquences d'une mauvaise estimation du nombre de fruits à conserver par bouquet. Une sur-estimation des capacités de remplissage de la plante entraîne l'apparition de fruits de mauvaise qualité et a un effet négatif sur la croissance de l'appareil végétatif. Une sous-estimation réduit la production du bouquet, donc probablement du rendement.

### 3.2.2 *Elaboration du rendement d'une plante*

Le paragraphe précédent a montré l'existence de fortes relations de compétition entre les fruits d'un bouquet lorsque l'offre en assimilats carbonés est inférieure à la demande. Nous étudions maintenant les relations de compétition et la répartition des assimilats entre bouquets. Celles-ci déterminent notamment le rythme de production, donc le rendement hebdomadaire, variable importante pour les maraîchers du fait des fluctuations de prix en cours d'année.

Du fait de la vitesse d'apparition des bouquets et de la durée de croissance d'un fruit, un plant de tomate comporte, à un instant donné, environ une dizaine de bouquets en croissance. La culture sous serre est très précoce, et décalée par rapport à l'évolution du rayonnement (pour les semis très précoces, la charge en fruits maximale correspond à la période de rayonnement minimal). La compétition entre sympodes est particulièrement importante sur cette culture, comme en témoigne l'alternance sur une même plante de sympodes très productifs et de sympodes peu productifs. Plus le nombre de bouquets est élevé, plus le poids d'un bouquet à la récolte est faible (Fisher, 1977).

Les règles de compétition entre bouquets sont liées aux modalités de transfert des assimilats de chaque source vers les différents puits. Sur pois, il y a allocation préférentielle des assimilats d'un étage aux gousses de cet étage (Flinn & Pate, 1970, cités par Jeuffroy, 1991). Jeuffroy (1991) confirme que les transferts d'assimilats d'un étage à l'autre existent, mais leur importance dépend à la fois de la position des gousses sur la plante et de leur stade. Sur soja, l'ensemble des assimilats est totalement redistribué en début de croissance, mais pendant le grossissement des fruits, il y a allocation préférentielle des assimilats d'un étage aux fruits du même étage.

Sur tomate, les règles d'affectation ne sont pas clairement établies ; à partir de la fructification, les feuilles de la base alimentent préférentiellement les racines ; les feuilles du haut, l'apex ; les feuilles intermédiaires, les bouquets (Bonnemain, 1975). Sur une plante ne portant qu'un bouquet, c'est la quantité de feuilles plus que leur position par rapport au bouquet qui détermine le rendement (Fisher, 1974). Khan et Sagar (1967) montrent que sur

une plante portant 3 bouquets, chacun est alimenté par une douzaine de feuilles, mais ce sont les 3 feuilles immédiatement dessous qui lui fournissent la majeure partie des assimilats. Tanaka & Fujita (1974, cités par Ho & Hewit, 1986) considèrent le bouquet et les 3 feuilles situées dessous comme une unité source-puits. Cependant, cette compartimentation n'est pas stricte ; elle peut être modifiée en cas d'ablation de puits ou de sources.

Ces ablations, réalisées dans un objectif de compréhension de la répartition des assimilats, peuvent être utilisées pour raisonner l'effet des techniques d'effeuillage et de régulation du nombre de fruits.

### 3.3 EFFET DES TECHNIQUES DE CONDUITE DE LA PLANTE SUR LE SCHEMA D'ELABORATION DU RENDEMENT ET DE LA QUALITE

#### 3.3.1 L'effeuillage

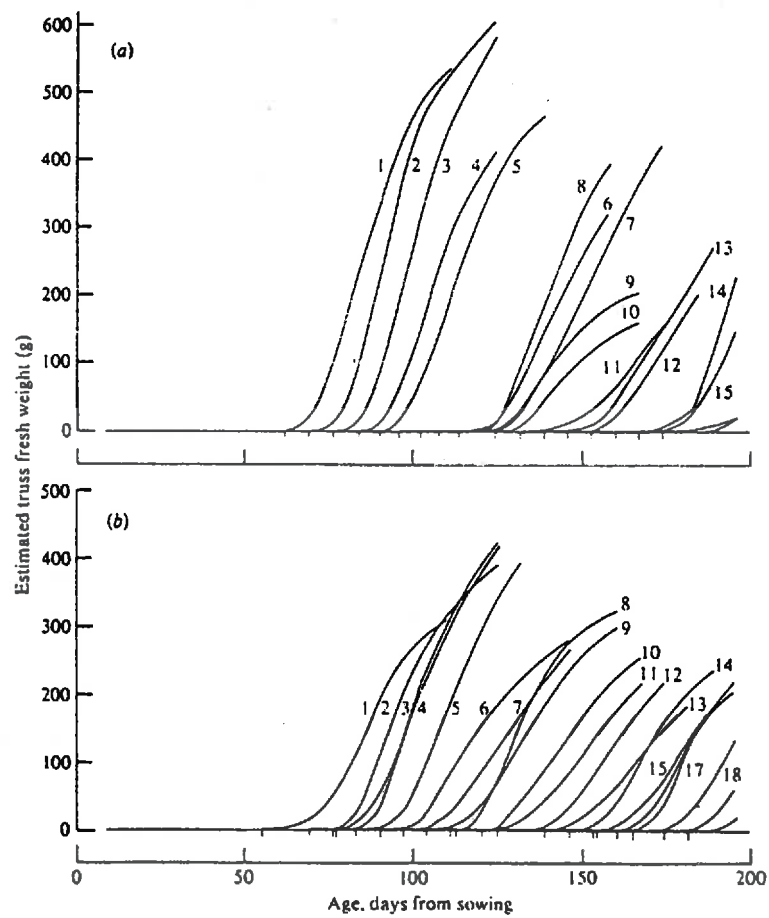
Les conséquences de l'effeuillage sur la photosynthèse du couvert ont déjà été mises en évidence dans le paragraphe 2.2.2. L'existence de phénomènes de compensation dans le fonctionnement photosynthétique de la plante laisse penser que la perte de rendement "supposée" suite à un effeuillage peut être partiellement compensée.

Slack (1980) montre que l'effet dépressif de l'effeuillage sur le rendement est proportionnel à l'intensité de l'effeuillage (exprimée en pourcentage de la surface foliaire initiale). D'autres travaux mettent en évidence un effet dépressif non proportionnel (Wolk et al., 1983 ; Slack & Bezer, 1984). Pour tous ces essais, l'intensité de l'effeuillage est très supérieure à ce qui est habituellement réalisé dans les exploitations agricoles. Mais une grande variabilité de résultats existe également lorsque les traitements simulent les pratiques d'effeuillage des maraîchers : Slack (1980) constate que l'effeuillage jusqu'au bouquet en cours de maturation diminue le rendement total de 11%. Au contraire, Slack & Bezer (1984) n'ont pas mis en évidence d'effet significatif pour un effeuillage similaire, et une diminution de rendement plus faible (7%) pour un effeuillage plus sévère (2 bouquets au dessus du bouquet mûr). La diminution de rendement provient essentiellement d'une réduction du poids moyen des fruits (donc de leur calibre), et secondairement d'une diminution du nombre de fruits récoltés.

Parmi les raisons pouvant expliquer la diversité des résultats, de probables interactions ont lieu avec la densité de plantation, l'indice foliaire au moment de l'effeuillage, la charge en fruits et le climat. De plus, la nature des traitements expérimentaux est très variable d'un essai à l'autre : ils consistent à supprimer soit des feuilles entières en partant du bas de la plante (Aung & Kelly, 1966 ; Slack, 1980 ; Slack & Bezer, 1984), soit une portion constante de la surface foliaire de toutes les feuilles (Wolk et al., 1983). Leur comparaison suppose que la position des feuilles supprimées n'ait aucun effet sur la photosynthèse et le rendement. Les paragraphes précédents montrent qu'il y a une allocation préférentielle des assimilats produits par une feuille aux bouquets les plus proches, mais que des transferts fréquents existent.

Bien qu'on ne dispose pas de bibliographie concernant l'effet de l'effeuillage sur le rendement bouquet par bouquet, ce schéma de répartition des assimilats nous permettra de discuter l'effet de la suppression de quelques feuilles isolées sur la production de chaque sympode.

FIGURE 14 : EFFET DE L'ECLAIRCISSAGE SUR LE RYTHME DE DEVELOPPEMENT DES BOUQUETS



Augmentation de poids frais des bouquets successifs ; semis de janvier

a) Traitement Témoin

b) Traitement Eclaircissage (suppression de 2/3 des fleurs)

Les traits verticaux sur l'abscisse indiquent les dates de floraison ; les courbes s'arrêtent à la récolte du premier fruit.

(D'après Hurd et al., 1979)

### 3.3.2 Les techniques de régulation du nombre de fruits

Nous avons déjà signalé les conséquences de l'éclaircissage de fleurs à l'échelle du bouquet. A l'échelle de la plante, les techniques d'éclaircissage et d'ablation de bouquet présentent des similitudes mais aussi des différences dans leurs mode d'action.

Toutes deux modifient l'équilibre entre appareils végétatif et reproducteur en diminuant le nombre de fruits avant que leur force de puits ne devienne importante. Cette similitude s'observe également dans le fonctionnement "spontané" de la plante : lorsque les conditions climatiques sont défavorables, des défauts de nouaison sont observés à la fois à l'échelle du bouquet (dernières fleurs) et de la plante (avortement d'un bouquet), mais c'est le premier type qui est le plus fréquent. L'avortement du bouquet n'a lieu que lorsque l'offre en carbone est fortement limitée, parce que la force de puits d'un bouquet en croissance est supérieure à celle d'un bouquet en floraison, elle-même supérieure à celle d'un bouquet en cours d'initiation (Ho & Hewit, 1986). Les techniques de régulation du nombre de fruits jouent non seulement sur l'équilibre entre sources et puits sur la plante, mais aussi sur la répartition des assimilats au sein de l'appareil reproducteur (relation entre nombre et poids moyen de fruits).

L'ablation de bouquet entraîne une diminution du nombre de fruits très localisée, contrairement à l'éclaircissage qui est beaucoup plus progressif. Cette différence est importante, compte tenu de l'existence de deux modes de répartition des assimilats (localisé et global). L'éclaircissage modifie l'équilibre sources-puits de façon équivalente sur tous les sympodes. La proportion d'assimilats destinés à la croissance végétative, à la nouaison et au remplissage des fruits est modifiée à l'intérieur d'un sympode, mais la répartition des assimilats entre sympodes change probablement peu. Ce n'est pas le cas pour l'ablation de bouquet, puisque les assimilats destinés au bouquet supprimé migrent vers les autres sympodes. Il est donc probable que les deux techniques jouent différemment sur le modèle d'élaboration du rendement.

La suppression de fleurs n'affecte pas la vitesse de développement moyenne (Slack & Calvert, 1977), mais régularise l'apparition des bouquets successifs (figure 14). En effet, sans régulation du nombre de fruits, certains bouquets ont un développement très retardé lorsque la charge en fruits est élevée (avant le début de récolte) ; ce phénomène n'est pas observé lorsque la charge en fruits est réduite par l'éclaircissage (Hurd et al., 1979).

La suppression de fleurs réduit le nombre de fruits récoltés, mais pas toujours dans la proportion 1:1. En effet, elle entraîne une augmentation du taux de nouaison (et ce d'autant plus que le nombre de fleurs conservées est faible, tableau 6) et elle évite l'avortement spontané de bouquets qui peut avoir lieu sur les plantes témoins. Le nombre de fruits récoltés à une date donnée reste cependant plus faible que sur le témoin (tableau 6 ; Buitelaar, 1973 ; Hurd et al., 1979). La récolte est régulière dans le cas de l'éclaircissage, alors qu'elle diminue brutalement dans le cas de l'ablation, au moment où devrait arriver à maturité le bouquet qui a été supprimé.

Quelle que soit la technique utilisée, la réduction du nombre de fleurs, donc de fruits, permet une augmentation du poids moyen des fruits restants (tableau 6 ; Buitelaar, 1973 ; Hurd et al., 1979 ; Veliath & Ferguson, 1972), qui est le principal facteur de qualité. Cette augmentation est relativement stable d'un bouquet à l'autre dans le cas de l'éclaircissage. Par contre, dans le cas de l'ablation de bouquets, l'augmentation de poids moyen est surtout le fait des bouquets les plus proches (figure 15), l'augmentation la plus forte étant sur le bouquet

TABLEAU 6 : EFFET DE L'ECLAIRCISSEMENT SUR LES COMPOSANTES DU RENDEMENT

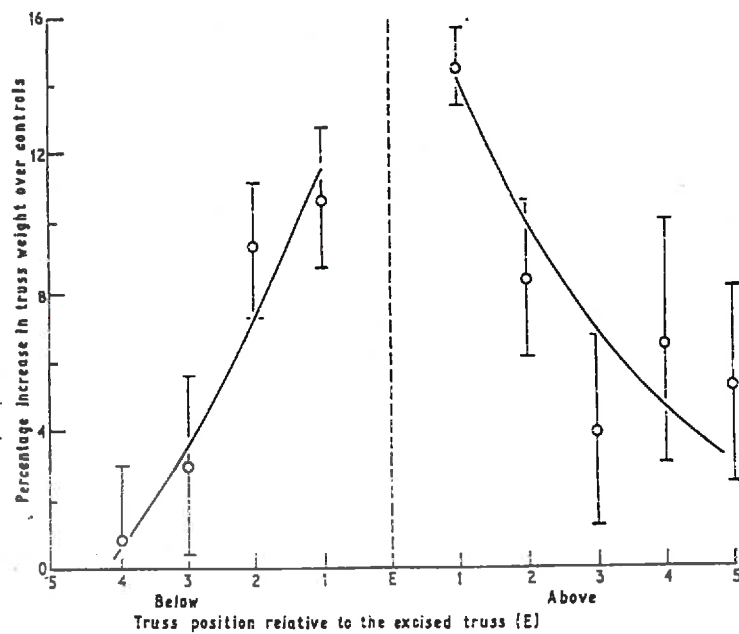
Traitements	NFR/m <sup>2</sup>	P1F (g)	RDT (kg/m <sup>2</sup> )
Témoin*	194	77	14.9
8 fleurs/Bqt	192	79	15.1
6 fleurs/Bqt (-25%)	175 (-9%)	83	14.5
4 fleurs/Bqt (-50%)	160 (-17%)	86	13.7

\* : nombre de fleurs par bouquet inconnu

Différences significatives à 1% entre le traitement Témoin et les 3 traitements Eclaircissage

(D'après Buitelaar, 1984)

FIGURE 15 : EFFET DE L'ABLATION D'UN BOUQUET SUR LE POIDS DES BOUQUETS SITUÉS AU DESSOUS ET AU DESSUS



(D'après Slack & Calvert, 1977)

immédiatement au dessus. Ce résultat confirme que le sympode n'est pas l'unité de répartition exclusive des assimilats, mais que la répartition est cependant assez localisée. Le poids moyen des fruits est d'autant plus élevé que le nombre de fruits supprimé est important (Buitelaar, 1973 et 1984).

Comme cela a déjà été signalé à l'échelle du bouquet, d'autres critères de qualité visuels sont également améliorés : l'éclaircissage élimine physiquement les "queues de bouquets" (fruits petits et vitreux), l'ablation réduit leur probabilité d'apparition.

Les deux techniques de régulation ont des conséquences communes et stables (entre les différents travaux de la bibliographie) sur les composantes du rendement : diminution du nombre de fruits, augmentation du calibre. Leur effet sur le rendement total dépend de l'importance respective des deux phénomènes. Plus le nombre de fruits supprimés est élevé, plus le rendement diminue (Buitelaar, 1979), mais d'autres paramètres interviennent aussi.

L'effet des deux techniques est d'autant plus important que l'action a eu lieu précocement sur le bouquet : plus l'éclaircissage est tardif, plus l'augmentation de calibre est faible (Buitelaar, 1978) ; s'il a lieu lorsque le dernier fruit a 4.5 cm de diamètre, le poids moyen est réduit de 6% par rapport à un éclaircissage à la floraison. L'effet de l'ablation dépend du numéro du bouquet supprimé (Slack & Calvert, 1977). Le traitement le moins pénalisant pour le rendement total consiste à faire une ablation entre les bouquets 4 et 6, qui correspond à une période de déséquilibre entre l'offre et la demande en assimilats.

Les mécanismes en jeu étant liés à l'équilibre entre appareils végétatif et reproducteur, l'état de la plante avant éclaircissage intervient fortement (charge en fruits, indice foliaire). Enfin, le climat, qui définit la production potentielle, donc l'offre en carbone, est un facteur déterminant.

C'est probablement l'ensemble de ces facteurs qui explique, comme pour l'effeuillage, la diversité des résultats concernant les effets de l'éclaircissage et de l'ablation sur le rendement total. Dans tous les essais répertoriés, le rendement après éclaircissage ou ablation varie dans une fourchette de +/- 10% par rapport au traitement témoin, en général dans le sens d'une diminution. Dans les travaux de Hurd et al. (1979), la forte diminution de rendement (16%) semble être liée au degré d'éclaircissage (les deux tiers des fleurs ont été supprimées).

#### 4. LA VARIABILITE INTRA-PEUPLEMENT

Dans les essais précédents, l'analyse des traitements expérimentaux se fait par comparaison de valeurs moyennes calculées sur un ensemble de plantes ayant subi le même traitement. Or, dans un peuplement végétal, il existe une importante hétérogénéité entre individus. Ce paramètre est rarement pris en compte par les chercheurs, mais il complique leur démarche et peut même être à l'origine de résultats erronés :

- d'une part, l'expérimentation repose généralement sur l'analyse d'un sous-ensemble de la population initiale, ce qui suppose un échantillonnage sans biais. Or, la variabilité intra-peuplement rend difficile cette opération. Dans les études de répartition de la matière sèche sur la tomate (où la culture est longue et les compartiments nombreux), il n'est pas rare que l'échantillon soit de 1 à 3 plantes (Cooper, 1958 ; Jones et al., 1991), ce qui pose question compte tenu de la variabilité. Les auteurs soulignent que les plantes sont choisies "pour leur représentativité", "à l'oeil"... termes vagues qui cachent mal les incertitudes éprouvées.

- d'autre part, les analyses statistiques (analyse de variance) sont fondées sur la comparaison entre la variance entre traitements et la variance totale. **La variabilité intra-peuplement** (et notamment à l'intérieur de chaque traitement) **risque de masquer les effets étudiés.**

**De même, les travaux de modélisation négligent généralement la variabilité intra-peuplement.** Masle & Sebillotte (1981a) soulignent que la plupart des modèles s'appliquant à l'échelle de la surface postulent une homogénéité des conditions de compétition entre individus, bien que la variabilité intra-peuplement soit par ailleurs affirmée (Fleury, 1975 ; Sebillotte, 1980).

A l'exception de l'amélioration des plantes, où la variabilité intra-spécifique est un sujet d'étude en lui-même (Jacquard, 1975), les scientifiques considèrent souvent les essais hétérogènes comme non intéressants, car difficilement exploitables : ils se placent donc dans des conditions d'expérimentation permettant d'obtenir des peuplements les plus homogènes possible. Pourtant, les agriculteurs sont confrontés à des peuplements hétérogènes. **Dans un objectif d'aide à la décision, on doit donc se poser la question de l'adéquation des références établies par les chercheurs sur des peuplements homogènes, à des peuplements hétérogènes.**

**C'est pourquoi, ce chapitre rassemble les méthodes utilisées pour caractériser la variabilité intra-peuplement, ainsi que les facteurs de sa genèse et de son évolution au cours du cycle cultural. Puis nous analysons ses effets sur la production.**

#### **4.1 MISE EN EVIDENCE DE LA VARIABILITE ET METHODES DE CARACTERISATION**

La variabilité intra-peuplement, bien que souvent sous-estimée, est partiellement prise en compte dans les essais par des **plans expérimentaux** (blocs, carrés latins...) : l'hétérogénéité spatiale du milieu (climat, état du sol...) peut généralement être découpée en zones homogènes.

**La variabilité d'un individu à l'autre est beaucoup plus difficile à caractériser.**

Un des moyens d'étude privilégiés est l'analyse des distributions des individus pour les principales variables décrivant le fonctionnement de la plante (biomasse, surface foliaire, hauteur). La forme de la distribution (caractérisée par les coefficients de Pearson), sa dispersion (estimée par l'écart-type et le coefficient de variation) sont des indicateurs riches d'enseignements.

La variabilité peut également être caractérisée à partir d'une **typologie** des individus et de la proportion relative de chaque type (Sebillotte, 1964). Masle et Sebillotte (1981a) montrent l'intérêt du concept de **structure du peuplement** pour décrire un peuplement de blé, basé sur l'existence de pieds de différents types et de talles de différents rangs. La structure se définit comme :

- la distribution des états de croissance et de développement des individus,
- les surfaces et la répartition dans l'espace (aérien et souterrain) des capteurs des différentes ressources du milieu par les différents individus.



#### 4.2 GENESE ET EVOLUTION DE LA VARIABILITE

Nous distinguons deux types de variabilité intra-peuplement : celle qui apparait en phase d'implantation, avant l'installation de la compétition, et celle qui se développe ultérieurement. Leur déterminisme est complexe et varie d'une situation à l'autre, cependant, les facteurs peuvent être classés en deux groupes, suivant qu'ils sont liés à l'état de l'individu ou au milieu.

**La variabilité au cours de la phase d'implantation** (généralement observée sur la biomasse aérienne) a été beaucoup étudiée. Elle est déterminée par la graine et par les conditions de milieu lors de l'implantation.

Les différences entre graines proviennent d'une variabilité d'origine génétique et physiologique. Les lignées pures et les hybrides F1 sont beaucoup plus homogènes que les hybrides doubles ou trois voies (Glenn & Daynard, 1974). La variabilité physiologique provient des différences de poids des semences (Abd El Rahman & Bourdu, 1986 sur maïs ; Scott et al., 1974 sur betterave sucrière ; Carver, 1977 sur céréales), et secondairement de forme (Abd El Rahman & Bourdu, 1986) ainsi que d'autres caractéristiques internes, notamment l'histoire de la plante mère (Le Deunff, 1974, cité par Fleury, 1975).

La variabilité des conditions du milieu lors de l'implantation est due à la température du sol (Boiffin et al., 1992), l'état structural et hydrique du lit de semence (Bruckler, 1979 ; Richard, 1988), la profondeur de semis (Alessi & Power, 1971), la cinétique d'imbibition (Blacklow, 1972 ; Boiffin et al., 1983).

Tous ces paramètres déterminent la date de levée et la vigueur au démarrage, qui sont reliés à la biomasse aérienne par le modèle exponentiel de croissance :

$$MS(t) = MS_0 \cdot e^{RGR \cdot (t-t_0)}$$

$MS_0$  et  $MS_t$  : biomasses aériennes aux dates  $t_0$  et  $t$

RGR : taux de croissance relatif

Fleury et Caneill (1984) montrent l'intérêt de ce modèle pour comprendre la variabilité du peuplement de betterave sucrière : la vigueur au démarrage détermine l'ordonnée à l'origine ( $MS_0$ ) ; la date d'émergence, la date  $t_0$ . Boiffin et al. (1992) montrent que c'est la vigueur au démarrage qui contrôle l'essentiel de la variabilité, une fois que la température du sol est prise en compte. Le caractère exponentiel de la croissance en phase d'implantation amplifie l'importance des deux facteurs dans la variabilité ultérieure : une faible variation de date de levée crée de grosses différences à la fin de la phase de croissance exponentielle. Des travaux similaires sur carotte (Tamet, 1992) permettent de mieux comprendre les parts respectives du poids de la semence, des techniques (régularité de la profondeur de semis) et des facteurs du milieu dans l'hétérogénéité du peuplement végétal en phase d'implantation.

**La variabilité ultérieure** résulte également des conditions de milieu et de l'état initial de l'individu, qui, dans ce cas, est celui en fin de phase exponentielle. L'état initial de l'individu a un effet sensible pendant une grosse partie du cycle cultural : Masle et Sebillotte (1981b) montrent que le type de pied de blé (donc la structure du peuplement) dépend de la vigueur au démarrage.

Après installation de la compétition entre plantes, le milieu est défini, en plus du climat et du sol, par l'état des individus voisins, dont le pouvoir de compétition est variable. Demarly et al. (1964) indiquent que les plantes issues de grosses graines tendent à dominer les autres dès

les premiers stades végétatifs, et conservent ensuite leur supériorité. Une partie de l'hétérogénéité est donc induite par les relations sociales, c'est à dire les états de croissance relatifs des différents individus et l'espace disponible (Fleury, 1975). La variabilité à la fois résulte des interactions entre plantes et gouverne les interactions ultérieures.

Les phénomènes de compétition entre plantes font partie des études de fonctionnement du peuplement végétal (effet de la densité, de l'arrangement spatial des individus), mais ils peuvent aussi être utilisés pour comprendre la variabilité intra-peuplement. Donald (1963) rappelle que le terme de compétition suppose, d'une part, que la quantité de ressources disponibles pour l'ensemble des individus soit inférieure à leurs besoins, d'autre part, que les différents individus aient des besoins identiques.

L'espace disponible pour chaque plantule dépend non seulement de la densité, mais aussi, lorsque le semis est direct (ce qui est très généralement le cas au champ), du taux de levée : celui-ci détermine la distance réelle entre individus voisins. Fleury (1971) montre que le poids d'une betterave sucrière augmente très rapidement avec la surface disponible, mais qu'il est inversement lié au poids des plantes voisines. La position de la plante dans la surface disponible joue un rôle important : la production la plus élevée est atteinte lorsque les distances entre la plante étudiée et ses voisines sont toutes identiques, ce qui est en accord avec d'autres travaux (Donald, 1963 ; Kemp et al., 1983). Comme la compétition entre individus augmente avec la densité de la culture, la variabilité (estimée par l'écart-type ou le coefficient de variation) augmente également lorsque la densité s'accroît (Edmeades & Daynard, 1979). La distribution, qui est normale à faible densité, devient bimodale à forte densité.

De façon plus générale, Duncan et al. (1973) montrent qu'un accroissement des stress (qu'ils soient liés à la compétition aérienne ou à l'état hydrique) augmente la variabilité, parce que ce sont les individus les plus faibles qui sont les plus pénalisés par des conditions du milieu peu favorables.

Dans un peuplement de maïs, Hozumi et al. (1955, cité par Donald, 1963) montrent que le poids d'un plant est négativement corrélé au poids de ses deux voisins immédiats sur la ligne et positivement corrélé au poids de ses seconds voisins. Le coefficient de corrélation, en valeur absolue, diminue au fur et à mesure que les voisins d'éloignent.

L'effet de l'hétérogénéité sur les individus varie suivant la nature des variables (Donald, 1963) : nous avons vu que la variabilité de masse s'accroît puisque, du fait de la compétition, un plant lourd a tendance à devenir de plus en plus lourd. Le phénomène est différent sur les variables de hauteur : plus un individu est court par rapport à ses voisins, plus sa vitesse de croissance en longueur est élevée (étiolement), ce qui conduit à une uniformisation des hauteurs.

Du fait de l'évolution des relations de compétition entre individus, la variabilité intra-peuplement doit être analysée de façon dynamique. L'écart-type et le coefficient de variation s'accroissent au cours du temps (Glenn & Daynard, 1974 ; Edmeades & Daynard, 1979). Les organes végétatifs, dont une partie de la croissance a lieu avant la compétition inter-plantes, sont moins variables que les organes reproducteurs (épis), qui apparaissent et se développent en pleine phase de compétition pour la lumière (Duncan et al., 1973 ; Glenn & Daynard, 1974). D'autre part, la forme des distributions change : Edmeades & Daynard montrent que les variables caractérisant le début du cycle sont généralement biaisées vers la droite, du fait de la croissance exponentielle ; par la suite, quand la croissance devient linéaire, les distributions

deviennent normales. Les variables de rendement sont bimodales parce que, pour que le grain se forme, il faut que la quantité d'assimilats disponibles dépasse un certain seuil. De même, dans un peuplement de blé, les talles forment d'abord une population unimodale, qui devient bimodale au cours de la montaison : du fait de leur vitesse de croissance, certains talles régressent tandis que les autres forment un épi (Masle, 1981).

Les peuplements de tomate sous serre diffèrent des peuplements au champ, car la culture se fait par transplantation et non par semis direct. La densité du peuplement ne dépend donc pas des conditions de levée. Par contre, si la distance entre individus est peu variable, il demeure comme dans les cultures en plein champ, une forte variabilité de "vigueur au démarrage", qui justifie l'opération de tri réalisée par les maraîchers avant la plantation. Le souci de peuplement homogène au moment de la plantation est d'autant plus important que la longueur du cycle cultural et le nombre élevé d'opérations manuelles réalisées à l'échelle de la plante risquent d'accroître l'hétérogénéité initiale du peuplement.

#### 4.3 EFFET DE LA VARIABILITE INTRA-PEUPELEMENT SUR LA PRODUCTION DU COUVERT

Certains critères de qualité dépendent de la distribution des productions individuelles par rapport à une valeur seuil. C'est le cas de la culture de la betterave (poids individuel, Fleury, 1971). Il en est de même sur tomate, puisqu'en dessous d'un certain seuil de calibre, les fruits ne sont plus commercialisables. C'est pourquoi, l'hétérogénéité du peuplement joue probablement sur la qualité de la production. Pourtant, il ne semble pas exister de bibliographie sur le sujet.

L'effet de la variabilité intra-peuplement sur le rendement revient à analyser l'effet sur la production moyenne des différents individus. Plusieurs auteurs ont mis en évidence un effet dépressif de la variabilité sur le rendement, dès lors que la perte de rendement des individus les plus faibles n'est plus compensée par le gain des individus vigoureux. Ceci a été démontré dans des peuplements où l'hétérogénéité est créée soit par la variabilité de "vigueur au démarrage" (Glenn & Daynard, 1974) soit par un mélange de variétés (Pendleton & Seif, 1962) et incite à penser que les techniques culturales (notamment à l'implantation) doivent être réalisées pour aboutir à un peuplement aussi homogène que possible.

En réalité, d'autres cas de figure existent : Trenbath (1974) propose une analyse théorique de l'effet de la variabilité sur le rendement par unité de surface, à partir d'un mélange de deux cultures 1 et 2. Soient  $P_1$  et  $P_2$  les rendements des deux cultures pures,  $P$  la moyenne ( $P = (P_1 + P_2) / 2$ ) et  $M$  le rendement du mélange. Trenbath montre que 60% des 344 mélanges étudiés dans sa synthèse bibliographique ont un rendement supérieur ou égal au rendement moyen  $P$ , ce qui donnerait un avantage aux mélanges. Mais le rendement du mélange  $M$  est supérieur au rendement de la meilleure monoculture dans seulement 24% des cas, dont 4 seulement sont démontrés statistiquement. Le modèle de De Wit (1960, cité par Trenbath, 1974) est basé sur l'hypothèse que le rendement de chaque composant du mélange est strictement proportionnel à la quantité de ressources qu'il peut utiliser : une augmentation de rendement de l'individu dominant entraîne une diminution équivalente du rendement du dominé. Ce phénomène de stricte compensation est observé dans 78% des cas étudiés par Trenbath ; le rendement du mélange se trouve alors entre les rendements des deux cultures pures.

Il semble que la variabilité des résultats s'explique par la diversité des conditions de milieu. En particulier, le degré de compétition des individus dépend non seulement de leurs capacités individuelles (indice foliaire...), mais aussi de l'importance des ressources et donc de l'équilibre entre offre (ressources) et demande (croissance potentielle). Il pourrait également s'expliquer par la diversité des mécanismes impliqués (lumière, eaux et éléments minéraux, allélopathie...).

Il est donc difficile de fournir un modèle unique de l'effet de la variabilité sur le rendement, même si les phénomènes de compétition semblent très généraux. Les cultures sous serre, en rangs, ne semblent pas avoir été étudiées particulièrement. Cependant, étant donnée la structure de plantation (doubles-rangs, distance entre rangs égale à la distance sur le rang), il est probable que les relations sociales sont complexes, et concernent la compétition aussi bien entre individus d'un même rang qu'entre rangs.

## CONCLUSION

Cette synthèse bibliographique permet de dégager 4 points essentiels pour la suite du travail :

1. La tomate à croissance indéterminée se caractérise par un chevauchement des phases végétative et reproductrice. De ce fait, il existe de fortes relations de compétition intra-plante, entre appareils végétatif et reproducteur, entre bouquets et entre fruits d'un même bouquet.

2. Les phénomènes de compétition entre plantes, également importants dans le fonctionnement du peuplement, présentent des particularités, qui sont liées :

- à la culture en rang sous serre (qui modifie qualitativement et quantitativement les phénomènes relatifs au rayonnement),

- à la surface foliaire, qui évolue sous l'effet de la croissance des feuilles et des techniques.

3. Les techniques manuelles jouent à la fois sur la compétition intra-plante (éclaircissage, ablation de bouquet) et la compétition inter-plantes (effeuillage, palissage).

4. La variabilité intra-peuplement, créée par les facteurs biologiques (poids des semences...) et les conditions du milieu, doit être analysée par ses effets, d'une part sur la production moyenne (donc le rendement), d'autre part sur la forme des distributions (et notamment, dans le cas de la tomate, la distribution des calibres des fruits).

Après avoir montré la façon dont les maraîchers conduisent une culture de tomate, et les acquis des scientifiques, il est maintenant possible d'élaborer, grâce aux expérimentations, un modèle permettant de juger le discours des maraîchers d'un point de vue agronomique.

**DEUXIEME PARTIE****LA VARIABILITE INTRA-PEUPLEMENT :  
CARACTERISATION ET EFFETS SUR LA PRODUCTION**

## A - OBJECTIFS ET DEMARCHE

Dans la première partie des résultats, l'analyse des pratiques en exploitations confirme les éléments de pré-enquête présentés dans la problématique. Les maraîchers sont conscients de l'hétérogénéité spatiale des cultures sous serre, et c'est l'état végétatif des plantes qui leur sert de révélateur. Celui-ci est défini à partir d'un ensemble de critères subjectifs, rassemblés sous le terme de "vigueur" ; mais la caractérisation de la variabilité et ses effets sur la production sont peu explicités. Elle est cependant perçue comme gênante par certains maraîchers parce qu'elle interfère avec les interventions manuelles : certains actes techniques doivent être adaptés à l'état de chaque plante. **La variabilité intra-peuplement joue donc un rôle important dans les pratiques maraîchères.**

**L'objectif de la deuxième partie est de comprendre les effets de la variabilité intra-peuplement sur l'élaboration de la production, afin de préparer la conception de nouvelles techniques ou modalités techniques adaptées à son existence, si ses effets sont jugés négatifs.**

L'étude bibliographique a montré que la variabilité du peuplement est liée à plusieurs facteurs : état initial de l'individu, hétérogénéité spatiale du milieu, variabilité de compétition des plantes voisines. Bien que l'hypothèse de variabilité génétique ne puisse être éliminée de façon certaine, ce facteur joue vraisemblablement peu, car la variété Capello est un hybride F1 issu de lignées pures. De plus, la culture étant très manuelle, les interventions humaines peuvent contribuer fortement au développement de la variabilité.

La variabilité intra-peuplement évolue au cours du cycle cultural, sous l'effet de tous ces facteurs, en interactions probables avec le climat. **L'étude de la variabilité suppose donc que l'on soit capable de caractériser le peuplement de façon dynamique au cours du cycle.** Dans cette caractérisation, nous recherchons des indicateurs d'état des plantes qui répondent à deux grands objectifs :

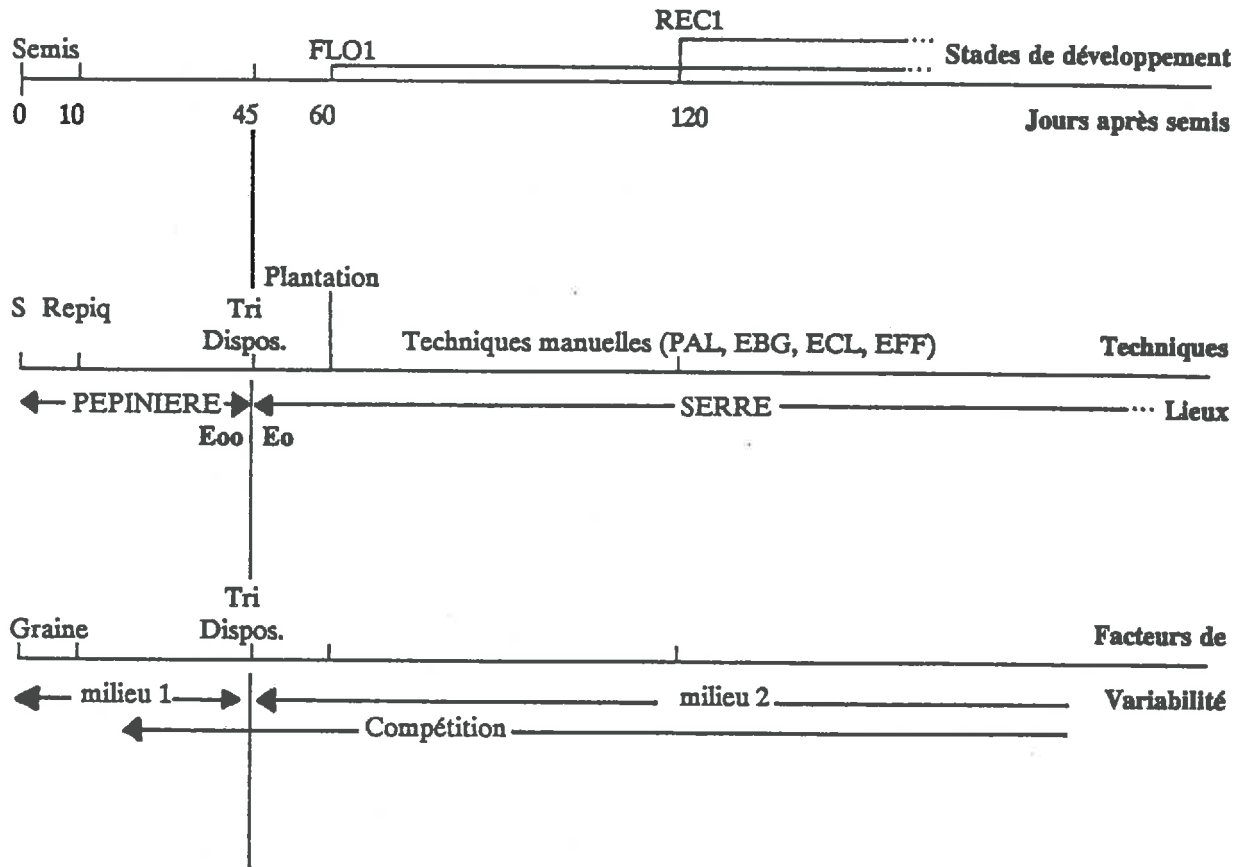
- d'une part, **des variables explicatives**, établies dans un objectif de compréhension des mécanismes. Elles sont un intermédiaire entre le terme général, vague, d'"hétérogénéité" et les variables de sortie (rendement, qualité).

- d'autre part, **des variables de pilotage** (ou indicateur d'action), qui permettront de raisonner l'adaptation des techniques plante par plante.

Dans l'évolution de la variabilité au cours du cycle cultural, il existe une étape cruciale, la **disposition des plantes dans la serre, après l'élevage en pépinière.** En effet, à cette date, le maraîcher réalise un tri basé sur le critère de "vigueur", pour ne garder et disposer dans la serre que les plantes qu'il juge satisfaisantes. Cette opération conditionne l'hétérogénéité ultérieure du peuplement par la **gamme de variation tolérée.** De plus, le changement de position des individus dans la serre et les uns par rapport aux autres entraîne, entre les deux phases, une **modification de l'hétérogénéité du milieu et de la compétition entre individus.** C'est pourquoi, le transfert de la pépinière vers la serre fait l'objet d'une étude approfondie.

Nous appellerons **E<sub>00</sub>** l'état du peuplement avant le tri et le transfert vers la serre, et **E<sub>0</sub>** son état après ce transfert.

FIGURE 2.1 : LE CYCLE CULTURAL ET LES DIFFERENTES ETAPES DE L'ANALYSE DE LA VARIABILITE



Eoo Eo

<b>Chapitre 1</b> Caractérisation et genèse de Eoo	<b>Chapitre 2</b> Recherche d'un indicateur de l'appareil végétatif
--	--

<b>Chapitre 3</b> Etude de la variabilité intra-peuplement en serre (dispositifs Eo et Plantation)
--

<b>Chapitre 4</b> Réflexion sur les choix expérimentaux et les dispositifs
---

↓  
**LA VARIABILITE INTRA-PEUPLEMENT**  
**CARACTERISATION ET EFFETS SUR LA PRODUCTION**

**L'analyse de la variabilité intra-peuplement se déroule en 4 étapes (figure 2.1) :**

**\* Dans un premier temps, on étudie le peuplement à la fin de la phase en pépinière (E<sub>00</sub>), juste avant la disposition en serre (chapitre 1) : on recherche des critères de caractérisation du peuplement et on tente de comprendre la genèse de la variabilité.**

**\* Puis, on étudie les conséquences de la variabilité sur l'élaboration de la production (chapitre 3). L'hétérogénéité est créée à partir de plusieurs "types" de plantes, qui sont obtenus:**

- soit par stratification de l'hétérogénéité initiale du peuplement en pépinière  
(dispositif E<sub>0</sub>)
- soit en créant des différences entre plantes par le stade à la plantation  
(dispositif Plantation)

La comparaison porte ensuite sur des peuplements "homogènes" constitués d'un type unique, et des peuplements "hétérogènes" formés de l'alternance régulière de deux types.

L'évolution de la structure du peuplement au cours du temps est suivie par des variables caractérisant l'appareil végétatif aérien. En effet, l'étude en pépinière montre que le peuplement à E<sub>00</sub> (donc vraisemblablement ultérieurement) peut être caractérisé par les différences d'état végétatif entre plantes. De plus, l'appareil végétatif aérien est une variable intermédiaire classique pour comprendre l'effet des traitements expérimentaux sur l'élaboration de la production, car il détermine l'interception du rayonnement incident.

**\* A cause des opérations de tri (conduisant à des typologies) et de l'agencement structuré des individus dans l'espace, ces deux dispositifs constituent une représentation simplifiée de la réalité. C'est pourquoi, on discute de façon plus précise les conséquences des choix expérimentaux dans le chapitre 4, en particulier pour le dispositif Plantation sur lequel les règles d'action plante à plante seront testées dans la troisième partie.**

Ce chapitre contribue à définir le **domaine de validité** des résultats de la troisième partie, et donc leurs **possibilités d'extrapolation**.

**\* L'indicateur le plus pertinent du fonctionnement de l'appareil végétatif est l'indice foliaire, mais nous avons déjà signalé qu'il est difficile à mesurer. L'étude des deux dispositifs est donc précédée par la recherche d'un indicateur non destructif de l'appareil végétatif (chapitre 2), qui permette une estimation, même grossière, du rayonnement intercepté par chaque plante. Cet indicateur doit être facile d'emploi dans une démarche de recherche, et pouvoir servir de variable de pilotage pour les opérations appliquées plante par plante.**



**TABLEAU 2.1 : MESURES REALISEES SUR L'ESSAI *Elevage***

**a) Observations sur les plantes sous couche chauffante**

Variable	Abrév.	Date
Masse fraîche de la graine	MFG	j <sub>0</sub>
Dates d'apparition de deux stades au cours de la levée : - le stade "tige coudée", qui correspond à l'émergence de la plantule - le stade "cotylédons étalés"	TC CE	
Longueur de la tige entre le sol et les cotylédons (que par simplification, nous appellerons longueur de l'hypocotyle)	LH	j <sub>11</sub>
Longueur de la première feuille, par classes de 5 mm	LF1	j <sub>11</sub>
Masses fraîche et sèche de la plantule au moment du repiquage (sur un tiers de la population)	MF, MS	j <sub>11</sub>

**b) Observations sur les plantes en pépinière**

Variable	Abrév.	Date
Diamètre de la tige au niveau : - des cotylédons - de la cinquième feuille	DTC DT5	j <sub>28</sub> j <sub>33</sub>
Hauteur de la plante	H1 H2 H3	j <sub>28</sub> j <sub>31</sub> j <sub>33</sub>
Nombre de feuilles : - sous le premier bouquet - au dessus du premier bouquet	NF1 NF2	j <sub>33</sub> j <sub>33</sub>
Nombre de fleurs du bouquet B1	NFL	j <sub>33</sub>
Longueur du foliole principal de la feuille 6	LFo6	j <sub>33</sub>
Abondance de racines sous le cube (notation visuelle de 1 à 3)	AbR	j <sub>28</sub>
Etat hydrique (masse d'eau présente du cube) : - au repiquage - en fin d'essai	W <sub>11</sub> W <sub>33</sub>	j <sub>11</sub> j <sub>33</sub>
Masses fraîche et sèche de la plante en fin d'essai	MFP, MSP	j <sub>33</sub>

**c) Contrôle de l'état hydrique moyen**

Masse de l'ensemble "cube-plant-eau" avant et après chaque arrosage, sur un échantillon de 8 plantes.

**d) Contrôle du milieu**

Mesure de l'hygrométrie et de la température de l'air en continu par un thermohygromètre placé au centre de la serre ; mesure plus précise de la température de l'air (moyenne horaire), par des sondes à thermocouples placées en 4 points de la couche chauffante et 8 points de la pépinière.

## B - MATERIELS ET METHODES

L'essai *Elevage*, qui a lieu en pépinière, a pour objectif de caractériser la variabilité du peuplement avant le transfert vers la serre (Eoo) et d'en déterminer la genèse. Tous les autres essais débutent à Eo et ont lieu dans la serre. L'essai *Variabilité* est la principale source de données pour les chapitres 2 à 5, mais les essais *Ablation* et *Techniques* apportent également leur contribution.

### 1. VARIABILITE AVANT LA DISPOSITION EN SERRE : Essai *Elevage*

#### 1.1 DISPOSITIF

L'évolution de la variabilité entre le semis et la disposition en serre est observée dans un dispositif expérimental s'inspirant de la pratique des maraîchers ; il se déroule en deux étapes (figure 4 p.8) :

- première période, en couche chauffante : du semis au stade "cotylédons étalés - première feuille apparente", date à laquelle les plantules sont repiquées dans des cubes de laine de roche,
- seconde période, en pépinière : du repiquage à la disposition en serre.

A cause du changement de lieu entre les deux périodes (donc de la variabilité spatiale du climat) et de position des individus les uns par rapport aux autres, il est fondamental de repérer aux deux périodes la position de chaque individu dans le dispositif, et que les mesures soient non destructives et enregistrées plante par plante.

Le dispositif expérimental et le calendrier de l'essai sont présentés dans l'annexe 6.

Le semis, pour des raisons pratiques, est situé hors de la période habituelle (fin-mars, contre septembre à novembre chez les maraîchers et dans les autres essais). Nous faisons l'hypothèse que ce décalage ne modifie pas la nature des résultats, bien que les conditions climatiques soient très différentes, ce qui devra être discuté.

#### 1.2 NOTATIONS ET MESURES

Les variables mesurées sont récapitulées dans le tableau 2.1.

### 2. VARIABILITE APRES LA DISPOSITION EN SERRE : Essais *Variabilité*, *Ablation* et *Techniques*

#### 2.1 OBJECTIFS ET PRINCIPES GENERAUX DES DISPOSITIFS

##### *2.1.1 Les traitements expérimentaux*

Dans les exploitations agricoles comme en station expérimentale, la structure du peuplement juste après la disposition en serre (Eo) résulte de l'état du peuplement à la fin de l'élevage (Eoo), de l'opération de tri (passage de Eoo à Eo) et de l'agencement des individus les uns par rapport aux autres dans la serre.

Le dispositif **Eo** simule les pratiques des maraîchers, mais notre démarche d'expérimentation nous a conduit à les formaliser fortement pour en permettre l'étude.

Dans le peuplement Eoo, il existe un nombre quasi-infini d'états végétatifs. Il existe de même un nombre très élevé d'agencements de  $n$  individus dans l'espace. C'est pourquoi, nous

**TABLEAU 2.2 : PROTOCOLE D'ECHANTILLONNAGE POUR L'ESSAI *Variabilité***

Taille de la population initiale : 997 plantes

Taille de la sous-population (essai) : 288 plantes (dont la moitié de plantes de bordure)

Critère : longueur de la troisième feuille (LF3) à  $j_{28}$

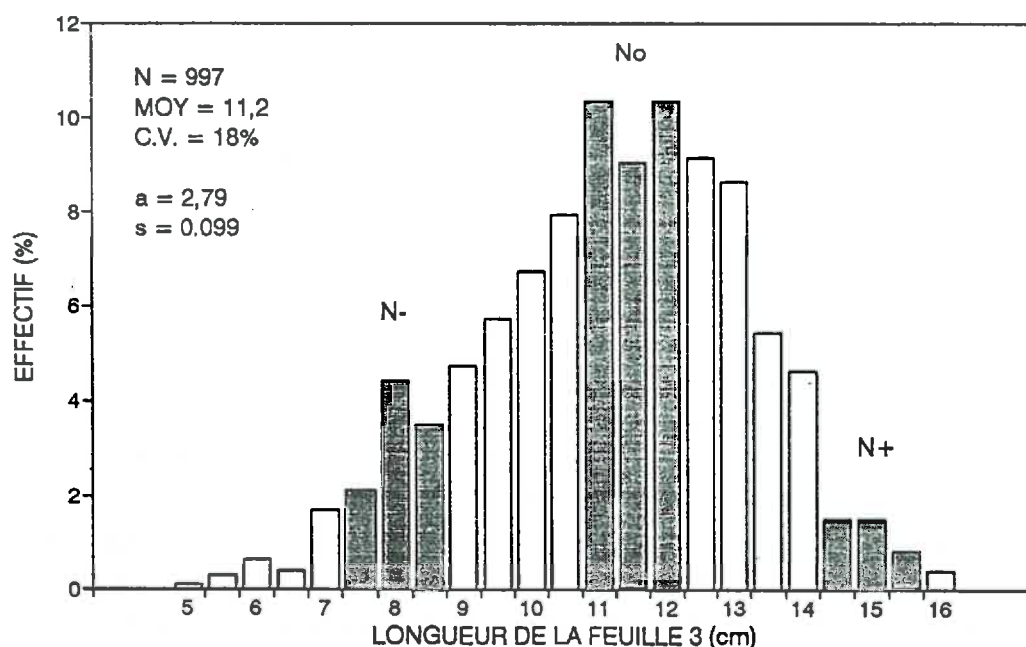
C'est la première feuille "vraie" (les deux premières feuilles ont un nombre de folioles très variable) ; elle est en pleine croissance à la date des mesures, et de longueur suffisante pour ne pas avoir à faire des mesures trop précises, qui seraient stressantes pour les plantes (Buitelaar, 1988).

Distribution de la variable LF3 (figure 2.2) : distribution unimodale, proche de la loi normale

- La gamme de variation tolérée à l'intérieur de chaque lot est minimale, compte tenu des effectifs de chaque classe.
- Les effectifs par lot sont légèrement supérieurs aux besoins, ce qui permet d'éliminer quelques plantes aberrantes, avant la plantation (en particulier celles qui n'ont pas 8 feuilles sous le premier bouquet et celles dont le premier bouquet comporte moins de 6 fleurs).

Lot	Longueur de la feuille 3 (cm)		Coefficient de Variation (%)
	Mini-Maxi	Moyenne	
N-	7.5 - 9.0	8.3	4.1
No	11.0 - 12.5	11.9	2.6
N+	14.0 - 16.0	14.4	3.3

**FIGURE 2.2 : HISTOGRAMME DE LA VARIABLE LF3**



avons fortement réduit :

- le nombre d'individus à étudier, en réalisant une **typologie** des plantes,
- le nombre d'agencements dans l'espace : les traitements expérimentaux simulent **quelques schémas de variabilité**, choisis pour leur intérêt et la possibilité de calculs statistiques aisés.

#### a) Les types de plantes

Un type est constitué d'un ensemble de plantes pour lesquelles le ou les critères choisis se trouvent dans la gamme de variation fixée par l'expérimentateur. La variance intra-type est donc non nulle, mais faible par rapport à la variance inter-types.

Dans le premier dispositif (**E<sub>0</sub>**), c'est à partir de l'état du peuplement à E<sub>00</sub>, décrit dans l'essai *Elevage*, que sont constitués les lots de plantes.

Les enquêtes ont montré que le concept de "vigueur" des maraîchers est multi-critères. A l'issue de l'essai *Elevage*, il apparaît que la biomasse végétative à E<sub>00</sub> peut être estimée par plusieurs critères non destructifs (longueur de feuille, diamètre de tige...). Par ailleurs, la longueur d'une feuille est un indicateur de la surface foliaire totale d'un plant en phase d'élevage (Morisot & Ballino, 1987). C'est pourquoi, pour faire la typologie, la population E<sub>00</sub> est discrétisée à partir d'un critère unique, **la longueur d'une feuille en croissance**. Ce choix est très réducteur par rapport à la définition de la "vigueur", mais il est difficile de prendre en compte simultanément plusieurs paramètres, car une grosse population initiale serait alors nécessaire. Or, l'augmentation du nombre initial d'individus suppose un accroissement de la surface cultivée, de la variabilité climatique, et donc probablement de la variabilité du peuplement, ce qui est incompatible avec l'objectif de caractérisation plus précise des types.

Le protocole d'échantillonnage est basé sur la mesure de la longueur de la **troisième feuille** (tableau 2.2 et figure 2.2) : trois lots de plantes sont choisis, un centré sur la moyenne (No) et deux (N+ et N-) aux extrémités de l'histogramme (après élimination des classes d'effectif très faible par soucis d'homogénéité). **C'est par la caractérisation des différents types au cours du temps qu'on pourra discuter la pertinence de ce critère pour faire une typologie.**

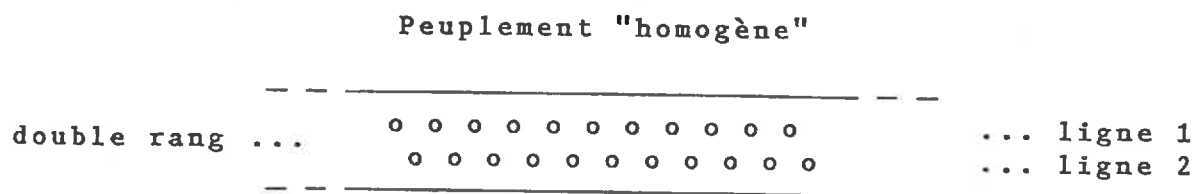
La typologie fondée sur l'état E<sub>00</sub> présente des inconvénients :

- **manque de stabilité** : suivant le lot de semences et les conditions d'élevage (climat...), la variabilité est plus ou moins importante d'une année à l'autre,
- **faible marge de manoeuvre du chercheur** : l'amplitude des traitements est imposée par la variabilité du peuplement à E<sub>00</sub>.

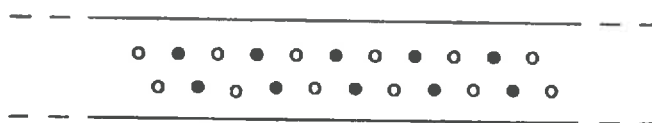
**Le caractère aléatoire de la typologie à E<sub>00</sub> nous a conduits, dans un deuxième temps, à créer des différences entre plantes par un traitement expérimental, en faisant varier le stade de plantation.**

Les types N-, No et N+ présentés précédemment sont plantés au stade optimal (ou "Normal" : premier bouquet est épanoui). Le type Ro, issu de la population de plantes No, est créé en **Retardant la date de plantation** pour une même date de semis : elle n'a lieu qu'à la fin de la floraison du deuxième bouquet, soit 15 à 20 jours plus tard. Cette pratique est couramment utilisée par les maraîchers pour "affaiblir" les plantes et favoriser la nouaison des premiers bouquets. De plus, la bibliographie a montré le poids de ce facteur sur l'état végétatif

FIGURE 2.3 : LES PEUPELEMENTS "HOMOGENE" ET "HETEROGENE"



Peuplement "hétérogène"



- o une plante du type i
- une plante du type j

ultérieur : la diminution de surface foliaire constatée précocement se maintient pendant plusieurs mois et entraîne une diminution de rendement. Dans le dispositif expérimental, cette technique est utilisée au delà de la marge de manoeuvre habituelle des maraîchers (une dizaine de jours, au maximum jusqu'à la floraison du deuxième bouquet), puisque notre objectif est de s'assurer d'une gamme de variabilité ayant des effets mesurables.

Il existe peu de références techniques pour déterminer la date de plantation : c'est en observant l'évolution de la "vigueur" que les maraîchers fixent cette date, et c'est ainsi que nous avons procédé, après avis d'une personne expérimentée de la station d'Alénya. D'un essai à l'autre, l'âge à la plantation varie puisqu'il dépend des conditions du milieu pendant l'élevage ; la date exacte est indiquée dans le calendrier de chaque essai.

Une date de plantation unique est fixée pour toutes les plantes d'un essai, en fonction du stade de développement moyen de la serre. A cause des différences éventuelles de stade de développement entre plantes, planter à une date unique contribue à créer une hétérogénéité à l'intérieur de chaque type.

### b) L'agencement des plantes dans l'espace

Pour simuler l'hétérogénéité intra-peuplement, nous avons utilisé un unique schéma d'agencement des individus dans l'espace : deux types d'individus *i* et *j* choisis parmi les quatre (N-, No, N+, Ro) sont disposés en alternance 1/1 sur la rangée (figure 2.3). Ceci constitue le peuplement dit "Hétérogène".

Il est comparé à un peuplement dit "Homogène" (qui joue le rôle de témoin), formé d'individus appartenant tous à un même type *i*. Rigoureusement, ce deuxième peuplement devrait être appelé "peuplement de variabilité minimale", du fait de la variabilité intra-type<sup>1</sup>.

Chaque traitement est donc un peuplement, c'est à dire un groupe de plantes caractérisé par les types et leur agencement spatial. Il est localisé en différents lieux de la serre sur des micro-parcelles<sup>2</sup> (ou par simplification, parcelles).

Parmi l'ensemble des peuplements qu'il est possible de former avec 4 types, seuls quelques cas sont traités :

- Peuplements Homogènes : traitements T1Ro, T1N-, T1No, T1N+,
- Peuplements Hétérogènes : traitements T2 (dispositif Eo) et T3 (dispositif Plantation).

La nomenclature suivante est adoptée pour décrire les plantes dans les peuplements : T2N+ désigne les plantes N+ du traitement T2.

<sup>1</sup> Pour faciliter la mémorisation des traitements, nous avons conservé ces termes, bien que des confusions soient possibles (un peuplement "homogène" devenant petit à petit hétérogène). Lorsqu'il s'agit du nom des traitements, les termes Homogène et Hétérogène porteront toujours une majuscule.

<sup>2</sup> Suivant les essais, une parcelle est formée des deux rangées ou d'une seule du double-rang (Cf annexe 8b), suivant le nombre d'individus qu'il est possible de suivre par des mesures régulières. Nous avons donc privilégié l'hétérogénéité à l'intérieur d'une rangée plutôt qu'entre les rangées d'un double-rang pour plusieurs raisons :

- il est difficile de caractériser précisément la compétition d'une rangée sur la rangée voisine à cause du palissage : dès que les plantes atteignent le haut de la serre, les deux rangées du double-rang sont déplacées en sens inverse ; une plante n'a donc pas les mêmes voisines d'une semaine à l'autre.
- l'opérateur réalise les opérations manuelles plante par plante le long d'une ligne ; la variabilité qui conditionne éventuellement ses interventions est donc plutôt la variabilité à l'intérieur d'une rangée.

**TABEAU 2.3 : ROLE DES ESSAIS ET DES TRAITEMENTS DANS LA PROBLEMATIQUE DE LA DEUXIEME PARTIE**

	Dispositif d'étude	
	<u>Eo</u> Types N-, No et N+	<u>Plantation</u> Types No et Ro
<b>Chapitre 1</b> Caractérisation et genèse de l'état Eoo	Essai <i>Elevage</i>	
<b>Chapitre 2</b> Recherche d'un indicateur non destructif de l'appareil végétatif	Essais <i>Variabilité et Techniques</i>	
<b>Chapitre 3</b> Effet de la variabilité sur l'élaboration de la production :  1) Analyse des différences entre types en peuplement homogène  2) Effet de la variabilité sur l'appareil végétatif et le rendement :  - des individus          - du peuplement	Essai <i>Variabilité</i>  Comparaison des plantes moyennes des peuplements Homogènes T1N+ / T1N- / T1No	Essais <i>Variabilité, Ablation et Techniques</i>  T1No / T1Ro  Comparaison des plantes d'un type au sein d'un peuplement Homogène et d'un peuplement Hétérogène T1No / T3No T1Ro / T3Ro  Comparaison des peuplements Homogène et Hétérogène T1No / T2 T1No / T1Ro / T3
<b>Chapitre 4</b> Pertinence du modèle M/Plantation 1) Analyse de la variabilité intra-T1No  2) Comparaison des deux modèles d'étude de la variabilité	Essai <i>Ablation</i> : T1No  Essai <i>Variabilité</i> : T2 / T3	

Un certain nombre de comparaisons font intervenir des traitements appartenant à deux dispositifs statistiques différents, ce qui sera signalé au fur et à mesure de l'exposé des résultats.

		Plante étudiée			
		Ro	N-	No	N+
Plantes voisines	Ro	T1Ro		T3No	
	N-		T1N-		T2N+
	No	T3Ro		T1No	
	N+		T2N-		T1N+

L'étude de la variabilité en serre se déroule en deux étapes :

- **identification des différences entre types et effets sur la production moyenne par type,**
- **effet de l'agencement de types différents sur la production par unité de surface.**

L'ensemble de la démarche est récapitulée dans le tableau 2.3.

Du fait de la surface disponible dans la serre et de la variabilité spatiale du milieu, tous les traitements ne sont pas représentés ou comparables statistiquement dans chaque essai, ce que nous allons justifier cas par cas.

### 2.1.2 Les dispositifs expérimentaux

Les dispositifs expérimentaux sont construits pour minimiser l'effet de la variabilité spatiale du climat (rayonnement, température), qui est principalement structurée suivant deux axes (annexe 7b). Deux plans expérimentaux ont été utilisés, les blocs sur les premiers essais (1989 et 1990) et les carrés latins sur le dernier (1991). Ce changement s'explique par une évolution de nos connaissances sur le climat de la serre :

- les premiers dispositifs, en **blocs**, ne contrôlaient qu'une source de variabilité, la composante latérale (axe X), qui est celle mise en avant le plus fréquemment par les maraîchers et les chercheurs,

- le dernier dispositif, en **carré latin**, contrôle les deux composantes latérale et longitudinale, parce que les essais précédents avaient montré l'importance de l'axe Y sur le rendement.

La variabilité des interventions manuelles d'une plante à l'autre est limitée au maximum : les techniques d'effeuillage, d'éclaircissage et d'ablation de bouquet sont appliquées de façon aussi homogène que possible. Les interventions manuelles involontaires (plantes cassées) sont consignées.

L'annexe 8 indique les dispositifs expérimentaux complets.



TABLEAU 2.4 : MESURES REALISEES SUR LES ESSAIS *Variabilité, Ablation et Techniques*

a) Mesures sur toutes les plantes de l'essai

Variables	Essais		
	<i>Variabilité</i>	<i>Ablation</i>	<i>Techniques</i>
Longueur de feuille (LFn)	*		
Stades de développement Numéro des bouquets	S'(t) B1 à B15	S(t) B1 à B20	S(t) B1 à B12
Masse sèche des bourgeons (MSBG(t))	*		*
Masse sèche des feuilles (MSF(t))	E1 à E9		E1 à E8
Masse sèche de la tige (MST)	*		*
Nombre de feuilles par étage (NFn)	E1 à E15	E1 à E20	E1 à E11
Diamètre de la tige (Dn)	E1 à E14	E1 à E20	E1 à E11
Nombre de fleurs par bouquet (NFLn)	B1 à B15	B1 à B20	B1 à B11
Nombre de fruits noués par bouquet	B1 à B15	B1 à B20	B1 à B11
Rendement (RDT) et Nombre de Fruits Récoltés (NFR) par date et par bouquet par date jusqu'à ... (date ou N° bouquet)	*	*	*
	08/07	12/07 (B20)	30/05 (B8)

b) Mesures destructives sur quelques plantes No et Ro

Variables	<i>EchV</i>	<i>EchT</i>
Stade de développement Nombre de fleurs épanouies Nombre de feuilles > 5 mm	*	*
Feuilles Longueur et largeur (L, l) Surface foliaire (SF) Masse sèche (MSF)	*	*
Tige Diamètre (D) Masse sèche (MST) Longueur (LT)	*	*
Racines : masse sèche (MSR)	*	
Fruits Nombre (NFR) Masse fraîche et sèche (MFFR, MSFR)	*	*

Les mesures réalisées sont indiquées soit par le niveau (étage, bouquet), soit par une astérisque.

### a) Essai Variabilité

C'est le seul essai qui comporte la totalité des traitements (les 4 peuplements homogènes T1 et les 2 peuplements Hétérogènes T2 et T3). Chaque micro-parcelle comprend 8 plantes réparties sur les deux rangées ; elle est entourée de chaque côté par deux plantes de bordure reproduisant le même schéma.

A cause du nombre de peuplements étudiés et des contraintes de place dans la serre, les 6 traitements sont répartis dans deux carrés latins juxtaposés :

- premier carré latin (CL1) : traitements T1No, T2, T3
- deuxième carré latin (CL2) : traitements T1N-, T1N+, T1Ro

Nous avons privilégié la comparaison des peuplements T1No, T2 et T3, pour étudier de façon aussi précise que possible l'effet des deux dispositifs E<sub>0</sub> et Plantation et les positionner par rapport au peuplement Homogène qui correspond au type de plantes le plus fréquent : No. Dans le deuxième carré latin, on compare les peuplements Homogènes des deux types extrêmes (N+ et N-) et du type Ro.

Seules les comparaisons des traitements appartenant au même carré latin peuvent être analysées par des méthodes statistiques, mais on s'autorisera à comparer :

- d'une part, à l'intérieur d'un carré latin, les types de plantes entre eux, ce qui est un défaut à l'hypothèse d'indépendance des parcelles élémentaires dans l'analyse de variance,
- d'autre part, lorsque nécessaire (mais avec beaucoup de précautions), l'ensemble des traitements, en prenant en considération la position de la parcelle dans la serre. Les deux carrés latins sont soumis qualitativement aux mêmes gradients. Mais l'inconvénient majeur est que le dispositif n'est pas équilibré (certaines parcelles sont systématiquement en fond de serre, d'autres à l'entrée).

### b) Essai Ablation

L'essai comporte 4 traitements, dont deux seulement sont utilisés dans la deuxième partie: T1No et T1Ro. Les deux autres seront présentés et étudiés dans la troisième partie.

Chaque parcelle est formée de 12 plantes disposées sur 2 rangs. Le dispositif est un système en blocs complets avec 3 répétitions.

### c) Essai Techniques

L'objectif principal de cet essai est d'étudier l'effet de quelques techniques adaptées à l'état de chaque plante (troisième partie). Cependant, il comporte deux traitements sur lesquels les techniques sont réalisées de façon homogène : T1Ro et T3.

Ce dernier se distingue cependant du traitement T3 de l'essai Variabilité par la structure de la micro-parcelle (3 plantes sur un unique rang, le deuxième rang étant constitué de plantes No) et la nature des plantes de bordure (uniquement des plantes No).

Le dispositif complet comporte 6 traitements disposés suivant un système en blocs incomplets (5 répétitions par traitement réparties sur 6 blocs).

## 2.2 NOTATIONS ET MESURES

L'ensemble des mesures réalisées et leurs justifications sont explicitées ci-dessous ; le tableau 2.4 précise quelles variables sont effectivement disponibles essai par essai.

### 2.2.1 Caractérisation précoce des traitements

Comme pour la longueur de la troisième feuille, les mesures de longueur sur les feuilles suivantes permettent de caractériser les différences entre les 4 types de plantes de façon non destructive, en début de culture (premier mois après plantation).

Les types No et Ro font l'objet d'une procédure particulière, pour pallier l'absence de définition a priori du traitement "Retard de plantation" (tableau 2.4b et annexe 8). Sur un échantillon de quelques plantes, on mesure le poids sec des différents organes, à 1 ou 2 dates suivant les essais (floraison des bouquets 5 et 9), étage par étage. Ces échantillons sont issus des essais *Variabilité* et *Techniques* et notés de ce fait *EchV/1*, *EchV/2*, *EchT/1*.

### 2.2.2 Vitesse de développement

Elle est estimée en suivant l'évolution de la floraison des bouquets successifs. Deux types de mesures ont été réalisées suivant les essais :

- *Repérage de l'épanouissement de la première fleur de chaque bouquet* par des observations 3 fois par semaine. La précision est donc de +/-1 jour. Le stade de développement  $S(t)$  s'exprime par le nombre de bouquets ayant au moins une fleur épanouie à la date  $t$  des mesures.

Ayant constaté sur les premiers essais que, d'une part, la durée entre la floraison de deux bouquets successifs est relativement stable sur une même plante (de l'ordre de 8 jours) et que, d'autre part, lorsque la floraison du bouquet  $B_n$  commence, les fleurs du bouquet  $B_{n-1}$  soit sont toutes épanouies, soit avortent, nous avons opté à partir de 1990 pour une deuxième méthode, beaucoup moins coûteuse en temps :

- *Comptage du nombre de fleurs épanouies sur le dernier bouquet fleuri*, une fois tous les 15 jours. Le stade de développement  $S'(t)$  se calcule ainsi :  $S'(t) = (n-1) + x/X$ , où  $x$  et  $X$  sont respectivement le nombre de fleurs épanouies à la date  $t$  et le nombre de fleurs total après éclaircissage sur  $B_n$ .

### 2.2.3 Caractérisation de l'appareil végétatif

Nous avons choisi de ne pas réaliser de mesures destructives de **surface foliaire** : compte tenu de l'espace disponible dans la serre, de la variabilité intra-traitement (donc du nombre de plantes nécessaires pour mettre en évidence des différences significatives) et de la durée de l'essai, un suivi direct de l'appareil végétatif aurait limité très fortement le nombre de plantes en fin de culture, alors que le nombre de répétitions est déjà faible (de 3 à 5).

L'utilisation de corrélations entre **surface et longueur** (ou longueur\*largeur) a été testée mais s'est révélée peu efficace (annexe 10a) : elle est très coûteuse en temps (une trentaine de feuilles par plante) et peu pratique (culture en double-rang, distance entre plantes de l'ordre de 50 cm, hauteur de palissage de 3 mètres...). Comme toute intervention manuelle sur les plantes, il existe un risque non négligeable de casser des feuilles ou des tiges.

La mesure de la **masse foliaire** est un indicateur performant, du fait des corrélations élevées qui existent entre masse et surface foliaires. Fisher (1974) montre l'existence sur tomate d'une relation linéaire très précise entre la masse foliaire et le rendement. Mais cette mesure suppose, comme pour la surface foliaire, la suppression de nombreuses plantes.

Nous avons donc privilégié un suivi indirect de l'appareil végétatif par les mesures suivantes :

- *masse sèche des feuilles éliminées lors des effeuillages successifs (MSF)*. A chaque effeuillage (1 fois/semaine), on recueille un lot de 2 à 4 feuilles, qui n'ont donc pas systématiquement le même numéro d'ordre sur les différentes plantes, bien qu'on ait cherché à homogénéiser la pratique. Mais comme nous cherchons à caractériser l'évolution de la surface foliaire au cours du cycle et non pas en fonction du numéro de la feuille, cela n'est pas très gênant en soi. De plus, l'état des feuilles au moment de leur récolte varie parce qu'elles sont plus ou moins proches de la sénescence.

Cette mesure n'a donc pas de signification écophysologique simple, mais elle est un compromis entre une mesure directe de l'appareil végétatif et le respect des pratiques culturales des maraîchers. En fin de culture, on dispose d'une estimation de la masse foliaire totale, mais cette mesure diffère des mesures habituelles par le fait que le recueil des feuilles est fractionné entre les effeuillages successifs.

- *diamètre de la tige (D)*. Sur plusieurs espèces, annuelles ou pérennes, herbacées ou ligneuses (pommier : Gras, 1961, luzerne : Sebillotte, 1964 ; maïs : Tardieu, 1984), le diamètre de la tige est corrélé à la biomasse aérienne. Sur une espèce voisine de la tomate, l'aubergine, Schoch et al. (1987) montrent que le diamètre de la tige en croissance est très corrélé à la photosynthèse de la plante. La tomate indéterminée, du fait de sa structure en sympode et de l'évolution fréquente de "vigueur" au cours du cycle, se distingue de la majorité des cultures par le fait que son diamètre ne diminue pas régulièrement le long de la tige. Mesuré à un étage donné, il pourrait être un indicateur du fonctionnement végétatif de la plante à une date donnée, voire du sympode. De plus, la tige n'étant pas circulaire, il existe une certaine imprécision dans la mesure, que l'on peut réduire en augmentant le nombre de mesures. C'est à cause de ces deux faits que nous avons préféré répéter les mesures sur plusieurs sympodes.

Les mesures sont faites à 1 cm au dessus de la troisième feuille du sympode, perpendiculairement à l'axe de la feuille, après arrêt de la croissance radiale du sympode, ce que l'on estime atteint lorsqu'au moins 3 sympodes se trouvent au dessus du sympode mesuré (annexe 9).

- *nombre de feuilles par étage (NF)*, c'est à dire entre 2 bouquets successifs,

- *masse sèche des tiges axillaires, éliminées lors de l'ébourgeonnage (MSBG)*. Le principe est identique à celui de l'effeuillage. Cette mesure est utilisée par certains auteurs comme un indicateur de vigueur (Cooper, 1958).

#### 2.2.4 Elaboration du rendement

Les récoltes sont faites 3 fois par semaine, plante par plante. Suivant les essais, le rendement est décomposé de deux façons :

---

**Remarques concernant les tableaux des deuxième et troisième parties :**

Dans les analyses de variance, les probabilités sont toujours indiquées en pourcentage.  
Les symboles suivants sont utilisés :

- \* = significatif au seuil 10%
- \*\* = significatif au seuil 5%
- \*\*\* = significatif au seuil 1%

La même règle est appliquée pour la comparaison de moyennes, en utilisant de 1 à 3 symboles < ou >

---

- soit les récoltes de chaque bouquet sont individualisées :

$$RDT = \sum RDT_n \quad \text{avec } RDT_n = NFR_n * P1F_n$$

où  $RDT_n$ ,  $NFR_n$  et  $P1F_n$  sont le rendement, le nombre et le poids moyen des fruits de  $B_n$

- soit les récoltes se font tous bouquets confondus :

$$RDT(t) = \sum RDT(i) \quad \text{avec } RDT(i) = NFR(i) * P1F(i)$$

où  $RDT(i)$  est le poids de fruits récoltés le jour  $i$ .

La première méthode est très coûteuse en temps (jusqu'à 5 bouquets sont récoltés simultanément), mais permet de repérer l'effet d'une technique (ex: ablation de bouquet) sur les différents bouquets, et par conséquent de tester l'interaction avec le stade de développement du bouquet. Elle est donc surtout utilisée dans les essais de la troisième partie.

### 3. TRAITEMENT DES DONNEES

Les données sont traitées par des analyses de variance et de covariance et des régressions (logiciels STATITCF et MODLI). Les analyses de covariances permettent de prendre en compte les effets du climat, lorsque le dispositif expérimental est défaillant, en utilisant comme covariable la position de la parcelle ou de la plante.

Comme certains essais sont utilisés à la fois dans les deuxième et troisième parties, les traitements sont comparés généralement par la **méthode des contrastes**, plus adaptée que les tests de Newman-Keuls, parce qu'ils permettent de privilégier certaines comparaisons tout en conservant la puissance de l'essai complet.

**Cependant, dans un certain nombre de cas, les différences entre traitements ne sont pas significatives**, ce qui peut indiquer, soit qu'il n'y a effectivement pas de différences entre traitements, soit que les différences sont trop faibles pour être significatives. Ceci a lieu en particulier lorsque la puissance a priori du dispositif est faible et la variance résiduelle forte.

Les difficultés liées à la puissance a priori sont très générales en cultures maraîchères sous serre, où la densité de plantation est faible (donc le nombre de plantes) et la surface disponible limitée. Le nombre de répétitions est donc réduit. De plus, l'hétérogénéité spatiale du milieu (gradients, effets de bordure...) et la structure en rangs figée imposent des contraintes très fortes à l'expérimentation.

Tous ces paramètres concourent à l'augmentation de la **variance résiduelle**. Mais en plus, l'apparition de variabilité incontrôlée à l'intérieur des traitements est inhérente au sujet et complique notre démarche d'expérimentation.

C'est pourquoi, lorsque plusieurs résultats convergent vers le même phénomène, ou lorsqu'une même tendance se dessine pour plusieurs variables ou pour une variable à différentes dates, nous estimons que la probabilité que ce soit dû au hasard est faible. **Dans ce cas, même sans démonstration statistique, nous nous autoriserons à discuter le résultat.**

FIGURE 2.4 : HISTOGRAMMES DE LA POPULATION PENDANT LA PERIODE EN COUCHE CHAUFFANTE

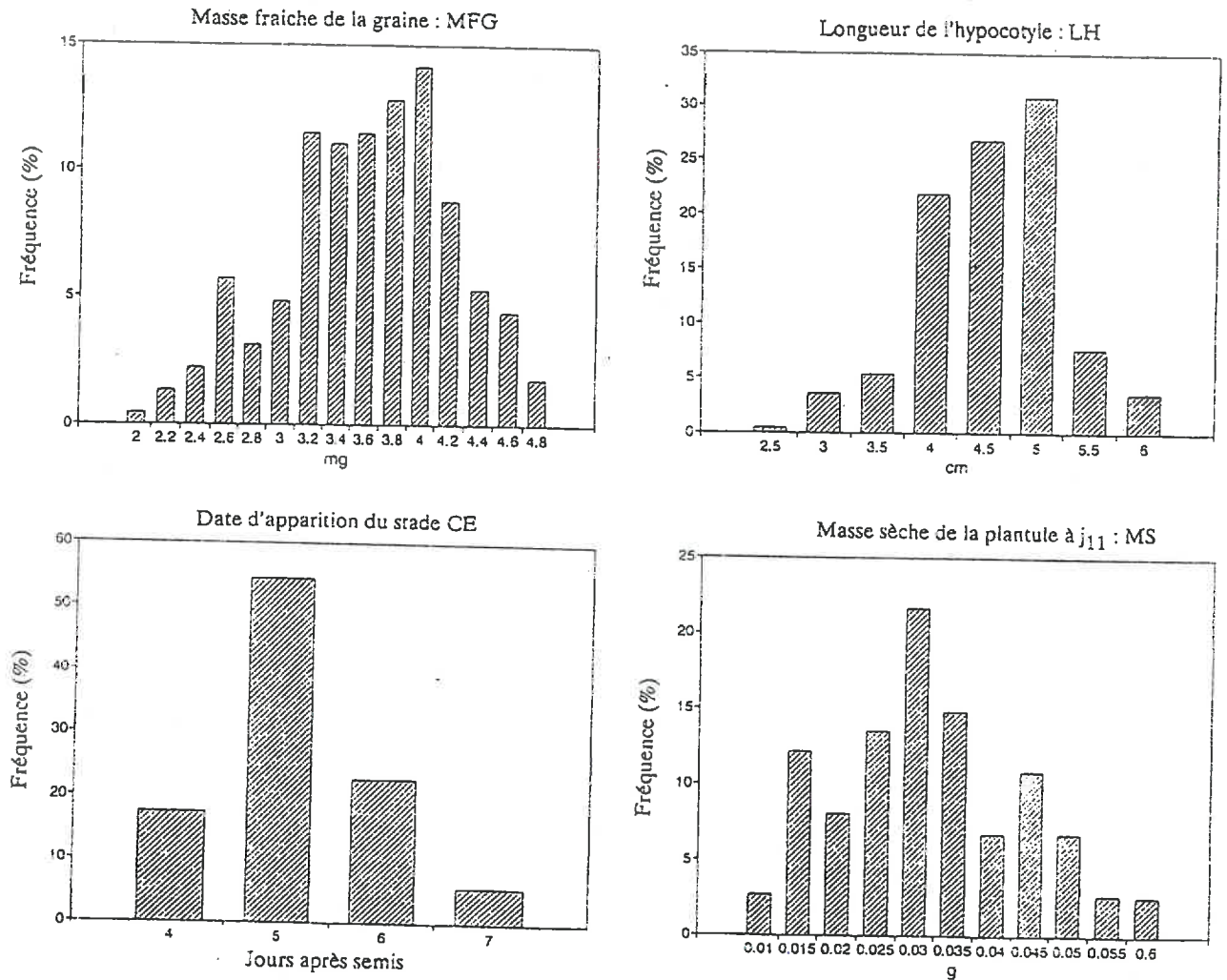


TABLEAU 2.5 : DESCRIPTION DES VARIABLES EN COUCHE CHAUFFANTE

a) Paramètres statistiques des distributions

N : taille de l'échantillon ; C.V.% : coefficient de variation

a et s : coefficients d'aplatissement et de symétrie de Pearson (pour la loi normale : a = 3 ; s = 0)

Variable	N	Moyenne	Ecart-type	C.V.%	a	s
MFG (g)	240	$3.6 \cdot 10^{-3}$	$6.5 \cdot 10^{-4}$	17.8	2.76	0.031
TC (d°j)	155	106.5	17.45	16.4	2.95	0.114
CE (d°j)	155	131.2	17.8	13.6	2.58	0.027
LH (mm)	224	44.9	7.7	17.1	3.08	0.199
LF1 (mm)	224	18.1	5.9	32.6	1.76	0.045
MF (g)	74	0.406	0.13	31.5	2.20	0.000
MS (g)	74	0.034	0.01	35.2	2.22	0.011

b) Matrice de corrélation

	MFG	TC*	CE	LH	LF1	MF	MS
MFG	1.00						
TC*	-0.20	1.00					
CE	-0.06	0.76	1.00				
LH	0.01	-0.39	-0.45	1.00			
LF1	0.11	-0.65	-0.64	0.27	1.00		
MF	0.31	-0.61	-0.78	0.62	0.66	1.00	
MS	0.27	-0.60	-0.78	0.57	0.67	0.98	1.00

\* Les corrélations avec la variable TC ne portent que sur 48 individus.

## C - RESULTATS

### 1. LA VARIABILITE INTRA-PEUPEMENT AVANT LA DISPOSITION EN SERRE (E00) ; CARACTERISATION ET ORIGINE (Essai *Elevage*<sup>3</sup>)

L'objectif de ce chapitre est de caractériser la structure du peuplement juste avant le transfert en serre (E00) et d'en comprendre la genèse, puisque cet état détermine la variabilité initiale des autres essais. Comme l'élevage a lieu en deux étapes, on étudie successivement la période en couche chauffante (de  $j_0$  à  $j_{11}$ ), puis la période en pépinière ( $j_{12}$  à  $j_{33}$ ).

#### 1.1 LA VARIABILITE DU PEUPEMENT PENDANT LA PERIODE EN COUCHE CHAUFFANTE

##### *1.1.1 Caractérisation de la variabilité du peuplement*

Quelle que soit la variable considérée, les 240 plantules étudiées forment une population unique (figure 2.4), les distributions sont relativement symétriques et proches de la loi normale, sauf pour la longueur de l'hypocotyle LH (tableau 2.5a). Les variables caractérisant le peuplement initial, au semis (masse de la graine MFG) et à la levée (dates d'apparition des stades TC et CE), ont des coefficients de variation de 14 à 18%. Les variables enregistrées à la fin de la première période, juste avant le repiquage, ont un coefficient beaucoup plus élevé (de 32 à 35%), exception faite de la longueur de l'hypocotyle : bien qu'il soit un entre-noeud un peu particulier, l'hypocotyle est un organe de longueur finie, ce qui explique que la distribution soit dissymétrique et la variabilité faible.

Ces résultats concordent avec les corrélations entre variables (tableau 2.5b) : la date de levée, estimée par TC ou CE, joue de façon déterminante sur les caractéristiques de croissance et de développement. Elle explique donc une part de la variabilité de longueur et de masse. L'augmentation du coefficient de variation pour la longueur de la feuille 1 (LF1) et le poids des plantules (MF et MS) par rapport à TC et CE pourrait s'expliquer soit par un phénomène d'amplification de la variabilité lié à la croissance, soit par l'intervention d'autres facteurs.

##### *1.1.2 Déterminisme de la variabilité*

###### a) Variabilité liée à la position de la semence dans le dispositif

Parmi les facteurs climatiques, seule la température a été mesurée en différents points du dispositif. La différence de température entre sondes est au maximum de 0.25°C et n'est jamais significative. Cependant, pour tenir compte d'une éventuelle variabilité spatiale de la température, non décelée par les quatre sondes, et des autres caractéristiques du milieu (rayonnement...), chaque individu est repéré par sa position dans le dispositif (numéros de ligne LC, et de colonne CC, Cf annexe 6). Nous faisons l'hypothèse que la variabilité spatiale du milieu, si elle existe, sera révélée par ce quadrillage. Cela suppose que la masse des graines (MFG) soit répartie aléatoirement, ce qui est vérifié sur le tableau 2.6a.

<sup>3</sup> Une analyse écophysiological plus détaillée de la phase juvénile (et notamment des corrélations entre croissance et développement) a été faite à partir des mêmes données (Navarrete & Sebillotte, 1992).



TABLEAU 2.6 : EFFET DE LA POSITION DE LA GRAINE DANS LA COUCHE CHAUFFANTE

a) Analyse de variance au seuil alpha = 5%. Probabilités du facteur étudié (ligne ou colonne)

Dispositif	Facteur testé	MFG	CE	LH	LF1	MF	MS
Population totale 20 lignes, 12 répétitions	Ligne	34.12	96.02	81.34	38.25		
Echantillon détruit 20 lignes, 4 répétitions						21.36	21.12
Population totale 12 colonnes, 20 répétitions	Colonne	32.19	0.30 ***	0.01 ***	1.87 **		
Echantillon détruit 12 colonnes, 7 répétitions		93.85	8.51 *	7.30 *	6.52 *	7.10 *	14.68

b) Moyennes par colonne (A..L) - 20 répétitions (sauf pour MF et MS : 7 répétitions)

Var	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	<u>Population totale</u>											
MFG (mg)	3.88	3.60	3.28	3.78	3.73	3.62	3.42	3.49	3.67	3.33	3.57	3.74
CE (d°)	135 ab	128 ab	120 b	126 ab	125 ab	135 ab	124 ab	121 b	121 b	131 ab	125 ab	141 a
LH (cm)	4.51 a	4.49 a	4.74 a	4.49 ab	4.38 ab	4.36 ab	4.61 a	4.92 a	4.82 a	4.34 ab	4.52 a	3.91 b
LF1 (cm)	1.50 b	1.61 ab	1.88 ab	1.67 ab	1.85 ab	1.71 ab	1.83 ab	2.15 a	1.95 ab	1.88 ab	2.00 ab	1.65 ab
	<u>Echantillon détruit</u>											
MF (g)	0.398	0.378	0.442	0.346	0.413	0.357	0.457	0.469	0.474	0.342	0.456	0.290
MS (g)	0.034	0.031	0.038	0.029	0.034	0.029	0.037	0.039	0.039	0.028	0.038	0.025

Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes (Test Newman-Keuls 5%)

L'effet du **numéro de la ligne** n'est significatif pour aucune caractéristique de la plantule (tableau 2.6a) : les plantules des 20 lignes ont donc un comportement moyen similaire.

L'effet du **numéro de colonne** est significatif sur le stade CE, les longueurs de l'hypocotyle (LH) et de la première feuille (LF1) ; la probabilité du facteur colonne pour le poids des plantules (MF et MS) est plus élevée, mais guère supérieure à 5%. L'augmentation de probabilité entre la population totale et l'échantillon détruit est vraisemblablement liée à une réduction du nombre de répétitions, car la probabilité pour les variables CE, LH et LF1 augmente également.

Sur les colonnes C, G, H et I, les plantules lèvent précocement, l'hypocotyle (et dans une moindre mesure la feuille 1) est plus long, le poids final est plus élevé. La colonne L présente les caractéristiques inverses. Les 4 colonnes portant les plantes vigoureuses correspondent à des poids moyens de semence très variables : semences légères pour les colonnes C, G et H ; semences lourdes pour la colonne L. **C'est donc bien l'effet du milieu (apprécié par la position dans le dispositif LC et CC) qui prédomine sur l'effet de la semence (MFG).**

Plusieurs facteurs du milieu sont susceptibles d'intervenir (température, rayonnement, apport de solution nutritive, capacité de rétention des bouchons). La ferti-irrigation est probablement homogène, puisqu'elle se fait par submersion. D'ailleurs, la corrélation élevée entre MF et MS ( $R^2 = 0.98$ ) indique l'absence de stress hydrique à  $j_{11}$ . Etant donnée la surface du dispositif ( $0.25 \text{ m}^2$ ) par rapport à la taille des infrastructures de la serre, il est peu probable que l'hétérogénéité de rayonnement ou de température soit importante. De plus, si ces facteurs intervenaient, ils seraient à l'origine d'un gradient entre colonnes, ce qui n'est pas observé. **L'hypothèse la plus probable est donc l'existence d'une variabilité dans la structure des bouchons, à cause de la structure fibreuse de la laine de roche (qui pourrait jouer sur leur capacité de rétention et/ou l'enracinement).**

#### b) Variabilité liée aux caractéristiques initiales de la plantule

Fleury et Caneill (1984), puis Boiffin et al. (1992) montrent comment le modèle exponentiel de croissance permet d'expliquer la variabilité du peuplement de betterave sucrière dans sa phase d'implantation, à partir de deux paramètres : la date de levée et la vigueur au démarrage (partiellement expliquée par la masse de la semence).

La matrice de corrélation (tableau 2.5b) confirme et nuance ces résultats sur tomate :

- la date de levée est fortement corrélée aux caractéristiques de longueur et de masse ; elle est indépendante du poids de la semence, ce qui rend nécessaire son introduction dans le modèle.
- le poids de la semence semble par contre jouer peu sur les caractéristiques de la plantule, ce qui est en accord avec la comparaison des colonnes dans le paragraphe précédent.

C'est pourquoi, nous utilisons le modèle exponentiel de croissance entre le semis et  $j_{11}$ , pour expliquer la variabilité de la biomasse aérienne juste avant le repiquage (MS). Nous faisons les hypothèses suivantes :

**H1** : la croissance entre le semis et  $j_{11}$  est exponentielle et de la forme :

$$MS(t) = MS_0 \cdot e^{RGR \cdot (t-t_0)}$$

MS et  $MS_0$  : masse sèche des plantules aux dates t et  $t_0$  (exprimées en jours)

RGR : taux de croissance relatif (g/g.j)

**TABEAU 2.7 : DETERMINISME DE LA VARIABILITE DE BIOMASSE A J<sub>11</sub>**  
**ANALYSE DE COVARIANCE DE LA VARIABLE LN(MS/MSG)**

p : Probabilités des différents facteurs (en %)

SC% : Pourcentage de la somme des carrés expliquée par chaque facteur

<b>Modèle 1: Régression simple</b>				
Facteurs			T*	
p			***	
SC%			71.2	R <sup>2</sup> = 0.71
 Ln(MS/MSG) = 0.100 + 0.014 * T				
Test de l'hypothèse Ho: constante = 0				
t <sub>obs</sub> = 0.05			t de student à (n-2) ddl = 1.671	
<b>Modèle 2: Covariance avec deux facteurs LC et CC</b>				
Facteurs	LC	CC	T*	
p	***	***	***	
SC%	30.2	18.5	39.7	R <sup>2</sup> = 0.88
 Ln(MS/MSG) = 0.002 + 0.015 * T				

\* Par simplification, T indique la différence (T<sub>11</sub> - CE), exprimée en somme de degrés-jours

H2 : le RGR est identique sur toutes les plantes, et une fonction linéaire de la température (Fleury et al. 1986) :  $RGR = k \cdot \theta$ , où  $\theta$  est la température moyenne pendant la croissance exponentielle et  $k$  la "valeur thermique" du RGR.

H3 : le stade CE correspond au début du fonctionnement photosynthétique de la plantule, la surface chlorophyllienne étant très réduite avant l'étalement des cotylédons. A ce stade, on estime que la masse de la plantule est voisine de la masse de la graine, ce qui revient à négliger les pertes par respiration.

Le modèle suivant est paramétré dans une analyse de covariance prenant en compte la position de la plantule dans le dispositif :

$$\ln[MS_{11}/MSG] = k * (T_{11} - CE)$$

$T_{11}$  et CE étant exprimés en degrés-jours

Lorsque le milieu est pris en compte par le seul numéro de colonne CC, les résidus ne sont pas répartis aléatoirement : certaines lignes ont un comportement particulier. Bien qu'aucun effet significatif du numéro de ligne LC n'ait été mis en évidence précédemment, nous avons préféré inclure simultanément les facteurs LC et CC dans l'analyse de covariance.

Le coefficient de détermination est de 0.88 (modèle 2, tableau 2.7). La durée de croissance a un effet très significatif. Cela confirme l'intérêt d'utiliser le modèle exponentiel de croissance, qui semble par ailleurs bien adapté aux données, puisque la constante n'est pas significativement différente de zéro (modèle 1, tableau 2.7). Les numéros de colonne et de ligne sont tous deux très significatifs ; ils améliorent fortement la relation :  $R^2$  passe de 0.71 à 0.88. Ce résultat confirme l'existence d'un effet local du milieu, dont l'importance dépasse celle du poids de la semence. En effet, la régression sans utiliser la variable MSG donne un  $R^2$  de 0.64, qui n'est que légèrement inférieur à celui du modèle 1 (0.71).

Dans les deux modèles, la valeur thermique  $k$  du RGR est de l'ordre de 0.015 g/g.d°j, ce qui correspond à un RGR d'environ 0.36 g/g.j à 24°C. Ce résultat est tout à fait compatible avec la bibliographie : sur des plantes d'âge et de poids sec similaires, Thornley & Hurd (1974) montrent que le RGR varie de 0,2 à 0,3 g/g.j suivant la teneur en CO<sub>2</sub> et le rayonnement. Des valeurs de RGR allant jusqu'à 0.6 g/g.j ont été observées sur de jeunes plants (Picken et al. 1986).

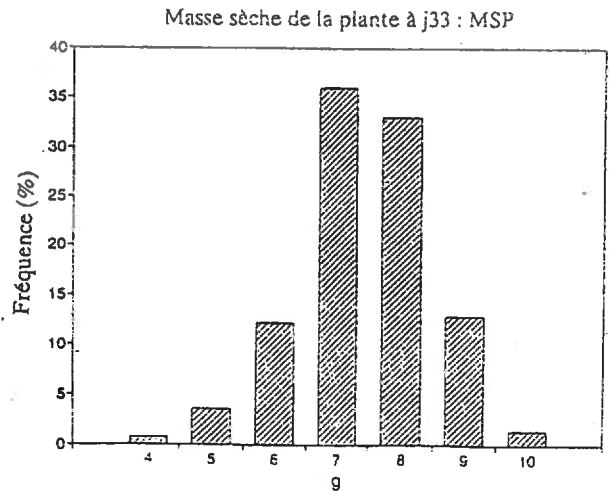
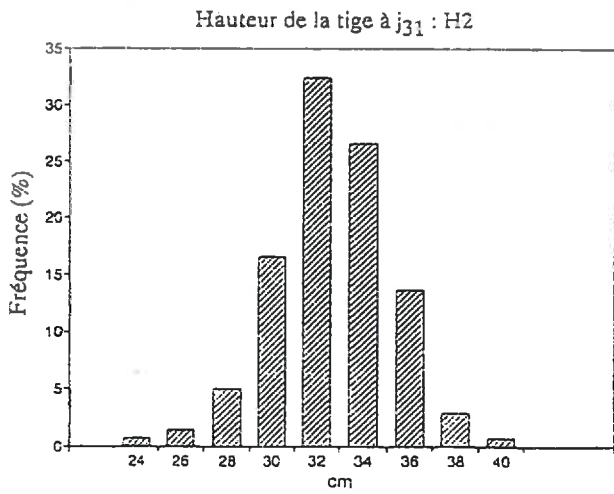
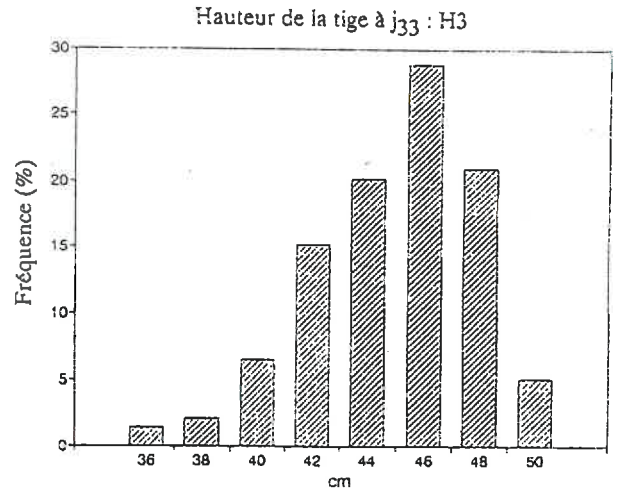
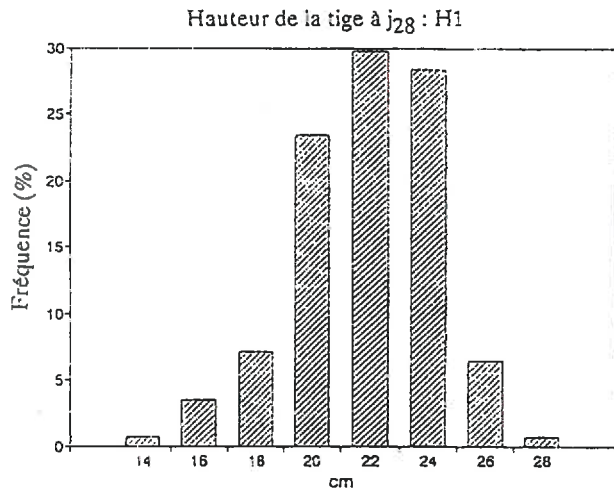
Au cours de la première période, en couche chauffante, le principal facteur de variabilité est la date de levée, mais son déterminisme est mal élucidé (faible importance du poids de la semence, mauvaise explication des effets ligne et colonne).

## 1.2 LA VARIABILITE DU PEUPEMENT PENDANT LA PERIODE EN PEPINIERE

### *1.2.1 Caractérisation de la variabilité*

Alors qu'au moment du repiquage, la population est plutôt symétrique, elle devient de plus en plus dissymétrique en pépinière, tout en restant uni-modale (figure 2.5, tableau 2.8a).

FIGURE 2.5 : HISTOGRAMMES DE LA POPULATION PENDANT LA PERIODE EN PEPINIERE



**TABEAU 2.8 : DESCRIPTION DES DISTRIBUTIONS ET CORRELATIONS ENTRE VARIABLES EN PEPINIERE**

**a) Paramètres statistiques des distributions**

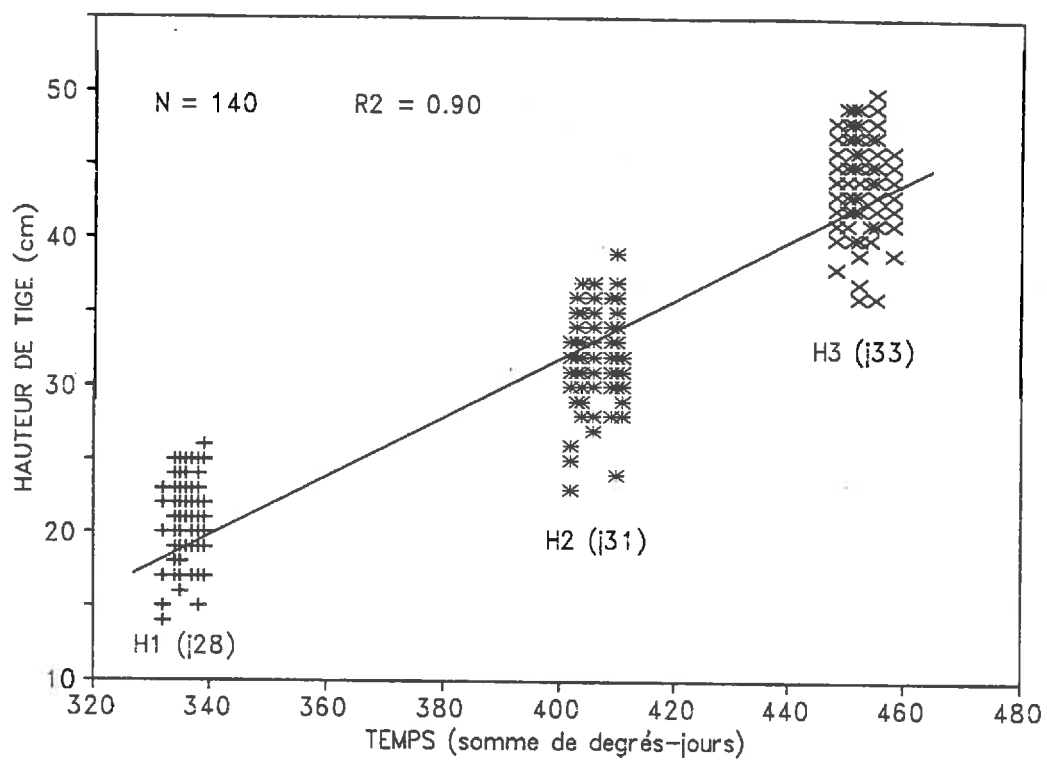
Abréviations : N : taille de l'échantillon ; C.V.% : coefficient de variation  
 a et s : coefficients d'aplatissement et de symétrie de Pearson  
 Valeurs théoriques pour la loi normale : a = 3 ; s = 0

Variable	N	Moyenne	Ecart-type	C.V.%	a	s
DTC (mm)	145	8.6	0.68	7.9	3.85	0.116
DT5 (mm)	145	7.9	1.10	13.9	3.19	0.001
ABR	145	2.2	0.72	32.2	2.05	0.133
H1 (mm)	145	212	26.0	12.3	2.98	0.318
H2 (mm)	145	318	29.1	9.1	3.87	0.161
H3 (mm)	145	442	32.5	7.4	2.89	0.247
NF1	145	8.6	0.62	7.2	3.66	0.099
NF2	145	3.7	0.60	16.2	3.05	0.091
NFL	145	7.4	1.14	15.5	9.22	1.520
LFo6 (cm)	145	11.2	1.06	9.50	3.05	0.085
MFP (g)	145	85.0	13.3	15.6	3.17	0.073
MSP (g)	145	6.9	1.19	17.4	3.49	0.139
W <sub>11</sub> (g)	145	528	12.1	2.3	4.02	0.290
W <sub>33</sub> (g)	145	231	48.9	21.2	2.81	0.010

**b) Matrice de corrélation**

	MFG	CE	LH	DTC	DT5	ABR	H1	H2	H3	NFT	NFL	LFo6	MFP	MSP
MFG	1.00													
CE	0.20	1.00												
LH	0.09	-0.52	1.00											
DTC	0.00	-0.62	0.45	1.00										
DT5	0.07	-0.45	0.35	0.47	1.00									
ABR	0.12	-0.34	0.37	0.37	0.28	1.00								
H1	0.14	-0.57	0.74	0.53	0.43	0.57	1.00							
H2	0.07	-0.26	0.46	0.31	0.41	0.32	0.72	1.00						
H3	0.04	-0.06	0.19	0.18	0.37	0.27	0.45	0.79	1.00					
NFT	0.12	-0.09	0.14	0.30	0.51	0.07	0.14	0.08	0.12	1.00				
NFL	0.02	-0.06	0.04	0.18	0.25	0.10	0.08	0.09	-0.01	0.16	1.00			
LFo6	0.14	-0.30	0.30	0.34	0.52	0.27	0.35	0.13	0.14	0.38	0.05	1.00		
MFP	0.12	-0.52	0.43	0.56	0.77	0.47	0.57	0.56	0.52	0.32	0.18	0.55	1.00	
MSP	0.11	-0.63	0.56	0.61	0.72	0.49	0.68	0.51	0.32	0.27	0.19	0.55	0.83	1.00

FIGURE 2.6 : CROISSANCE EN HAUTEUR DE LA TIGE AU COURS DE LA PERIODE EN PEPINIERE



La réduction au cours du temps du coefficient de variation sur la hauteur des plantes (de H1 à H3) pourrait s'expliquer par un étiolement en fin d'essai.

La variabilité du peuplement à j33 est plutôt plus faible qu'à j11. A cette date, le coefficient de variation est de l'ordre de 15% pour les variables de développement, de l'ordre de 30% pour les variables de croissance. A j33, le C.V. varie entre 7 et 20%. La diminution de la variabilité est délicate à analyser du fait du changement de taille de l'échantillon. Cependant, au moment du repiquage, nous avons éliminé quelques plantules jugées trop "chétives", comme cela est fait couramment par les maraîchers. Il est possible que, par cette action, on ait contribué à réduire la variabilité du peuplement. Une autre hypothèse est l'existence de phénomènes de rattrapage, ou d'interactions avec l'hétérogénéité spatiale du milieu pouvant réduire la variabilité.

### 1.2.2 Déterminisme de la variabilité

Parmi les facteurs enregistrés, tous ceux susceptibles de jouer sur la variabilité sont pris en compte. Ne disposant pas de relation suffisamment précise pour estimer le poids sec des plantules au moment du repiquage, l'état de la plantule au repiquage est caractérisé par les variables de base : poids de la graine (MFG), stades de développement (TC et CE) et état de croissance au repiquage (LH, LF1). Le milieu, pour les mêmes raisons que dans la première période, est pris en compte par la position de chaque plante dans le dispositif (numéro de ligne LP et de colonne CP, Cf annexe 6).

Le coefficient de corrélation entre les poids frais et sec des plantes est moins élevé que pour la première période (tableau 2.8b :  $R^2 = 0.83$  contre 0.98 sous couche chauffante, tableau 2.5b), ce qui laisse penser que l'eau a peut-être été un facteur limitant. On a d'ailleurs constaté le flétrissement de quelques plantes en fin d'essai, du fait de l'important ensoleillement des derniers jours. L'analyse de la variabilité spatiale de la ferti-irrigation est peu précise du fait du manque de mesures ; cependant, il apparaît (Navarrete & Sebillotte, 1992) qu'au cours de la croissance en pépinière, l'eau est un facteur de variabilité entre individus, contrairement à la période en couche chauffante. Cette variabilité peut être scindée en deux :

- une composante aléatoire, d'une plante à l'autre,
- une composante liée à la position dans le dispositif (numéros de ligne et de colonne).

N'ayant pas les moyens de caractériser le déficit hydrique plante par plante, la première composante contribue à augmenter la variabilité résiduelle. Par contre, la seconde composante pourra être prise en compte globalement avec les autres facteurs du milieu, par les effets ligne et colonne. Comme la fertilisation est associée à l'irrigation, l'hétérogénéité hydrique que nous avons signalée révèle une hétérogénéité des conditions d'alimentation minérale, et de la nutrition azotée en particulier.

#### a) Variabilité de la hauteur de tige

La croissance en longueur de la tige est linéaire en fonction de la somme de température (figure 2.6,  $R^2 = 0.90$ ). Celle-ci explique bien la croissance d'une date à l'autre, mais la variabilité de hauteur pour une somme de température fixée reste importante.

L'état initial de l'individu a un effet prépondérant en début de culture : 44% de la variabilité de hauteur à j28 (H1) est expliquée par la longueur de l'hypocotyle à j11 (modèle 1,



**TABEAU 2.9 : DETERMINISME DE LA HAUTEUR ET LA MASSE DES PLANTES EN PEPINIERE**  
ANALYSES DE COVARIANCE

p : Probabilités des différents facteurs (en %)  
SC% : Pourcentage de la somme des carrés expliquée par chaque facteur

Variable	Facteurs						R <sup>2</sup>	
H1	<b>Modèle 1 :</b>						0.67	
	LP	CP	LH					
	***	***	***					
p	8.9	14.3	44.0					
SC%								
H3	<b>Modèle 2 : Effets de LP et CP seuls</b>						0.46	
	<i>a) 16 lignes et 10 colonnes</i>							
	LP	CP						
	***	***						
	p	32.5	13.3					
	SC%							
	<i>b) 14 lignes et 8 colonnes</i>						0.25	
	LP	CP						
	ns	ns						
	p	16.0	8.8					
	SC%							
	<b>Modèle 3 : Effets de l'ensemble des variables (14 lignes et 8 colonnes)</b>							0.43
LP	CP	W <sub>33</sub>	HV					
*	ns	***	***					
p	16.0	8.8	11.5	6.2				
SC%								
$H3 = 31.5 - 0.017 * W_{33} + 0.099 * HV$								
MSP	<b>Modèle 4 :</b>						0.55	
	LP	CP	HV	CE				
	**	**	***	***				
	p	16.0	9.9	4.5	24.7			
	SC%							
	$MSP = 13.48 - 0.032 * HV - 0.031 * CE$							
	<b>Modèle 5 :</b>						0.71	
	LP	CP	HV	CE	AbR	LFo6		
	***	***	***	***	***	***		
	p	16.0	9.9	4.5	24.7	8.8		7.0
	SC%							
	AbR = 1: $MSP = 7.42 - 0.019 * HV - 0.022 * CE + 0.291 * LFo6$							
AbR = 2: $MSP = 7.93 - 0.019 * HV - 0.022 * CE + 0.291 * LFo6$								
AbR = 3: $MSP = 8.32 - 0.019 * HV - 0.022 * CE + 0.291 * LFo6$								

tableau 2.9), et ce malgré le retournement de la plantule qui entraîne une incertitude sur la longueur de l'hypocotyle après le repiquage. Par contre, à  $j_{33}$ , la longueur de l'hypocotyle ne joue quasiment plus sur H3 (tableau 2.8b).

Le nombre total de feuilles, donc d'entre-nœuds, varie peu et il est très peu corrélé à H3 (tableau 2.8). La hauteur est donc principalement liée à l'allongement des entre-nœuds.

**La position de la plante dans le dispositif** est très significative (modèle 2, tableau 2.9) ; en particulier, LP explique de l'ordre de 30% de la variabilité de H3. Mais si on élimine une rangée de plantes sur chaque côté du dispositif (respectivement 1 et 10 pour CP, 1 et 16 pour LP), les deux facteurs ne sont plus du tout significatifs. Malgré la présence d'une rangée de bordure, non comptabilisée, les plantes les plus périphériques de l'essai sont dans un environnement lumineux différent des autres (rayonnement vraisemblablement supérieur), ce qui se traduit par une hauteur plus faible (figure 2.7).

Nous cherchons maintenant, sur le dispositif réduit, à caractériser et à chiffrer l'importance de deux facteurs du milieu, l'eau et le rayonnement (modèle 3, tableau 2.9). En plus de la position de la plante dans le dispositif (LP, CP), les variables suivantes sont prises en compte :

- la quantité d'eau présente dans le cube en fin d'essai ( $W_{33}$ ),
- la hauteur moyenne des 4 plantes les plus proches (HV, considéré comme un indicateur de la compétition des plantes voisines pour le rayonnement).

La variation de hauteur suivant le numéro de ligne (LP) semble être aléatoire. Par contre, il existe un gradient de hauteur suivant l'axe des colonnes CP (figure 2.7). Le nombre total de feuilles est relativement stable entre colonnes, ce qui est en accord avec l'absence de gradient thermique suivant cet axe. Il pourrait donc s'agir d'un phénomène d'étiollement : du fait de l'orientation de la serre, les valeurs de CP les plus élevées (...7, 8, 9) se situent dans la zone la plus ombrée (annexe 7b) ; or, c'est là que se trouvent les plantes les plus hautes.

La hauteur des plantes voisines (HV) est positivement corrélée à la variable H3, ce qui tendrait à confirmer l'hypothèse d'étiollement : en dehors du midi solaire, plus les plantes voisines sont hautes, plus le rayonnement incident sur la plante centrale est faible et par conséquent plus celle-ci est haute<sup>4</sup>.

La quantité d'eau présente dans le cube en fin d'essai ( $W_{33}$ ) est négativement corrélée à la hauteur de la plante, ce qui confirme que  $W_{33}$  n'est pas un indicateur des capacités de rétention du cube, mais résulte de l'évapotranspiration : il est probable que plus la plante est haute, plus sa surface évaporante est grande, donc plus le substrat se dessèche.

### b) Variabilité de la masse des plantes

Une analyse similaire est réalisée sur la masse des plantes (MSP). La variable CE est entrée dans l'analyse, car il est probable que la date de levée joue sur la biomasse à  $j_{33}$ .

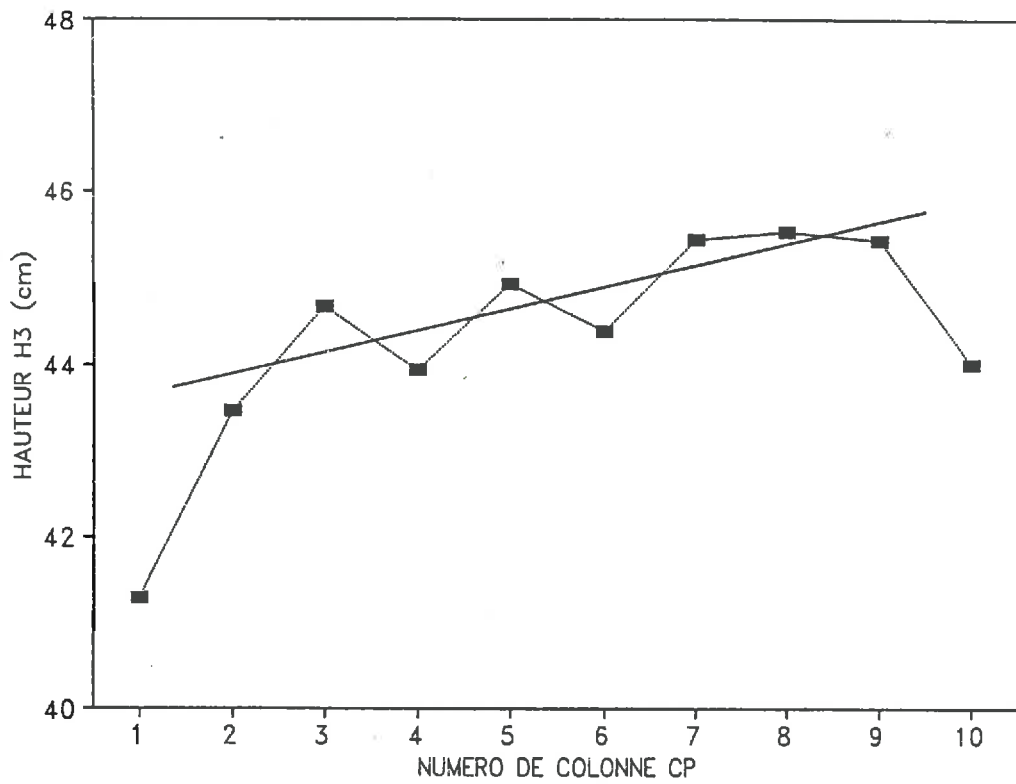
55% de la variabilité de MSP est expliquée (modèle 4, tableau 2.9), principalement par la date de levée (CE) et la hauteur des plantes voisines (HV). Mais la position de la plante dans le

---

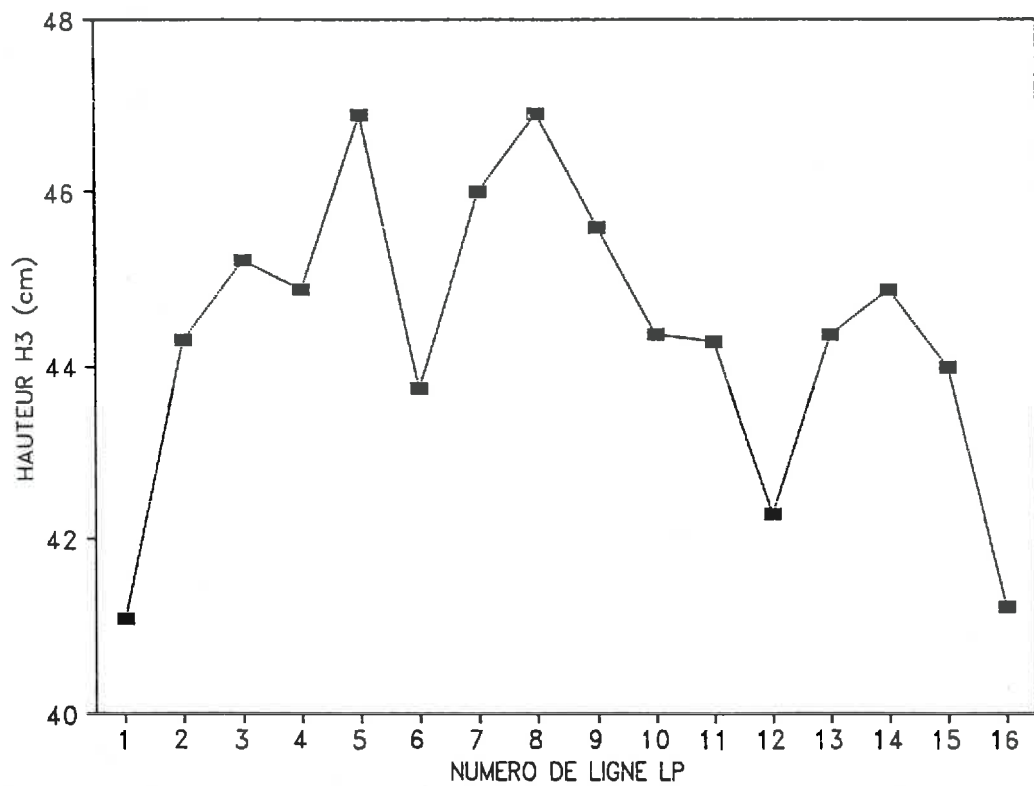
<sup>4</sup> Cependant, il est également possible que l'effet du facteur HV ne soit pas dû à un phénomène de compétition, mais au gradient de hauteur suivant l'axe des colonnes ; en effet, ce facteur est, comme H3, une variable de hauteur.

FIGURE 2.7 : EFFET DE LA POSITION DE LA PLANTE EN PEPINIERE SUR LA HAUTEUR DE LA TIGE

a) Effet du numéro de colonne



b) Effet du numéro de ligne



dispositif est également significative. La masse de la plante est d'autant plus faible :

- que CE est grand (donc que la période de croissance est courte) : un écart de +/- 2 jours à la levée a donc des conséquences importantes 33 jours plus tard.
- que les plantes voisines ont une hauteur élevée<sup>5</sup>.

L'introduction de deux indicateurs d'utilisation des facteurs du milieu, l'abondance racinaire AbR pour l'eau et les éléments minéraux, la longueur d'un foliole LFo6 pour le rayonnement, fait passer le coefficient de corrélation à 71% (modèle 5) : l'augmentation de LFo6 (donc probablement de surface foliaire) et la présence de nombreuses racines augmentent les capacités d'utilisation du milieu et donc la masse de la plante à j33.

Compte tenu des résultats précédents, l'hypothèse suivante peut être avancée. **Tant que la compétition entre individus est faible, les plantes les plus vigoureuses sont celles de hauteur et de masse plus élevées. Par la suite, les plantes vigoureuses se trouvent en position de domination, elles ont une action négative sur le poids des plantes voisines, mais positive sur leur hauteur, à cause de l'étiollement.**

L'indicateur de compétition HV présente cependant deux limites : en moyennant la hauteur des 4 plantes voisines, il masque les différences éventuelles entre plantes voisines, dont l'effet de compétition cumulé peut être différent d'une simple moyenne. De plus, il ne prend pas en compte la surface foliaire des plantes voisines, qui est le critère le plus pertinent pour évaluer le degré de compétition pour la lumière.

### 1.3 RECHERCHE D'INDICATEURS DE TRI OBJECTIFS ET NON DESTRUCTIFS

L'opération de tri des maraîchers, à la fin de chaque période (couche chauffante et pépinière), est basée sur l'évaluation approximative du volume des plantes à partir des dimensions d'organes (hauteur et diamètre de tige, longueur de feuilles...). **C'est pourquoi, nous recherchons des relations d'estimation de la biomasse aérienne à partir d'indicateurs non destructifs, qui pourraient permettre un tri objectif des plantes dans les expérimentations.**

#### *1.3.1 Estimation de la biomasse aérienne à j<sub>11</sub> (MS)*

Les variables entrées dans la régression sont : le poids de la semence, un stade de levée facilement observable (CE) et des variables de croissance en longueur (LH et LF1). La régression multiple progressive donne les résultats suivants, pour une probabilité d'admission et d'élimination de 5% :

$$MS = 50 + 0.516 * MFG - 0.404 * CE + 3.79 * LH \quad R^2 = 0.76 \quad N = 74$$

(MS et MFG exprimées en mg, LH en cm, CE en d°j)

Trois variables permettent d'expliquer 76% de la variabilité de biomasse. Les signes des différents termes sont en accord avec les résultats du paragraphe 1.1 : le poids sec des plantules est d'autant plus élevé que le poids de la semence et la longueur de l'hypocotyle sont élevés, et que le stade CE est atteint précocement.

<sup>5</sup> C'est la hauteur des plantes voisines à j<sub>28</sub> qui est la plus explicative, sans doute du fait de l'étiollement ultérieur.

### 1.3.2 Estimation de la biomasse aérienne à j<sub>33</sub> (MSP)

Les variables entrées dans la régression sont deux mesures de diamètre (DT5 et DTC), la hauteur de la tige avant étiolement (H1), le nombre de feuilles (NFT) et la longueur du foliole d'une feuille (Lfo6). A partir de ce petit nombre d'indicateurs non destructifs, on explique 79% de la variabilité du poids sec des plants à la plantation :

$$\text{MSP} = -3.12 + 0.178 \cdot \text{H1} + 0.395 \cdot \text{DT5} + 0.371 \cdot \text{DTC} + 0.148 \cdot \text{Lfo6} - 0.144 \cdot \text{NFT} \quad R^2 = 0.79 \quad N = 140$$

(MS en g, H1, DT5, DTC et Lfo6 en cm)

Ces résultats confirment qu'il est possible de réaliser un tri objectif à la plantation, en estimant la biomasse à j<sub>11</sub> et j<sub>33</sub> par des mesures non destructives. La méthode est relativement lourde : plusieurs variables sont nécessaires et il faut étalonner la relation à chaque fois. Les coefficients des régressions ne sont pas très élevés mais les résidus sont répartis aléatoirement.

De plus, ces résultats justifient la pratique de tri des maraîchers. Le jugement qu'ils portent sur les plantes, à partir de variables assez proches de celles mesurées dans cet essai (hauteur, diamètre, longueur de feuille...) permet de trier ces plantes grossièrement en fonction de leur biomasse aérienne.

## 1.4 DISCUSSION

Ces résultats confirment l'existence d'une variabilité intra-peuplement dès les premières étapes de la vie des plantes. Les différences entre plantes portent sur des critères comme le stade de développement, la hauteur et la biomasse aérienne. Aucune mesure de surface foliaire n'a été enregistrée. Cependant, l'étude bibliographique a montré, sur plusieurs espèces, que d'une part la longueur d'une feuille est un indicateur de la surface foliaire, et que d'autre part la masse surfacique est relativement constante pour un stade de culture et sous des conditions climatiques fixées. Les différences de longueur de foliole et de biomasse aérienne observées entre plantes indiquent donc très probablement une variabilité de la surface foliaire.

La validité et l'extrapolation des résultats repose sur l'hypothèse de leur relative stabilité vis à vis de la date de semis et de la surface semée.

En effet, dans cette expérimentation, le semis est très décalé par rapport à la période habituelle. De ce fait, la croissance est beaucoup plus rapide ; le stade "début floraison du premier bouquet" a été atteint en une trentaine de jours, contre environ 50 pour des semis hivernaux. La tomate est une espèce assez résistante à la température si le rapport entre rayonnement et température n'est pas trop perturbé. C'est probablement le cas puisque ces deux facteurs augmentent simultanément. Cependant, comme la période de croissance est plus courte, il est probable que les conditions climatiques au printemps ont atténué la variabilité, la croissance étant plus rapide et le rayonnement beaucoup plus élevé qu'en hiver. En revanche, la variabilité pourrait avoir été accentuée par le déficit hydrique, plus fréquent au printemps. La

**TABEAU 2.10 : LES FACTEURS DE VARIABILITE ET LEUR IMPORTANCE RESPECTIVE**

Les facteurs de variabilité de la masse de la plantule (MS, à j<sub>11</sub>) et de la masse et de la hauteur des plantes (MSP et H3, à j<sub>33</sub>) sont classés par ordre d'importance décroissante, tel qu'il apparaît dans l'essai.

Couche chauffante (j0 à j11) MS	Pépinière (j12 à j33) H, MSP
Date de levée (CE) +	Avant étiolement :
Colonne (CC) aléatoire	Longueur de l'hypocotyle (LH) +
Graine (MFG) +	Après étiolement :
Ligne (LC)	Colonne (CP) Bordure + Gradient Ligne (LP) Bordure
	Date de levée (Ce) +
	Compétition des plantes voisines Hauteur : + Masse : -
	Abondance de racines (AbR)
	Longueur de foliole (LFo6)
	H <sub>2</sub> O + Eléments minéraux ???

**date de semis a donc peut-être joué sur l'intensité de la variabilité et l'importance respective de chaque facteur.**

Du fait de la **surface réduite de l'essai**, la variabilité spatiale de la température et du rayonnement est probablement largement sous-estimée par rapport aux situations rencontrées chez les maraîchers. Le rapport entre le nombre de **graines semées simultanément**, dans l'essai et dans une exploitation, est de 1 à 10, voire 100. En particulier, il se pourrait que la température soit un facteur de variabilité, mais que son action n'ait pas été décelée à cause de la surface réduite de l'essai (en particulier en couche chauffante).

Sous réserve que les résultats soient extrapolables, **les facteurs de variabilité peuvent être classés, bien qu'approximativement, selon leur importance respective, qui évolue au cours du temps** (tableau 2.10). Ils peuvent être regroupés en deux composantes : **l'état initial de l'individu et le milieu** (notamment le micro-climat créé par les plantes voisines).

En couche chauffante, **le poids de la semence**, seule caractéristique d'état initial dont on dispose, semble peu jouer sur l'état de la plantule. L'essentiel de la variabilité en fin de première période provient de la date d'émergence (estimée par CE), dont les causes de variation n'ont pas été élucidées. **L'état de la plantule avant le repiquage** (variables CE et LH) joue fortement sur le poids sec et la hauteur des plantes, quasiment jusqu'à la fin de l'élevage en pépinière. Mais le poids de la semence n'a plus d'effet sensible en pépinière.

**La position de l'individu dans les dispositifs a un effet significatif** sur la quasi-totalité des variables mesurées. Le rayonnement semble être en partie à l'origine de ces effets (gradient suivant l'axe des colonnes, effet de bordure). Mais il existe aussi des fluctuations apparemment aléatoires entre lignes et entre colonnes, qui pourraient être dues aux conditions hydriques et nutritionnelles : celles-ci dépendent du substrat (bouchon ou cube) et de la pratique d'irrigation, et sont donc susceptibles de varier de façon aléatoire d'un individu à l'autre. Malgré la mauvaise caractérisation de l'état hydrique et nutritionnel, ce facteur semble avoir joué dans la deuxième période, contrairement à la première.

**La compétition entre plantes n'intervient pas en couche chauffante**, ce qui s'accorde bien à la dimension toujours réduite des individus par rapport à la surface dont ils disposent. Par contre, en pépinière, elle est la cause d'un étiolement en fin de culture, et elle a une action dépressive (bien que faible) sur le poids des plantes. Compte tenu du mode de culture (en pots individuels), c'est **la compétition pour la lumière** qui semble responsable, hypothèse corroborée par l'effet "colonne" cité précédemment, assimilé à un phénomène d'étiolement.

**Les interventions humaines n'ont pas été prises en compte**, faute de moyen pour les caractériser. Pourtant, **le repiquage et l'irrigation** sont probablement des facteurs de variabilité importants au cours de la deuxième période, le retournement de la plantule étant cause de stress, l'irrigation jouant sur les conditions hydriques et nutritionnelles.

**TABEAU 2.11 : RECAPITULATIF DES DONNEES UTILISEES POUR L'ESTIMATION DE L'APPAREIL FOLIAIRE PAR LE DIAMETRE DE LA TIGE**

Origine de données	Variable de sortie	Estimateur : Diamètre
<p><i>EchV/1</i> <i>EchT/1, EchT/2</i></p> <p>Relation à 2 stades : FLO5 et FLO9</p>	<p><i>Relation globale (1 valeur par plante)</i></p> <p>Masse foliaire totale (MSF) Surface foliaire totale (SF) Masse moyenne d'une feuille (MS1F) Surface moyenne d'une feuille (S1F)</p>	<p>Moyenne par plante (D)</p>
<p>Essais <i>Variabilité</i> <i>et Techniques</i></p> <p>Relation au cours des effeuillages successifs</p>	<p><i>Relation étage par étage (indice i)</i></p> <p>Masse moyenne d'une feuille par étage (MS1F<sub>i</sub>)</p>	<p>Moyenne par étage (D<sub>i</sub>)</p>
	<p><i>Relation globale (1 valeur par plante)</i></p> <p>Masse moyenne d'une feuille (MS1F)</p>	<p>Moyenne par plante (D)</p>



## 2. RECHERCHE D'UN INDICATEUR DE L'APPAREIL VEGETATIF

Compte tenu des résultats précédents, la variabilité du peuplement après la plantation porte probablement sur des différences de masse ou de surface foliaire entre individus. C'est pourquoi, nous recherchons un indicateur de l'appareil végétatif, non destructif et défini à l'échelle de l'individu, qui sera utilisé dans les essais où la masse foliaire n'a pas été enregistrée.

Nous avons vu que la "vigueur" des maraîchers semble assez bien corrélée au diamètre de la tige. De plus, la corrélation entre diamètre de tige et biomasse végétative a été montrée sur plusieurs espèces. C'est pourquoi, nous étudions si le diamètre de la tige peut servir d'indicateur de la masse sèche ou de la surface foliaire.

Les différentes analyses sont récapitulés dans le tableau 2.11. Les 4 types de plantes (No, Ro, N+, N-) sont distingués, pour déterminer si les relations diffèrent d'un type à l'autre.

### 2.1 RELATIONS A LA FLORAISON DES BOUQUETS 5 ET 9

L'analyse est faite sans distinguer les étages<sup>6</sup>, dont le nombre est trop faible (surtout à la floraison de B5).

Quelle que soit la variable analysée (masse ou surface, totale ou unitaire), la relation est de type linéaire mais très lâche (annexe 10b). Les coefficients de corrélation sont faibles ( $r$  de l'ordre de 0.7) mais positifs. Le régresseur (diamètre)<sup>2</sup>, utilisé sur maïs par Tardieu (1984), n'améliore pas la relation.

Bien que le nombre de répétitions soit faible, les plantes No et Ro semblent suivre la même relation, ce qui tendrait à montrer que le traitement "Retard de plantation" joue simultanément sur la tige et l'appareil foliaire. Le diamètre pourrait donc être un indicateur de l'appareil foliaire, quelle que soit l'origine des différences entre plantes.

### 2.2 RELATIONS AU COURS DES EFFEUILLAGES SUCCESSIFS

#### *2.2.1 Relation étage par étage*

Le diamètre et la masse foliaire évoluent d'un sympode à l'autre, le long de la plante. De plus, les maraîchers utilisent le diamètre comme un critère dynamique : ils notent l'évolution de vigueur au cours du temps en observant toujours la portion de tige en croissance. Ces deux faits justifient donc d'étudier la relation étage par étage.

Du fait du mode de récolte des feuilles, il est impossible de recueillir les feuilles étage par étage (le nombre de feuille éliminées à chaque passage varie de +/-1 d'une plante à l'autre). D'autre part, il arrive qu'une feuille soit involontairement cassée et non comptabilisée. C'est pourquoi, nous n'avons étudié que la masse moyenne d'une feuille sur deux étages (tableau 2.12). La corrélation avec le diamètre moyen de la tige sur ces deux étages n'est pas très bonne ( $R^2 = 0.64$ ), mais la pente de la régression est positive (figure 2.8). Le numéro de l'étage a un effet significatif sur la pente : une même variation de diamètre est associée à une plus forte variation de masse foliaire sur le haut de la plante (NE=4) que sur le bas (NE=1). Or, les feuilles sont recueillies approximativement au même stade pour tous les étages et le diamètre est mesuré après arrêt de croissance de l'étage. L'effet "Numéro de l'étage" ne provient donc pas de conditions de mesures différentes. Il semble au contraire indiquer une évolution de l'état végétatif au cours du temps.

<sup>6</sup> Rappel : nous appelons étage les feuilles comprises entre deux bouquets

**TABEAU 2.12 : RELATION ENTRE DIAMETRE DE LA TIGE ET MASSE D'UNE FEUILLE, ETAGE PAR ETAGE**

Disposition des étages :

N° de l'étage	N° des feuilles	Mesure de diamètre
1 : E1 + E2	F1 à F12	B2
2 : E3 + E4	F13 à F18	B4
3 : E5 + E6	F19 à F24	B6
4 : E7 + E8	F25 à F30	B8

Analyse de covariance de la masse d'une feuille (MS1F)

Facteur Numéro de l'étage : NE = 1..4 ; Covariable : Diamètre D

Source de variation	proba (%)	S	SC%
D	0.00	***	19.0
D.NE	0.00	***	43.0
NE	7.27	*	2.4

Variance expliquée par le modèle :  $R^2 = 0.64$ , N = 115

Equation de régression (D en mm ; MS1F en g) :

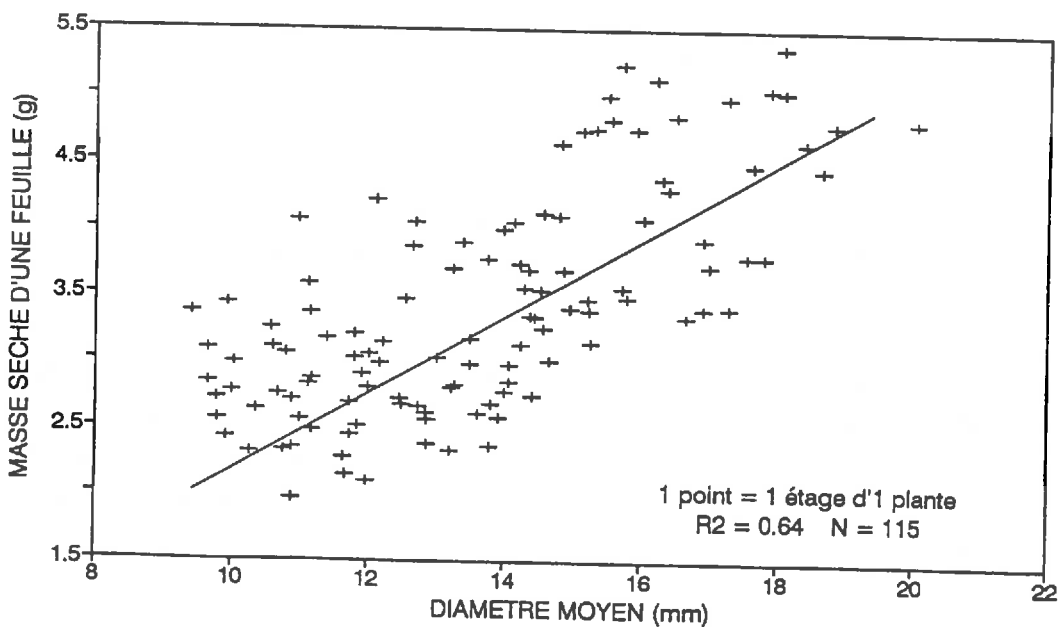
NE = 1 :  $MS1F = 0.572 + 0.145 * D$

NE = 2 :  $MS1F = 0.346 + 0.225 * D$

NE = 3 :  $MS1F = -1.453 + 0.367 * D$

NE = 4 :  $MS1F = -1.356 + 0.384 * D$

**FIGURE 2.8 : DROITE DE REGRESSION ENTRE MS1F ET D**



L'existence d'une relation étage par étage suppose que les différents sympodes fonctionnent de manière indépendante, et qu'il n'y a pas de transfert d'assimilats d'un sympode à l'autre : c'est la surface foliaire d'un sympode qui détermine la quantité de matière sèche qu'il produit, donc le diamètre sur la portion de tige correspondante. Or la synthèse bibliographique a montré qu'il existe deux hypothèses (H1: indépendance totale de chaque sympode ; H2: redistribution totale des assimilats entre sympodes), aucune ne pouvant actuellement être écartée. Il semble cependant que les assimilats produits par une feuille soient alloués plutôt aux puits les plus proches (bouquets adjacents...). Mais simultanément, les organes végétatifs en croissance (apex et jeunes feuilles) et souterrains (racines) utilisent des assimilats produits par différents sympodes, ce qui pourrait perturber la corrélation. Il est possible que ce phénomène participe à l'effet "Numéro de l'étage" mis en évidence précédemment.

C'est pourquoi, nous étudions maintenant la relation globale à l'échelle de la plante.

### 2.2.2 Relation à l'échelle de la plante

Les données des essais *Variabilité* et *Techniques* sont rassemblés dans une même analyse, ce qui permet de tester l'effet du climat (deux années climatiques) et de l'origine des plantes (N-, No, N+, Ro).

La relation est linéaire et positive ( $R^2 = 0.74$ , tableau 2.13). Les différents types de plantes suivent la même relation. Ce résultat (qui va dans le même sens que celui du paragraphe 2.1) confirme le caractère très général de l'indicateur diamètre. L'effet Essai est significatif, ce qui pourrait traduire un effet du milieu (vraisemblablement le rayonnement, principal facteur de variabilité inter-années sous serre).

L'amélioration de  $R^2$  par rapport à la relation étage par étage (passage de 0.64 à 0.74) est difficile à analyser. Elle pourrait provenir de l'existence de transfert d'assimilats entre sympodes et corroborer l'hypothèse H2. Cependant, la nature des données a changé et les conséquences sur  $R^2$  sont difficiles à prévoir : en sommant les données sur plusieurs étages, l'erreur de mesure sur le diamètre est diminuée, mais simultanément, le nombre de points de la régression décroît.

### 2.3 DISCUSSION SUR LA VALEUR DE L'INDICATEUR DIAMETRE

Les régressions ci-dessus sont moyennement précises, mais le coefficient de détermination  $R^2$ , de l'ordre de 0.7, se situe dans la fourchette de la bibliographie, qui varie de 0.44 sur luzerne (Sebillotte, 1964) à 0.95-0.99 sur maïs (Tardieu, 1984). Dans ce dernier cas, il semble que ce soit l'association  $(\text{diamètre})^2 \cdot \text{hauteur de la plante}$  qui explique le  $R^2$  élevé. Dans l'essai *Elevage*, le  $R^2$  entre la biomasse aérienne et le diamètre est de l'ordre de 0.5.

Une partie de l'imprécision de la relation pourrait provenir des mesures : le diamètre d'un sympode évolue à la fois dans un plan vertical (le long de la tige) et dans un plan horizontal (suivant l'orientation de la mesure par rapport au pétiole). Bien que le protocole de mesure soit normalisé le plus possible, il existe des fluctuations de l'ordre de +/-1mm, d'où l'intérêt d'une moyenne sur plusieurs sympodes. Plus la taille de l'échantillon est faible, plus l'imprécision des mesures est sensible (Cf relations à la floraison des bouquets 5 et 9).

Malgré les imprécisions, la pertinence de l'indicateur diamètre pour estimer la biomasse

**TABLEAU 2.13 : RELATION ENTRE DIAMETRE DE LA TIGE ET MASSE D'UNE FEUILLE  
A L'ECHELLE DE LA PLANTE**

**Analyse de covariance de la masse d'une feuille (MS1F)**  
 Facteur "Essai" : E = 1..2 (*Variabilité, Techniques*)  
 Facteur "Type de plante" : T = 1..4 (No ; Ro ; N+ ; N-)  
 Covariable "Diamètre" : D

Source de Variation	proba (%)	S	SC%
D	0.00	***	63.7
E.D	0.06	***	7.1
T.D	17.82		0.4
E	23.81		0.0
T	12.82		2.8
Variance expliquée par le modèle $R^2 = 0.74$ N = 63			

**Equations de régression du sous-modèle (D en mm ; MS1F en gr):**  
 Essai *Techniques* (1990) :  $MS1F = -0.685 + 0.282 * D$   
 Essai *Variabilité* (1991) :  $MS1F = -0.685 + 0.265 * D$

a été démontrée sur plusieurs espèces et dans différentes conditions de milieu, notamment dans nos essais (climat, type de plantes...), il est donc robuste.

Cela nous autorise à l'utiliser dans les différents essais, même dans ceux où la relation n'a pas été vérifiée sur un échantillon de plantes. Cependant, comme le souligne Tardieu (1984), les paramètres du modèle et la précision ( $R^2$ ) varient entre années, dates et situations écologiques. Sur les essais où la relation n'a pas été calibrée, il sera donc impossible de quantifier la masse foliaire. Par contre, à l'intérieur d'un peuplement, il sera possible de "reconnaître", a posteriori, les différences d'état végétatif entre plantes, quelle que soit l'origine de la variabilité (donc leur type), et de les classer les unes par rapport aux autres.

La masse foliaire est le produit de la masse moyenne d'une feuille et du nombre de feuilles. Si celui-ci diffère fortement entre plantes, il sera nécessaire d'en tenir compte. Sinon, nous considérerons la masse unitaire des feuilles comme le principal facteur de variation de l'appareil végétatif à l'intérieur d'un peuplement.

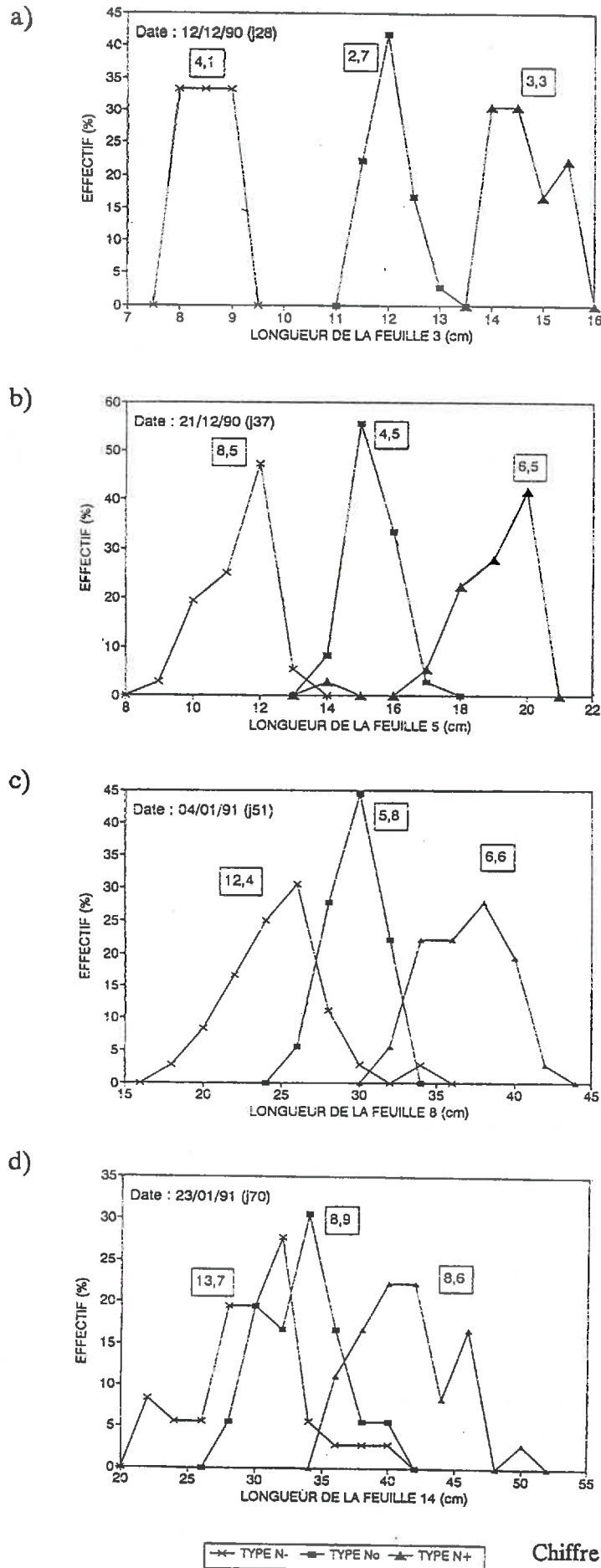
Le coefficient de passage entre la masse et la surface foliaires, la masse surfacique, dépend principalement des conditions du milieu (rayonnement, température, teneur en  $CO_2$ ) et de la position de la mesure, dans le cycle cultural et sur la plante. Ces facteurs interviennent de façon similaire sur toutes les plantes. Or, c'est bien la comparaison entre plantes et non la surface foliaire dans l'absolu qui nous intéresse. La bibliographie ne semble pas faire état d'une variabilité de la masse surfacique entre les plantes d'un même peuplement. Sur tomate, il semble qu'elle varie peu à l'intérieur du peuplement (annexe 11), ainsi que d'un type à l'autre. Sur un de nos essais, la masse surfacique mesurée sur 2 échantillons de 5 plantes n'est pas significativement différente entre les types No et Ro (moyennes respectives de  $3,45 \cdot 10^{-3}$  et  $3,32 \cdot 10^{-3}$   $gr/cm^2$ ). En l'absence d'autres informations, nous considérerons comme valide l'hypothèse que le classement des plantes suivant la masse foliaire (en particulier entre No et Ro) est identique au classement suivant la surface foliaire, bien que cela reste à démontrer.

Plus généralement, ces essais posent la question de l'estimation de l'indice foliaire d'une culture de tomate sous serre. Nous avons déjà signalé que la surface foliaire évolue d'une semaine à l'autre, à cause de l'apparition de nouvelles feuilles et de l'effeuillage, alors qu'il apparaît sans cesse de nouveaux fruits. Ceci complique fortement l'interprétation des résultats à l'échelle de la plante, à plus forte raison des mesures de diamètre. Par contre, dans l'hypothèse d'une compartimentation même partielle de la plante en sympodes, le diamètre d'un étage pourrait caractériser l'énergie incidente captée par le sympode et donc permettre une confrontation avec la production du bouquet.

La démarche adoptée dans l'étude de la vigueur peut donc être récapitulée en 3 points :

1. L'analyse du discours des maraîchers montre que, d'une part la vigueur est un outil subjectif, mais qui détermine des actions sur les plantes, et que d'autre part le diamètre de la tige est un critère important dans sa définition.
2. L'expérimentation confirme que le diamètre est un indicateur de la biomasse végétative, il peut donc être retenu comme élément d'objectivation de la vigueur, pour une approche scientifique de la conduite plante à plante.
3. Il n'est cependant pas parfait ; son amélioration repose sur une nouvelle analyse de la vigueur et de la bibliographie pour proposer des indicateurs complémentaires, qui devront

FIGURE 2.9 : EVOLUTION DE LA VARIABILITE INTRA-TYPE AU COURS DU TEMPS



Effectif : 36 plantes par lot  
 Chiffre encadré : coefficient de variation

**TABEAU 2.14 : CARACTERISATION PRECOCE DES TYPES No, N+ ET N- PAR UN SUIVI DE CROISSANCE**

**Analyse de variance à 3 facteurs:**

Position de la parcelle X = 1..3 ; Y = 1..6

Traitement T = 1..5 : T1No, T1N+, T1N-, T2N+, T2N-

**Hypothèse : Les types No et Ro peuvent être regroupés en un seul traitement.**

En effet, il faut un certain temps après la création des traitements pour que l'effet du retard de plantation soit sensible. Comme les mesures de longueur de feuille ont eu lieu au maximum 13 jours après et qu'aucune différence entre No et Ro n'est constatée sur ces mesures, cette hypothèse est justifiée. Cette hypothèse permet de passer outre au plan expérimental (deux carrés latins juxtaposés), car avec une répétition du traitement No dans le deuxième carré latin, le dispositif devient relativement équilibré.

**a) Probabilités des facteurs étudiés et somme des carrés des écarts**

Variable	X	Y	T	SC Total
Longueur de la feuille 3 (LF3)				
proba	ns	ns	***	
SC%	0.0	0.0	99.6	99.7
Longueur de la feuille 5 (LF5)				
proba	ns	**	***	
SC%	0.4	2.0	96.5	98.9
Longueur de la feuille 8 (LF8)				
proba	ns	***	***	
SC%	0.8	14.2	82.0	96.9
Longueur de la feuille 8 à maturité (LF8f)				
proba	ns	ns	**	
SC%	7.1	22.9	44.2	74.2
Longueur de la feuille 14 (LF14)				
proba	*	***	***	
SC%	0.0	27.3	65.9	93.2
Poids sec de bourgeons (MSBG)				
proba	ns	***	***	
SC%	1.7	18.4	75.1	95.2

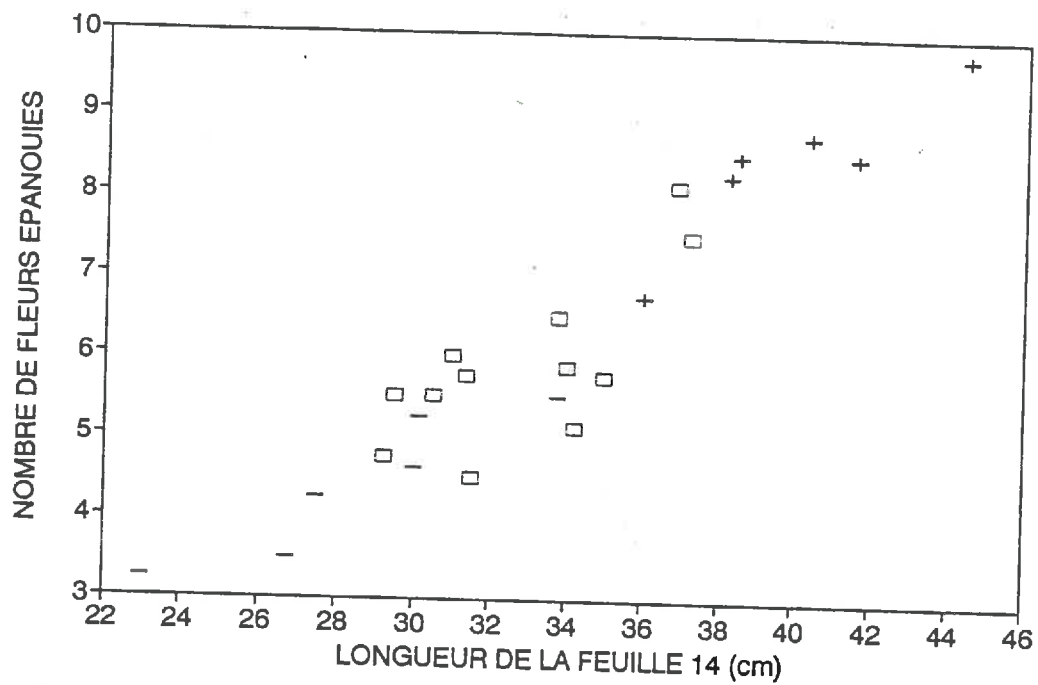
**b) Moyennes par traitement, après correction des effets X et Y**

Variable	T1N-	T2N-	T1No	T1N+	T2N+
LF3 (cm)	8.4 a	8.3 a	11.9 b	14.6 c	14.3 c
LF5 (cm)	10.7 a	10.7 a	15.1 b	18.6 c	18.0 c
LF8 (cm)	24.1 a	23.2 a	30.2 b	36.0 c	35.8 c
LF8f (cm)	52.6 b	51.2 a	50.7 a	53.5 b	52.4 b
LF14 (cm)	29.2 a	27.8 a	33.9 b	40.1 c	39.7 c
MSBG (mg)	0.13 a	0.13 a	0.28 b	0.69 c	0.53 c

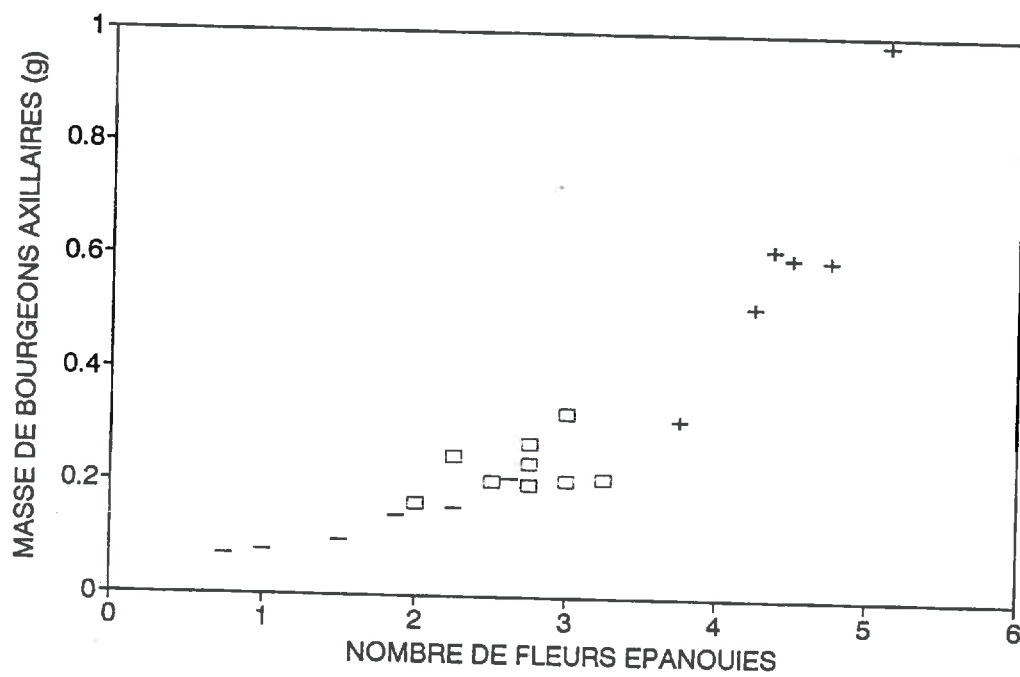
Les traitements suivis de la même lettre ne sont pas significativement différents (Test Newman-Keuls, 5%).

FIGURE 2.10 : CARACTERISATION DES TYPES PAR DES VARIABLES DE CROISSANCE ET DE DEVELOPPEMENT

a) Croissance et développement à j70



b) Croissance et développement à j62



- TYPE N-    □ TYPE No/Ro    + TYPE N+



ensuite être testés par expérimentation. Cette troisième étape, non traitée dans la thèse, montre bien l'aller-retour qui doit s'instaurer entre enquêtes et expérimentation.

Dans l'état actuel, et compte tenu de nos objectifs, nous conserverons comme **indicateur de l'état végétatif de la plante la masse des feuilles recueillies au cours de l'effeuillage quand elle a été mesurée, et le diamètre de la tige dans les autres cas.**

### 3. ETUDE DE LA VARIABILITE INTRA-PEUPEMENT EN SERRE

Dans le chapitre 1, nous avons montré l'installation progressive de la variabilité au cours de la phase d'élevage. Nous allons maintenant étudier comment elle évolue après la plantation et quel sont ses effets sur la production du peuplement. Cette étude s'appuie sur les deux dispositifs Eo et Plantation, dans lesquels les types de plantes proviennent respectivement :

- de la variabilité en sortie de pépinière (longueur de la feuille 3 ; types N-, No et N+),
- de la variabilité créée par le stade de plantation (types No et Ro).

Après avoir caractérisé ces types en début de culture, nous étudions leur devenir en peuplement Homogène, puis en peuplement Hétérogène.

#### 3.1 ETUDE DU DISPOSITIF Eo

Cette étude porte uniquement sur l'essai *Variabilité*.

##### *3.1.1 Caractérisation des types N-, No et N+ au début de la période de culture*

Rappelons que le critère utilisé dans la typologie est la longueur de la feuille 3 (figure 2.9a). Les différences initiales se perpétuent dans les semaines suivantes, comme le montre la longueur des feuilles 5, 8 et 14 (figures 2.9b, c et d) : en moyenne, les types N+, No et N- dans cet ordre ont des feuilles de longueur décroissante. Mais la variabilité à l'intérieur de chaque type s'accroît au cours du temps : les histogrammes, qui étaient au départ bien distincts, se chevauchent de plus en plus.

Pour tester si les différences entre types sont significatives, nous sommes conduits à faire une hypothèse forte dans l'analyse de variance (tableau 2.14), pour prendre en compte la position de chaque parcelle dans la serre (covariables X et Y, Cf annexe 7b).

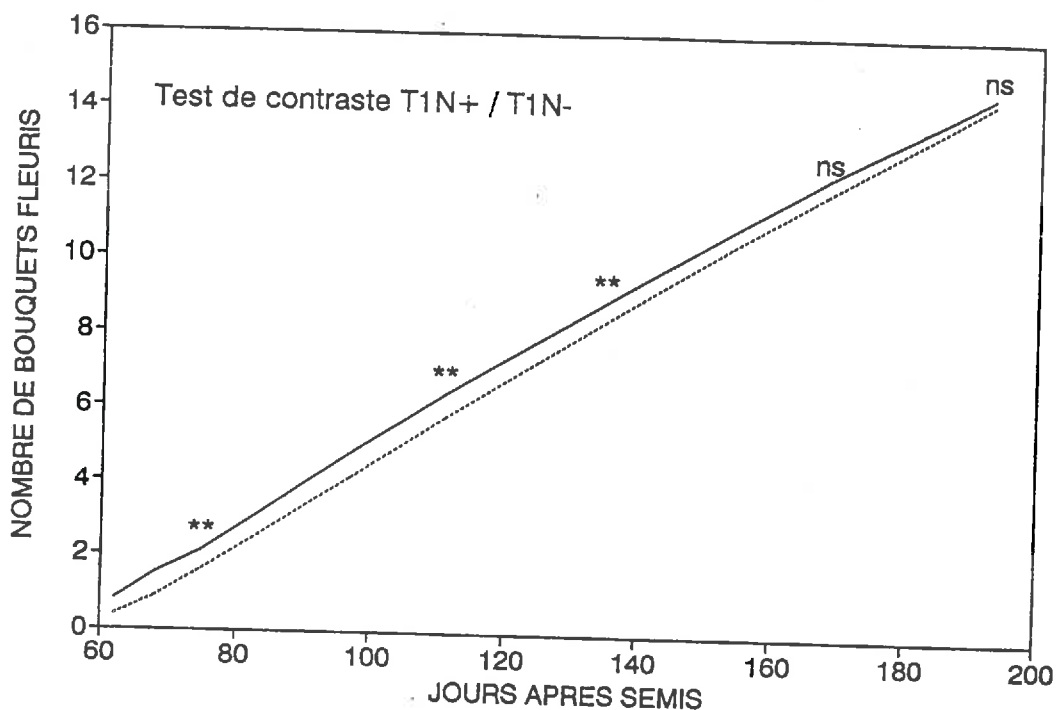
Sur les variables de longueur de feuilles en croissance (LF5, LF8, LF14), les types N-, No et N+ sont significativement différents quelle que soit la date de mesure. Par contre, qu'ils soient placés dans un peuplement homogène (T1) ou hétérogène (T2) n'a aucun effet à ce stade. Compte tenu de la longueur des feuilles et de la distance entre plantes, il y a pourtant chevauchement des feuilles entre les plantes voisines d'un même rang. Mais si la compétition entre plantes a débuté, elle n'a pas d'effet, à ce stade, sur les variables enregistrées.

Sur la seule mesure de longueur de feuille à maturité dont on dispose (LF8f), le facteur étudié est significatif, mais la position relative des différents traitements (en particulier la valeur élevée du traitement T1N-) n'est pas clairement expliquée.

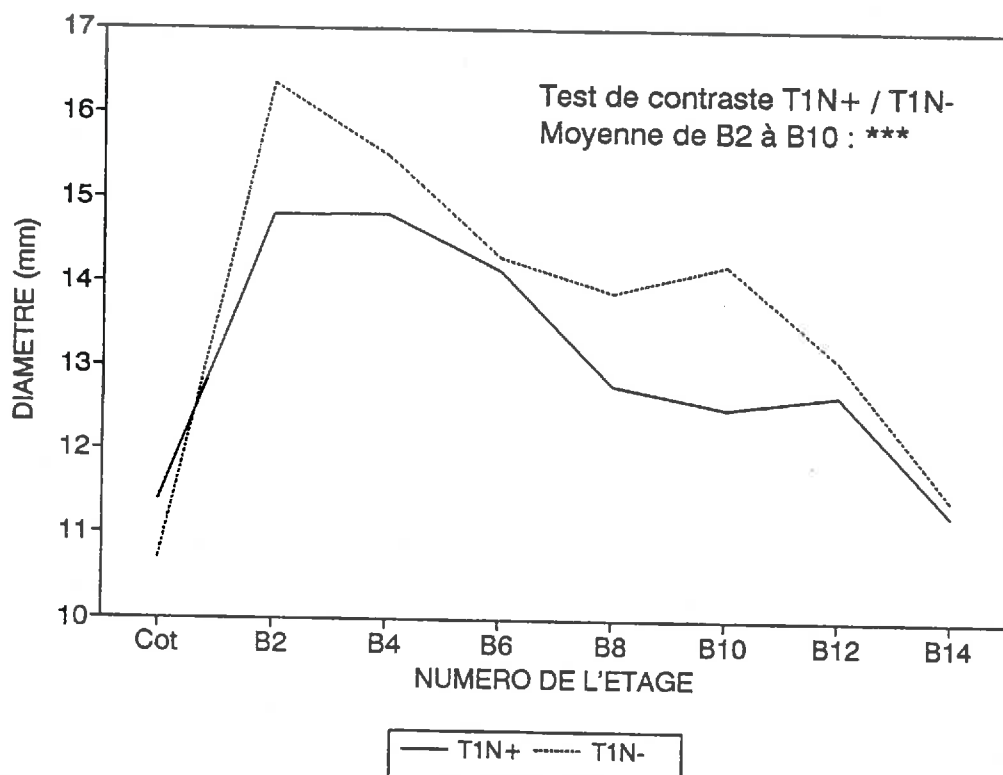
A ce stade précoce, Morisot & Ballino (1987) ont montré que la longueur d'une feuille en croissance est un indicateur de la surface foliaire. Le type N+ a donc probablement la surface

FIGURE 2.11 : EVOLUTION AU COURS DU TEMPS DES STADES DE DEVELOPPEMENT ET DE L'APPAREIL VEGETATIF DES TYPES N+ ET N- EN PEUPELEMENTS HOMOGENES

a) Vitesse de floraison



b) Diamètre de la tige



**foliaire la plus élevée, le type N- la plus faible.**

La prise en compte de la position de la parcelle dans la serre augmente la précision de l'analyse, et ce d'autant plus que les plantes sont soumises pendant longtemps au climat de la serre : à peine 2% de la variabilité de longueur de la feuille 5 est expliquée par X et Y, contre 27% pour la longueur de la feuille 14. Ces résultats justifient les plans d'expérience choisis et permettent une première caractérisation de l'hétérogénéité spatiale du milieu : **l'axe Y, parallèle à l'axe de la serre, est la principale source de variabilité climatique en début de culture.** La variabilité résiduelle est faible ; le chevauchement des histogrammes sur la figure 2.9 trouve donc son origine dans l'hétérogénéité climatique.

A une date donnée, il y a une bonne corrélation entre la longueur d'une feuille et le nombre de fleurs épanouies (figure 2.10a). **Il est donc très probable que les différences entre types sont des différences de stade de développement.** Les types se distinguent également par la masse de bourgeons axillaires produits à une date donnée (figure 2.10b).

On retiendra donc que les plantes N-, No et N+ se distinguent par la longueur de feuilles en croissance (N+, No et N- étant classés par ordre décroissant), et donc probablement de surface foliaire. Mais il n'est pas possible de dire, à l'issue de cette analyse, si ces différences sont seulement liées à la vitesse de développement, ou également à la croissance potentielle (surface d'une feuille à maturité).

### 3.1.2 Caractérisation des types N-, No et N+ en cours de culture, en peuplement Homogène

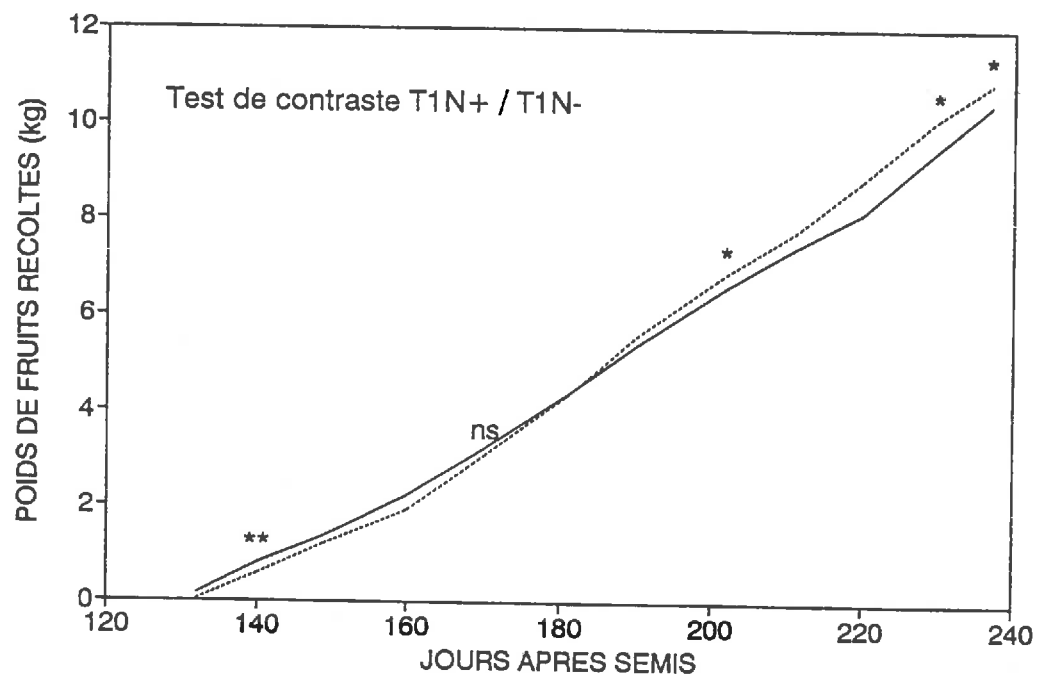
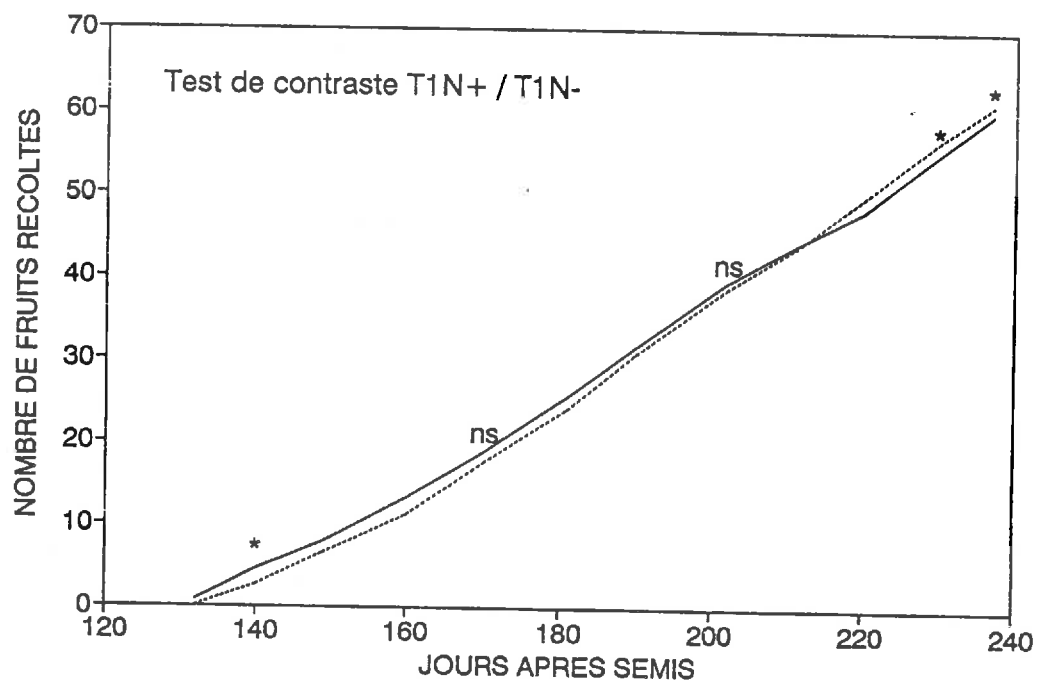
L'objectif de ce paragraphe est d'analyser comment les types caractérisés précédemment évoluent en cours de culture, en peuplement Homogène (T1). Nous étudions donc l'interaction entre l'état Eo et une disposition particulière des plantes, le peuplement Homogène. C'est par abus de langage que nous parlerons seulement d'"effet Eo" (de la même façon que les chercheurs parlent d'effet variété, dose d'engrais...), mais en gardant à l'esprit qu'à cause des relations de compétition entre individus, le comportement de chaque type est fortement contingent de la structure du peuplement.

Du fait du dispositif de l'essai *Variabilité*, on ne peut comparer statistiquement que les traitements T1N+ et T1N-, dans le deuxième carré latin (Analyse de variance : annexe 12a).

La vitesse de floraison est une fonction linéaire du temps exprimé en jours (figure 2.11a). Sur de nombreuses espèces, il est montré que la vitesse de développement est linéaire en fonction de la somme de degrés-jours. Ici, la linéarité avec le temps exprimé en jours s'explique par la relative constance de la température dans la serre jusqu'aux environs du mois de mai (soit environ j<sub>180</sub> pour cette culture) : tant que la température extérieure est inférieure à 17°C, le chauffage et l'ouverture des ouvrants permettent de maintenir la température optimale dans la serre (18,5°C pour cette variété) (annexe 7a).

La différence de stade de développement entre les plantes N+ et N- que l'on a constaté en début de culture se perpétue ; l'écart est stable tout au long de la culture (de l'ordre de 5 jours), et significatif jusqu'en avril (j<sub>135</sub>). Les plantes N+ et N- en peuplement Homogène

FIGURE 2.12 : ELABORATION DU RENDEMENT DES TYPES N+ ET N- EN PEUPELEMENTS HOMOGENES



— T1N+    - - - T1N-

différent donc par leur stade de développement au moment de la disposition en serre (ordonnée à l'origine), mais pas par leur vitesse de développement (pente).

En l'absence de mesure directe de l'appareil végétatif, on utilise le diamètre de la tige comme indicateur de la masse sèche foliaire. Sur les deux traitements, le diamètre est maximum aux alentours du deuxième bouquet, puis décroît plus ou moins régulièrement sur les bouquets suivants (figure 2.11b). Comme la mesure a lieu sur chaque bouquet après arrêt de croissance du sympode correspondant, l'évolution de diamètre le long de la plante n'est pas due à l'âge respectif des différents sympodes, mais à l'évolution de la croissance au cours du cycle.

A partir du bouquet B2, le diamètre des plantes N- est très significativement supérieur à celui des plantes N+. Ceci est contraire à notre objectif, puisque nous avons fait l'hypothèse qu'une plante précoce aurait un appareil végétatif supérieur à celui d'une plante tardive. Cette hypothèse se vérifie cependant en début de culture : les plantes N+, plus précoces (longueur de feuilles supérieure) ont un diamètre vraisemblablement supérieur juste après la disposition en serre (tableau 2.8, corrélation positive entre longueur de foliole et diamètre). D'ailleurs, la première mesure dont on dispose (au niveau des cotylédons) confirme une supériorité des plantes N+.

Le rendement est analysé à partir des composantes nombre et poids moyen des fruits.

On observe sur les deux traitements une augmentation quasi-linéaire au cours du temps du nombre de fruits récoltés et de la production (figure 2.12), en moyenne 1 kg par plante et par décade, ce qui est une caractéristique des variétés indéterminées : la linéarité de la vitesse de floraison fait que les bouquets successifs arrivent à maturité très régulièrement.

Le nombre de fruits récoltés est supérieur sur les plantes N+ jusqu'à la fin mai (j<sub>202</sub>), mais significatif seulement en début de récolte. Au delà, le phénomène s'inverse (l'écart est significatif en fin de culture). Le comportement dans la première période s'explique par le stade de développement plus avancé des plantes N+ : le nombre de bouquets noués à la date  $t$ , puis récoltés à la date  $t'$  est supérieur. Si l'on admet que la durée entre floraison et maturation est peu variable (environ 60 jours), les bouquets récoltés après la mi-mai (j<sub>180</sub>) ont noué à un moment où les plantes N+ étaient encore à un stade de développement plus avancé. Ce résultat pourrait provenir du taux de nouaison plus faible sur les plantes N+ (bien que la différence ne soit pas significative).

Les plantes N+ ont une production cumulée supérieure aux plantes N- jusqu'à la fin avril. Elle est ensuite inférieure, à cause d'une diminution simultanée du nombre et du poids moyen des fruits. La différence n'est significative que dans les 15 premiers jours de récolte.

Pour positionner le type No par rapport à N+ et N-, nous avons cherché à comparer les parcelles T1N+, T1No et T1N-, sur deux doubles-rangs de la serre (A et C) où elle sont peu éloignées les unes des autres (bien qu'appartenant à des carrés latins différents). Cependant, les différences entre T1No et les deux autres traitements sont trop faibles et trop variables en fonction de la position dans la serre pour pouvoir en tirer des conclusions.

**TABLEAU 2.15 : COMPORTEMENT DES TYPES N+ ET N- EN PEUPELEMENTS  
HOMOGENE (T1) ET HETEROGENE (T2)**

**Données :** Essai *Variabilité*

**Méthode :** Analyse de variance dans le carré latin 1. Analyse du dispositif en blocs

**Facteurs étudiés :**

Traitement T = 1..5 (T1No ; T2N+ ; T2N- ; T3No ; T3Ro)

Variable	Moyennes par traitement						Contr. T2N+ T2N-
	T1N+ CL2	T2N+ CL1	$\delta+$ (%)	T1N- CL2	T2N- CL1	$\delta-$ (%)	
<b>Nb bqts fleuris à</b>							
j <sub>75</sub> (fin Janvier)	2.1	1.9	-10	1.6	1.3	-19	***
j <sub>111</sub> (fin Février)	6.4	5.8	-10	5.8	5.3	-9	***
j <sub>135</sub> (fin Mars)	8.9	8.4	-6	8.4	7.9	-6	**
j <sub>168</sub> (fin Avril)	12.2	11.8	-3	11.8	11.5	-3	*
j <sub>193</sub> (fin Mai)	14.3	14.1	-1	14.0	13.8	-1	
<b>Diamètre Dn (mm)</b>							
Moyenne B2 à B10	13.8	14.1	+2	14.8	14.3	-3	
<b>Masse d'1 feuille (g)</b>							
Moyenne E1 à E7	-	3.14	-	-	3.16	-	
<b>Nb fruits NFR(t)</b>							
j <sub>140</sub> (fin Mars)	4.5	3.4	-24	2.7	1.3	-52	***
j <sub>170</sub> (fin Avril)	18.8	18.6	-1	17.6	14.0	-21	***
j <sub>202</sub> (fin Mai)	39.4	38.8	-1	38.7	35.1	-9	***
j <sub>230</sub> (fin Juin)	55.2	55.4	0	56.8	50.9	-10	**
j <sub>237</sub> (fin cult.)	60.1	60.6	+1	61.1	55.6	-9	**
<b>Rendement RDT(t) (kg)</b>							
j <sub>140</sub> (fin Mars)	0.80	0.63	-21	0.58	0.30	-48	***
j <sub>170</sub> (fin Avril)	3.23	3.30	+2	3.07	2.63	-14	***
j <sub>202</sub> (fin Mai)	6.60	6.87	+4	6.87	6.43	-6	
j <sub>230</sub> (fin Juin)	9.51	10.00	+5	10.14	9.27	-9	*
j <sub>237</sub> (fin cult.)	10.44	11.00	+5	10.89	10.03	-8	*
<b>Poids d'un fruit P1F</b>							
j <sub>237</sub> (fin culture)	174	182	+5	178	180	+1	

$$\delta+ = 100 * (T2N+ - T1N+) / T1N+$$

$$\delta- = 100 * (T2N- - T1N-) / T1N-$$

En peuplement Homogène, les différences initiales entre types ont des conséquences pendant toute la durée de la culture. Les plantes N+ sont plus précoces que les plantes N-, et momentanément plus productives. Par la suite, leur diamètre est inférieur à celui des plantes N-, il en est de même du rendement.

### 3.1.3 Effet de la variabilité intra-peuplement sur l'appareil végétatif et le rendement

Puisque les types N+ et N- sont différents, on a bien créé une variabilité à l'intérieur du peuplement T2 où les plantes N+ et N- sont disposés en alternance. L'étude de la variabilité est faite en deux temps :

Q1 : Quelle est, dans la production d'une plante, la part respective de ses caractéristiques initiales (définies par le type de plante) et de la structure du peuplement ?

Q2 : Quel est l'effet de la variabilité sur la production du peuplement ?

Pour la question Q1, on compare le comportement de chaque type en peuplements Homogène (entouré de plantes du même type) et Hétérogène (entouré de plantes de l'autre type), donc T1N+ et T2N+ d'une part, T1N- et T2N- d'autre part.

La question Q2 est étudiée par comparaison d'une plante moyenne<sup>7</sup> des peuplements Homogène (T1) et Hétérogène (T2).

#### a) Effet de la variabilité sur les individus de chaque type

Comme les traitements T1 et T2 appartiennent respectivement aux carrés latins CL2 et CL1, la comparaison de T2N+ et T1N+ d'une part, de T2N- et T1N- de l'autre, ne pourra être confirmée par une analyse statistique. Les données sont traitées par enquête, à partir de notre connaissance du climat de la serre et de ses conséquences sur les plantes (tableau 2.15).

En effet, la confrontation des différents essais nous permet d'affirmer que :

- En fond de serre, où est situé CL2, la température est plus élevée (en moyenne de 0.5°C) qu'à l'entrée (CL1), et supérieure à la température souhaitée par le serriste ; par contre, le rayonnement est identique pour les deux carrés latins (annexe 7b).
- Cela se traduit par une réduction de l'appareil végétatif et du rendement dans CL2.

Comme en peuplement Homogène, le type N+ en peuplement Hétérogène a un diamètre de tige plus faible que le type N-, mais l'écart entre T2N- et T2N+ est beaucoup plus faible, et non significatif. Le passage d'un peuplement Homogène à un peuplement Hétérogène augmente le diamètre des plantes N+, mais réduit celui des plantes N-. Or, les peuplements Homogènes se trouvent en fond de serre (CL2), où l'on constate une réduction de croissance. Si les traitements T1 et T2 avaient le même comportement, T1N- situé en fond de serre devrait avoir un diamètre inférieur à T2N-, ce qui est contredit par les données expérimentales. Ce résultat traduit donc probablement l'effet de la compétition intra-peuplement sur les plantes d'un type donné.

La masse sèche foliaire a été enregistrée seulement sur le peuplement Hétérogène. Comme pour le diamètre de la tige, le comportement relatif des types N+ et N- évolue au cours du temps (non illustré ici) : sur les premiers sympodes, la masse moyenne d'une feuille de T2N+ est significativement supérieure à celle de T2N-, mais c'est le contraire ensuite. Sur

<sup>7</sup> Dans le cas du traitement T2, il s'agit de la moyenne des plantes T2N+ et T2N-.

**TABLEAU 2.16 : COMPARAISON DES PEUPEMENTS T1 ET T2**

**Données :** Essai *Variabilité*

**Méthode :** Analyse de variance ; dispositif en carré latin

**Facteur étudié :**

Traitement T= 1..3 : T1 ; T2 ; T3

Résultats de l'analyse de variance : Annexe 12b

Variable	Moyennes	
	T1	T2
<b>Diamètre de tige Dn (mm)</b> Moyenne B2 à B10	14.4	14.2
<b>Masse d'1 feuille MS1F (g)</b> Moyenne E1 à E7	3.17	3.11
<b>Nb fruits NFR(t)</b>		
j <sub>140</sub> (fin mars)	2.3	2.3
j <sub>170</sub> (fin avril)	16.6	16.3
j <sub>202</sub> (fin mai)	38.0	37.0
j <sub>237</sub> (fin cult.)	59.4	58.1
<b>Rendement RDT(t) (kg)</b>		
j <sub>140</sub> (fin mars)	0.48	0.46
j <sub>170</sub> (fin avril)	3.08	2.96
j <sub>202</sub> (fin mai)	6.90	6.65
j <sub>237</sub> (fin cult.)	10.42	10.52

La probabilité du facteur Traitement est toujours très supérieure à 10%



l'ensemble de la plante, il n'y a pas de différence entre T2N+ et T2N- (tableau 2.15). Comme le nombre de feuilles par sympode est identique, **les plantes N+ et N- en peuplement Hétérogène ont donc, en moyenne, la même masse foliaire sur l'ensemble du cycle, mais une répartition différente suivant les sympodes.**

Comme en peuplement Homogène, mais de façon plus accentuée, **le nombre de fruits récoltés sur les plantes N+ en peuplement Hétérogène est supérieur à celui des plantes N-** ; la différence est très significative jusqu'à la fin de la culture (tableau 2.15). C'est la vitesse de floraison (donc de maturation des bouquets) et non pas le taux de nouaison qui explique ce résultat : à une date donnée, T2N+ a autant de fruits récoltés que T1N+, alors que la vitesse de développement est plus faible dans le carré latin où se trouve T2N+. Les différences de poids moyen entre les 4 traitements sont faibles et semblent principalement liées à la position dans la serre : les valeurs les plus faibles sont observés dans la zone la plus chaude (CL2).

En peuplement Hétérogène, **la production cumulée des plantes N+ est toujours supérieure à celle des plantes N-** (différence significative à 5% jusqu'à j170, à 10% au delà).

Ces résultats mériteraient d'être confirmés par un plan expérimental rigoureux : en effet, comme les peuplements Homogènes et Hétérogènes sont respectivement dans CL1 et CL2, on doit se demander si l'apparente différence de comportement entre N+ et N-, en peuplement Homogène et Hétérogène, n'est pas due à une confusion d'effet avec le climat, un type de plante pouvant se comporter différemment suivant le lieu. Cependant, l'écart entre N+ et N- est plus important dans CL1, qui est aussi le plus proche des conditions optimales de la culture. Les différences accrues entre N+ et N- sur les parcelles T2 sont donc probablement dues plus à la structure du peuplement qu'au climat.

#### b) Effet de la variabilité sur le peuplement

Rappelons que la comparaison porte sur un peuplement Homogène constitué du type No, **le plus fréquent à Eo**, et d'un peuplement Hétérogène formé de l'alternance des **types extrêmes N+ et N-**.

Le tableau 2.16 rassemble les données pour **une plante moyenne du peuplement**, malgré la variabilité mise en évidence précédemment, l'objectif étant de raisonner l'effet des traitements sur l'interception de la lumière par le couvert et sa transformation en matière sèche, ce qui se fait nécessairement à l'échelle de la surface.

Les différences entre T1 et T2 ne sont significatives pour aucune variable.

**La vitesse de développement moyenne est identique sur les deux peuplements.** En effet, les différences de développement entre types proviennent uniquement du stade de développement initial (Eo). Or, à cette date, le type No est en position médiane par rapport aux types N+ et N-. Leur moyenne est donc rigoureusement égale à la valeur pour No.

Le peuplement homogène T1No a une **masse foliaire légèrement supérieure, un nombre de fruits et une production cumulés légèrement supérieurs** pendant tout le cycle, sauf à la dernière date. Dans tous les cas, les écarts sont inférieurs à 5%, y compris pour le calibre.

TABLEAU 2.17 : COMPARAISON DES TYPES No ET Ro A LA FLORAISON DES BOUQUETS 5 ET 9

Comparaison de moyenne - 2 populations (No et Ro); 4 (E2) ou 8 (E4) répétitions

	NOMBRE D'ORGANES				MATIERE SECHE (g)				DIAMETRE DE LA TIGE		LONGUEUR (cm)	SURFACE FOLIAIRE (m <sup>2</sup> )	MASSE D'UNE FEUILLE (g)	SURFACE (m <sup>2</sup> )	M/S (g/m <sup>2</sup> )
	FLEURS sur:	FRUITS > 5 mm	FEUILLES	FRUITS	FEUILLES	TIGES	RACINES	(mm)	(cm)						
								E1-E3							
EchT/1	-	12.8	25.9	13.4	57.5	22.1	5.3	E1-E3	-	1.43	2.42	0.060	40.4		
MOY. No		15%	6%	31%	15%	11%	5%	14.5		13%	12%	8%	10%		
C.V. No								5%							
MOY. Ro	-	14.0	25.1	17.1	50.0	19.8	6.3	13.2	-	1.26	2.09	0.053	39.4		
C.V. Ro		9%	4%	13%	8%	10%	18%	6%		8%	8%	9%	12%		
Proba		ns	ns	*	*	*	ns	***		**	**	***	ns		
EchV/1	B5	16.0	29.3	37.2	49.2	22.0	-	E1-E3	161	1.35	2.10	0.058	36.2		
MOY. No		11%	3%	13%	16%	12%		14.5	5%	11%	18%	12%	13%		
C.V. No								4%							
MOY. Ro	0.25	16.3	27	38.6	43.5	19.6	-	14.2	161	1.21	1.84	0.051	36.1		
C.V. Ro		12%	3%	13%	10%	7%		5%	7%	6%	12%	7%	16%		
Proba	**	ns	**	ns	ns	*		ns		*	ns	*	ns		
EchV/2	B9	39.5	42.5	165	81.0	52.6	-	E2-E7	278	1.10	1.90	0.051	37.2		
MOY. No		9%	2%	11%	17%	5%		14.1	2%	8%	14%	9%	12%		
C.V. No								5%							
MOY. Ro	2.25	36.3	41	126	62.6	45.0	-	13.3	265	1.00	1.50	0.046	32.6		
C.V. Ro		8%	5%	12%	11%	9%		6%	4%	9%	8%	10%	12%		
Proba	ns	ns	ns	***	**	***		*	**	**	**	*	ns		

Le suivi des plantes en peuplement Hétérogène confirme de façon qualitative la caractérisation des types N+ et N- réalisée en peuplement Homogène. De plus, il tendrait à montrer (sous réserve de confirmation statistique) que, bien que les plantes N+ et N- soient effectivement différentes (vitesse de développement, appareil végétatif, schéma d'élaboration du rendement), les différences de rendement ne sont pas visibles en peuplement Homogène alors qu'elles se révèlent en peuplement Hétérogène, lorsque les conditions de compétition s'accroissent pour les individus les plus "faibles", et au contraire se réduisent pour les individus "vigoureux". A l'échelle de la surface, l'analyse d'une plante moyenne ne permet de déceler aucune différence entre les peuplements Homogène et Hétérogène.

### 3.2 ETUDE DU DISPOSITIF PLANTATION

Dans le dispositif précédent, l'expérimentation est fortement contingente du peuplement en sortie de pépinière. De plus, l'hypothèse selon laquelle les plantes ayant initialement des feuilles plus courtes auraient un appareil végétatif plus faible se révèle partiellement fausse. Tout ceci constitue un frein considérable à l'expérimentation, et c'est ce qui a motivé un autre dispositif d'étude de la variabilité, dans lequel les types de plantes ne proviennent plus de la diversité de la population à Eo mais sont créés en faisant varier le stade de plantation : le dispositif Plantation fait intervenir le type No précédemment caractérisé et le type Ro, dont la plantation a été retardée pour réduire la croissance végétative. Cette étude s'appuie sur les essais *Variabilité et Ablation*.

Comme pour le dispositif Eo, l'étude est réalisée en trois étapes :

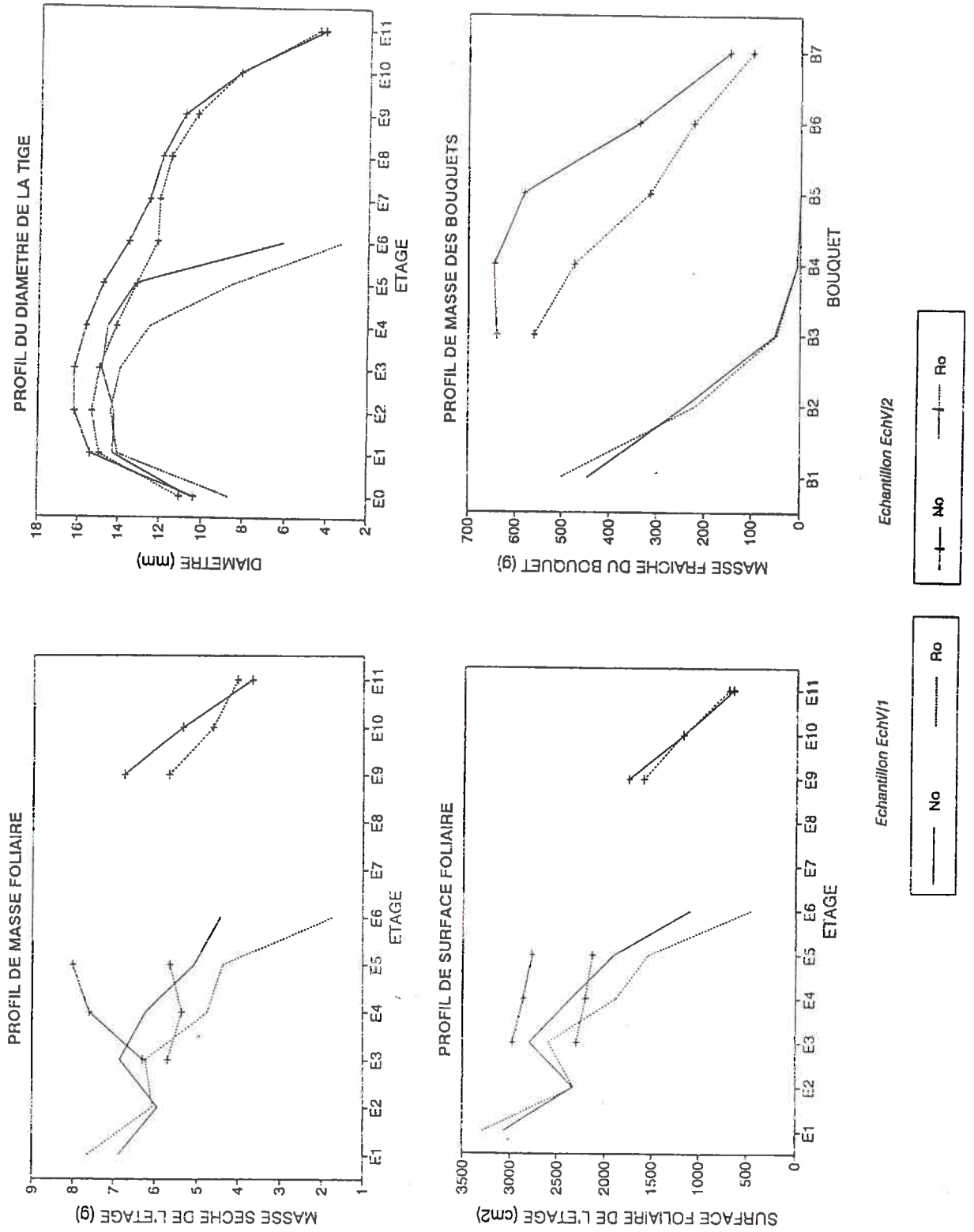
- **Caractérisation du type Ro en début de culture**, à partir d'une étude de la répartition de la matière sèche dans la plante à deux dates, situées aux environs de la floraison des cinquième et du neuvième bouquets,
- **Caractérisation du type Ro en cours de culture**, en peuplement Homogène,
- **Effet de la variabilité intra-peuplement sur l'appareil végétatif et le rendement**, par comparaison des peuplements Homogène (T1) et Hétérogène (T3).

#### *3.2.1 Caractérisation du type Ro à la floraison des bouquets B5 et B9 (tableau 2.17)*

A la floraison de B5 (FLO5), le type Ro a un retard de développement significatif par rapport au type No, aussi bien en nombre de feuilles émises qu'en nombre de fleurs épanouies. A la floraison de B9 (FLO9), la différence, bien qu'allant dans le même sens, n'est plus significative.

L'appareil végétatif aérien est affecté par le retard de plantation : réduction significative de la masse et de la surface foliaires (et de leurs composantes nombre de feuilles, poids sec et surface d'une feuille), du poids de la tige (et de ses indicateurs diamètre et longueur). La masse racinaire de Ro semble supérieure, mais la différence n'est pas significative.

FIGURE 2.13 : PROFILS DES PLANTES DETRUITES A LA FLORAISON DES BOUQUETS 5 ET 9

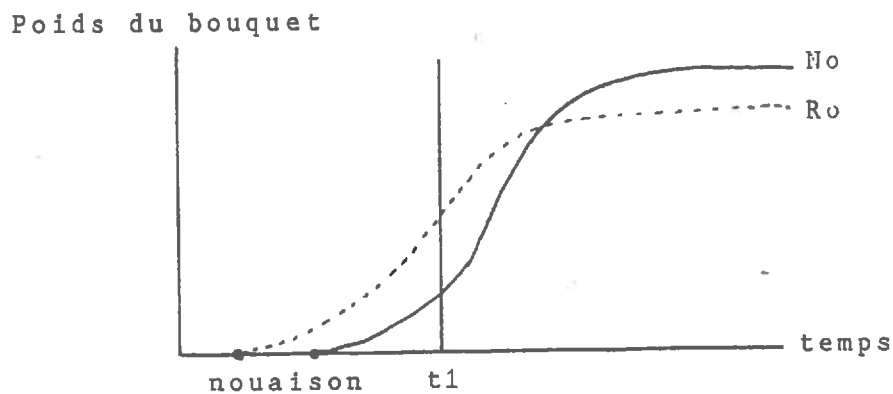


Les courbes pour *EchV/1* sont qualitativement identiques à celles de *EchV/1*

**FIGURE 2.14 : SCHEMA D'INTERPRETATION DE L'EFFET DE LA DATE DE PLANTATION SUR LE RENDEMENT**

**a) Date t1 ; bouquet 1**

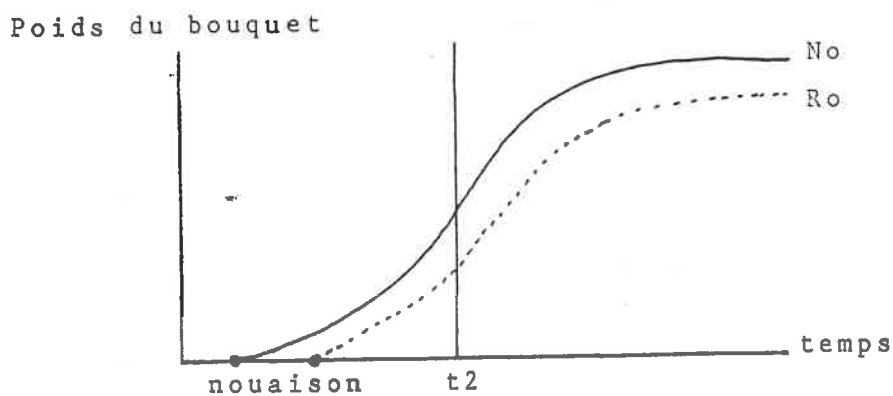
1. La nouaison du bouquet est plus précoce sur Ro que sur No
2. Le poids du bouquet à maturité est supérieur sur No



Conclusion : à t1, Poids Ro > Poids No

**b) Date t2 ; bouquet 4**

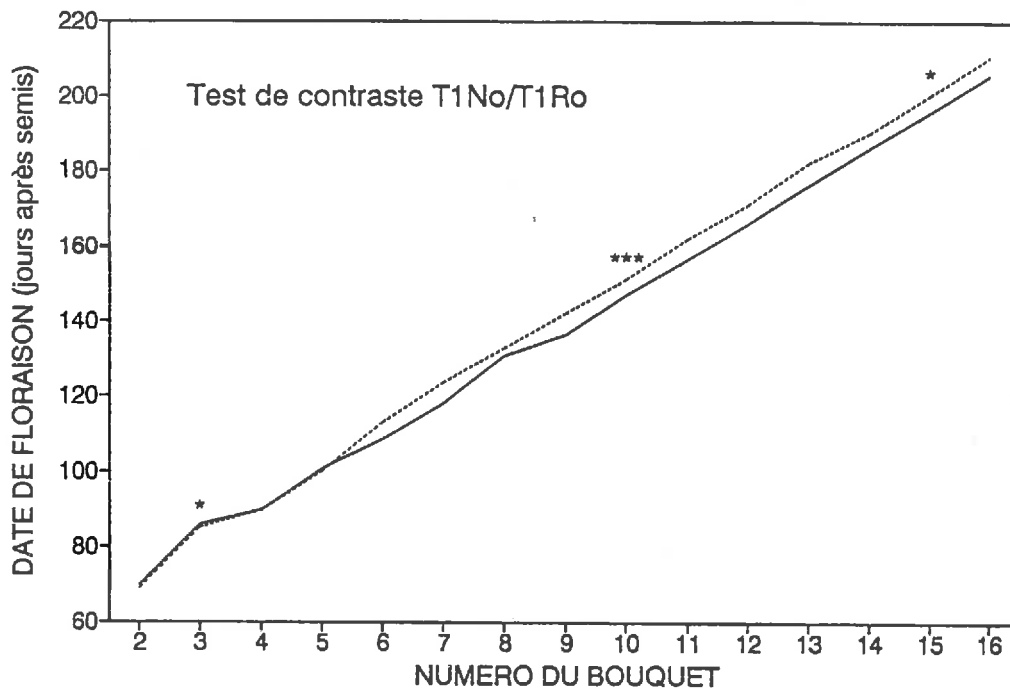
1. La nouaison du bouquet est plus précoce sur No que sur Ro
2. Le poids du bouquet à maturité est supérieur sur No



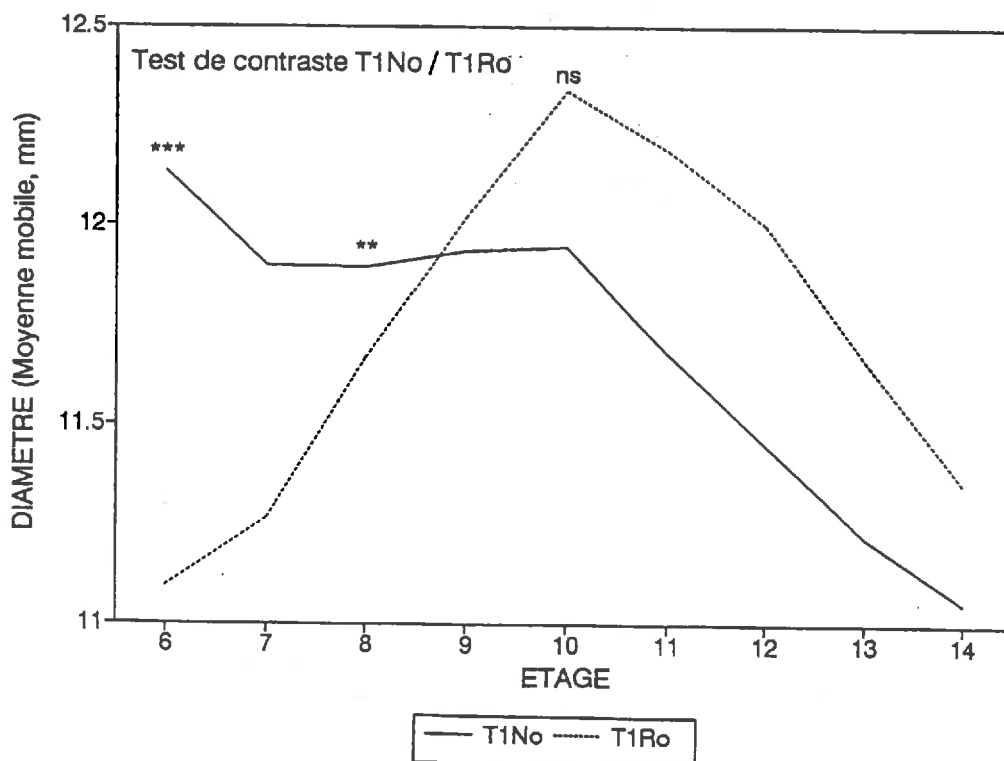
Conclusion : à t2, Poids No > Poids Ro

FIGURE 2.15 : EVOLUTION AU COURS DU TEMPS DES STADES DE DEVELOPPEMENT ET DE L'APPAREIL VEGETATIF DES TYPES No ET Ro EN PEUPELEMENTS HOMOGENES

a) Vitesse de floraison



b) Diamètre de la tige



A FLO5, le poids de fruits sur la plante est supérieur sur le type Ro, le nombre et le poids moyen des fruits étant tous deux plus élevés. Ce résultat est significatif sur un essai (*EchT/1*), mais pas sur l'autre (*EchV/1*). Au contraire, à FLO9, c'est le type No qui porte le plus de fruits (différence très significative).

Ce changement de comportement au cours du temps peut s'étudier de façon plus précise sur les profils de plantes, puisque du bas vers le haut de la plante, les sympodes sont soumis au traitement "retard de plantation" de plus en plus tard. Mais comme on compare des sympodes à des stades de développement différents, il y a un risque de confusion d'effets entre l'évolution des effets du traitement dans le temps et en fonction du stade de développement.

L'effet du retard de plantation est rarement significatif sur l'appareil végétatif des étages 1 et 2 (figures 2.13a, b et c). Sur les étages suivants (jusqu'au sixième), tous les indicateurs montrent une réduction significative de la surface foliaire sur le type Ro. Au delà, sur les étages les plus jeunes, aucun effet n'est significatif.

A FLO5, le premier bouquet, qui est en croissance, a un poids supérieur sur le type Ro (figure 2.13d). Par contre, à FLO9, les bouquets No sont plus lourds, quel que soit leur stade (maturité pour B1 et B2 qui sont déjà partiellement récoltés, en cours de croissance pour les bouquets suivants).

La comparaison doit tenir compte des stades de développement différents sur No et Ro. N'ayant pas suivi avec précision la vitesse de développement sur ces échantillons, nous nous appuyons sur les résultats ultérieurs (paragraphe 3.2.2) : les plantes Ro sont transitoirement plus précoces que les plantes No (juste après la plantation), mais par la suite, leur vitesse devient inférieure à celle des plantes No. Les résultats peuvent être interprétés ainsi (figure 2.14) :

- Le poids des bouquets à maturité est supérieur sur le type No, ce qui est en accord avec les différences de surface foliaire entre No et Ro.

- L'effet du retard de plantation sur le poids d'un bouquet en croissance dépend de la date de mesure. A FLO5, il résulte principalement de la date de nouaison, les bouquets Ro qui ont noué plus tôt sont donc plus lourds. A FLO9, les plantes No étant en avance, leurs bouquets sont plus lourds, car plus proches de leur poids final, qui par ailleurs est plus élevé.

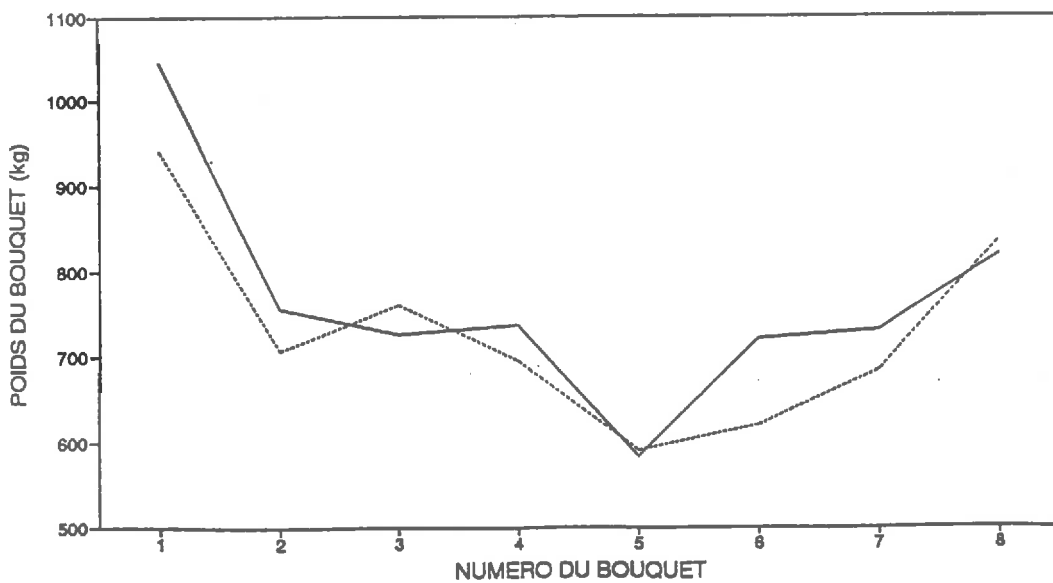
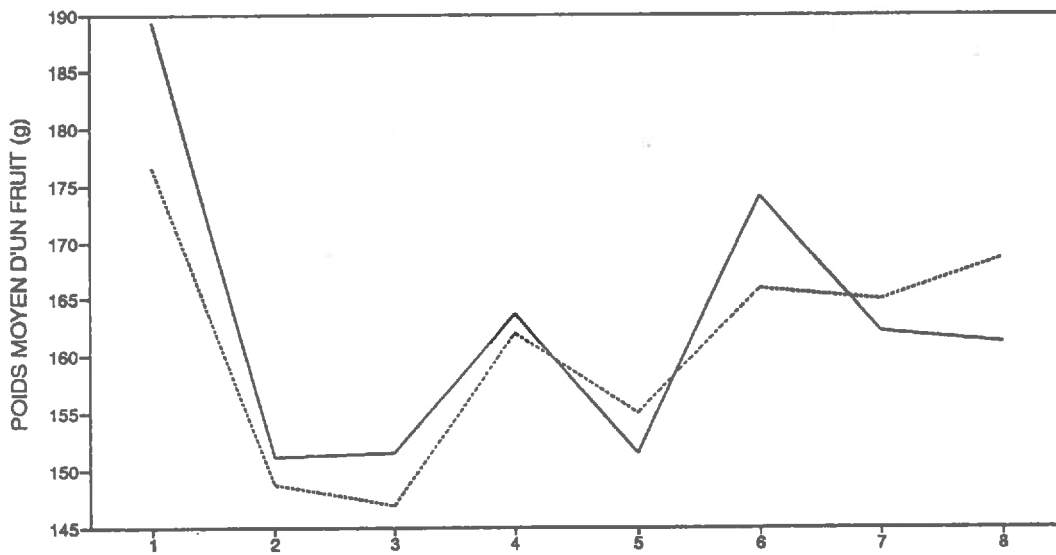
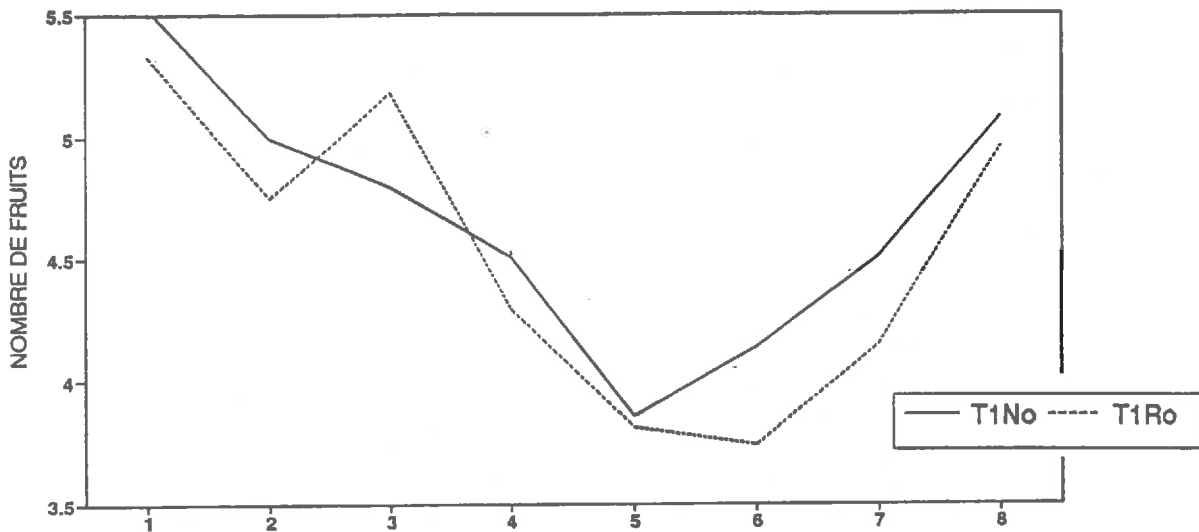
En résumé, le type Ro, dont la plantation est retardée d'une dizaine de jours par rapport à la date optimale (type No) se caractérise dans les deux premiers mois de culture par une diminution de surface foliaire et de la production de fruits, bien que le développement soit transitoirement plus précoce.

### 3.2.2 Caractérisation du type Ro en cours de culture, en peuplement Homogène

L'analyse a lieu dans un premier temps sur l'essai *Ablation*.

Les vitesses de floraison des plantes Ro et No en peuplement Homogène évoluent au cours du temps (figure 2.15a). Le traitement T1Ro est légèrement en avance en début de cycle (différence inférieure à 1 jour sur les bouquets 1 à 5, significative à 10%). Mais il est ensuite en retard par rapport à T1No ; l'écart, d'environ 5 jours, se maintient jusqu'à la fin de la culture et il est très significatif.

**FIGURE 2.16 : ELABORATION DU RENDEMENT DES TYPES No ET Ro EN PEUPELEMENTS HOMOGENES :  
COMPOSANTES DE LA PRODUCTION BOUQUET PAR BOUQUET**





**TABEAU 2.18 : COMPARAISON DES TYPES NO ET RO EN PEUPEMENT HOMOGENE**

**Données :** Essai *Ablation*

**Méthode :** Analyse de variance ; dispositif en blocs

**Facteurs étudiés :**

Type de plantes T = 1..2 : No ; Ro

Conduite ABL = 1..2 : TEM ; ABL

Le facteur ABL et les interactions TABL font partie du modèle mais leurs probabilités ne sont pas récapitulées ci-dessous : le facteur ABL sera étudié ultérieurement (partie III) ; les interactions sont non significatives.

Variable	Moyennes	
	No	Ro
<b>Nb fruits récoltés NFR(t)</b>		
j <sub>137</sub> (fin mars)	12.0	11.6
j <sub>165</sub> (fin avril)	27.3 >>>	25.6
j <sub>198</sub> (fin mai)	46.8 >>	45.4
j <sub>251</sub> (fin juin)	61.3	60.9
<b>Rendement RDT(t) (kg)</b>		
j <sub>137</sub> (fin mars)	2.1	2.0
j <sub>165</sub> (fin avril)	4.6 >>	4.1
j <sub>198</sub> (fin mai)	7.7 >	7.3
j <sub>251</sub> (fin juin)	10.2	10.1

Le traitement T1Ro se caractérise par un diamètre de tige plus faible que T1No jusqu'au bouquet B8 (figure 2.15b). Au delà, le diamètre est non significativement supérieur.

L'élaboration de la production est analysée en deux étapes : bouquet par bouquet, puis en fonction du temps, tous bouquets confondus.

L'analyse de la production bouquet par bouquet permet de dater l'effet du retard de plantation par rapport au stade de développement de la plante (figure 2.16). Le nombre de fruits par bouquet sur T1Ro est presque toujours inférieur à celui de T1No sur les 8 premiers bouquets ; il en est de même pour le poids moyen des fruits. De ce fait, les bouquets T1Ro ont un poids inférieur aux bouquets T1No.

Les écarts vont dans le même sens sur quasiment tous les bouquets, ce qui donne du poids à la démonstration, bien que les différences entre traitements soient non significatives.

Au passage, l'analyse du rendement bouquet par bouquet complète le schéma de fonctionnement de la plante élaboré dans les paragraphes précédents : alors que le nombre de fleurs après éclaircissage est identique sur tous les bouquets, le nombre de fruits est plus élevé sur les premiers bouquets, donc en début de culture (plus de 5 fruits sur les 3 premiers bouquets). Le nombre de fruits minimal est atteint sur B5 (environ 4 fruits), ce qui semble pouvoir être expliqué par la charge en fruits élevée sur la plante au moment de la nouaison de ce bouquet. Le taux de nouaison d'un bouquet semble donc lié principalement au stade de développement de la plante et peu à la date de plantation.

L'analyse du rendement au cours du temps permet de tenir compte simultanément de l'évolution du poids des bouquets le long de la plante et de la vitesse de récolte, liée à la vitesse de développement. Le nombre de fruits récoltés à une date donnée est supérieur sur le traitement T1No (tableau 2.18) ; les différences sont significatives jusqu'à la fin-mai. Comme le poids moyen des fruits est légèrement supérieur sur T1No, le rendement de ce traitement est supérieur. Comme précédemment, la différence n'est significative que jusqu'à la mi-mai.

La comparaison des types No et Ro en peuplements Homogènes a été faite également dans l'essai *Variabilité*. Dans ce cas, les traitements T1No et T1Ro appartiennent à des dispositifs différents.

- Certains des résultats précédents sont confirmés (effet du retard de plantation sur le diamètre de tige et sur le poids moyen des fruits) ; ils sont même amplifiés parce que le traitement T1Ro, dont les capacités photosynthétiques sont plus faibles, se trouve en fond de serre dans un climat plus défavorable.

- Les résultats divergents semblent pouvoir être expliqués par la position des traitements dans la serre: la vitesse de floraison plus élevée et le nombre de fruits récoltés supérieur sur T1Ro, contraire aux conclusions de l'essai *Ablation*, semblent liées à la température plus élevée en fond de serre.

La croissance végétative plus faible des plantes Ro, constatée à la floraison des bouquets B5 et B9, se traduit en cours de culture par une réduction de la vitesse de floraison, de la croissance végétative et de la production de fruits (nombre et poids moyen).

**TABEAU 2.19 : COMPORTEMENT DES TYPES No ET Ro  
EN PEUPELEMENTS HOMOGENE (T1) ET HETEROGENE (T3)**

**a) Comparaison de T1No et T3No dans l'essai *Variabilité***

Variable	Moyennes	
	T1No	T3No
<b>Diamètre de tige Dn (mm)</b> Moyenne B2 à B10	14.4	14.7
<b>Nb de fruits récoltés NFR(t)</b>		
j <sub>140</sub> (fin mars)	2.4	2.2
j <sub>170</sub> (fin avril)	16.6	17.4
j <sub>202</sub> (fin mai)	38.0	38.1
j <sub>237</sub> (fin cult.)	59.4	58.6
<b>Rendement RDT(t) (kg)</b>		
j <sub>140</sub> (fin mars)	0.47	0.50
j <sub>170</sub> (fin avril)	3.07	3.27
j <sub>202</sub> (fin mai)	6.90	7.13
j <sub>237</sub> (fin cult.)	10.43	10.97
<b>Poids moyen des fruits (g)</b>	175	187

Contrastes T1No/T3No : non significatifs ( $p > 30\%$ ) sauf pour le poids moyen ( $p = 4.85\%$ )

**b) Comparaison de T1Ro et T3Ro dans l'essai *Ablation***

Variable	Moyennes	
	T1Ro	T3Ro
<b>Diamètre de tige Dn (mm)</b> Moyenne B2 à B8	14.3	13.1
<b>Nb de fruits NFR(t)</b> j <sub>196</sub> (fin cult.)	44.1	41.2
<b>Rendement RDT(t)</b> j <sub>196</sub> (fin cult.)	7.35	6.76
<b>Poids moyen des fruits (g)</b> j <sub>196</sub> (fin cult.)	167	164

### 3.2.3 Effet de la variabilité intra-peuplement sur l'appareil végétatif et le rendement

Dans ce paragraphe, nous étudions l'élaboration du rendement du peuplement T3, formé de l'alternance des types No et Ro.

#### a) Effet de la variabilité sur les individus de chaque type

##### \* Type No (essai *Variabilité*, tableau 2.19a)

La vitesse de floraison, le nombre de fruits récoltés et le diamètre de la tige du type No sont identiques qu'il soit dans un peuplement Homogène (T1No) ou Hétérogène (T3No).

Par contre, T3No a une masse foliaire légèrement supérieure à T1No (+5%). Bien que la différence ne soit pas significative (sauf au troisième effeuillage, fin avril), nous considérons ce résultat comme relativement sûr, parce qu'il se reproduit ainsi à chaque date d'effeuillage.

Sur le traitement T3No, les fruits ont un poids moyen plus élevé que sur T1No (différence significative à 5% sur l'ensemble de la récolte). D'où, le rendement total des plantes T3No est légèrement supérieur (+7%), mais non significatif.

##### \* Type Ro (Essai *Techniques*, tableau 2.19b)

Comme pour les plantes No, l'hétérogénéité intra-peuplement n'affecte pas la vitesse de développement des plantes Ro : celles-ci se comportent de façon identique en peuplement Homogène (T1Ro) et Hétérogène (T3Ro).

La masse foliaire de T3Ro est plus faible que celle de T1Ro ; simultanément, il y a diminution de rendement, due principalement à une réduction du taux de nouaison. Une analyse complémentaire (non illustrée) montre que ces effets sont plus sensibles sur les bouquets 5 à 8 que sur les premiers bouquets, alors que l'augmentation de rayonnement au cours de la saison tendrait à réduire l'importance de la compétition inter-plantes.

Il n'est pas possible de tirer des conclusions de la comparaison de T1Ro et T3Ro dans l'essai *Variabilité* : T3Ro est sans doute désavantagé puisque soumis à une compétition plus forte. Mais simultanément, T1Ro a un rendement plus élevé, sa vitesse de production étant plus forte à cause de la température. Il y a donc un risque de confusion d'effets.

#### b) Effet de la variabilité sur le peuplement

##### \* Analyse de la production moyenne du peuplement

Sur l'essai *Variabilité*, la production de biomasse du couvert, estimée par la **moyenne par plante de la masse sèche foliaire et du rendement**, est identique sur le peuplement Homogène T1No et sur le peuplement Hétérogène T3 (tableau 2.20 et annexe 12b). Or, en peuplement Hétérogène, le type No a un rendement supérieur par rapport au peuplement Homogène, le type Ro au contraire a un rendement inférieur. Il y a donc compensation entre les productions des plantes No et Ro.

Dans l'essai *Techniques*, le peuplement T3 a une production de biomasse supérieure à celle de T1Ro, grâce à la présence des plantes No qui ont un potentiel de production supérieur. En effet, pour les plantes Ro du traitement T3, l'augmentation de compétition due à la

**TABLEAU 2.20 : COMPARAISON DES PEUPEMENTS T1 ET T3**

**Données :** Essai *Variabilité*

**Méthode :** Analyse de variance ; dispositif en carré latin

**Facteur étudié :**

Traitement T= 1..3 : T1 ; T2 ; T3

Résultats de l'analyse de variance : Annexe 12b

Variable	Moyennes	
	T1	T3
Diamètre de tige Dn (mm) Moyenne B2 à B10	14.4	14.1
Masse d'1 feuille MS1F (g) Moyenne E1 à E7	3.17	3.08
Nb fruits NFR(t)		
j <sub>140</sub> (fin mars)	2.3	2.2
j <sub>170</sub> (fin avril)	16.6	15.8
j <sub>202</sub> (fin mai)	38.0	35.9
j <sub>237</sub> (fin cult.)	59.4	55.7
Rendement RDT(t) (kg)		
j <sub>140</sub> (fin mars)	0.48	0.48
j <sub>170</sub> (fin avril)	3.08	2.97
j <sub>202</sub> (fin mai)	6.90	6.61
j <sub>237</sub> (fin cult.)	10.42	10.29

La probabilité du facteur Traitement est toujours très supérieure à 10%

présence des plantes No voisines, réduit le rendement mais pas suffisamment pour annuler l'augmentation de rendement due aux plantes No.

**\* Analyse de l'écart-type intra-peuplement**

Pour le rendement total et ses composantes Nombre de fruits et Poids moyen, l'écart-type calculé sur l'ensemble des plantes de la parcelle est plus élevé sur le peuplement T3 que sur T1No. Cela provient du fait que le peuplement T3 est un mélange de deux types de plantes ayant des modes d'élaboration du rendement différents (rythme de production, poids moyen d'un fruit). En particulier, la distribution du poids moyen des fruits sur le peuplement T3 présente deux pics (figure 2.17) correspondant à T3No et T3Ro ; elle est de ce fait plus étalée que celle du peuplement T1, qui est unimodale.

La diminution de compétition due à la présence de plantes "faibles" Ro a un effet positif, bien que faible, sur l'appareil végétatif et le rendement des plantes No en peuplement Hétérogène. Inversement, l'augmentation de compétition due à la présence de plantes No, plus "vigoureuses", a un effet négatif sur la production de biomasse (feuilles, fruits) des plantes Ro. A l'échelle de la parcelle, les productions se compensent ; le rendement des peuplements Homogène et Hétérogène est donc identique. Par contre, l'hétérogénéité intra-peuplement entraîne une augmentation de l'hétérogénéité du poids moyen des fruits.

### **3.3 DISCUSSION**

#### ***3.3.1 Les types de plantes et leur comportement en peuplement Homogène***

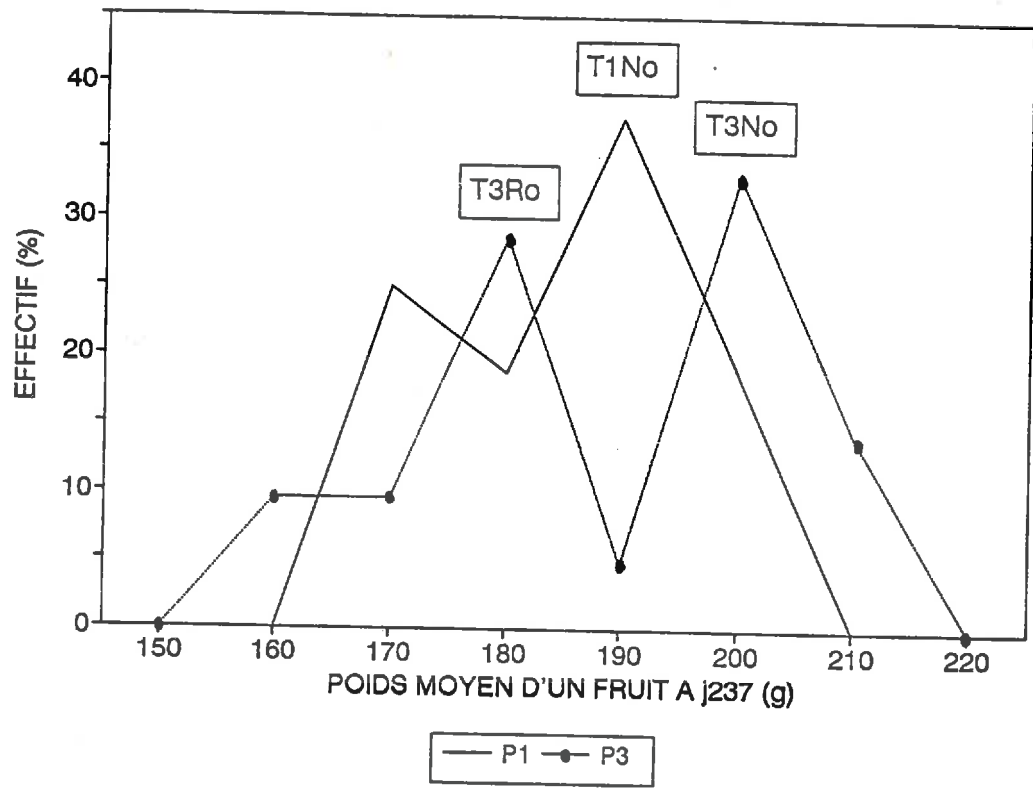
Dans les deux dispositifs Eo et Plantation, il est possible d'identifier en début de culture, un type de plantes "vigoureuses" (N+ pour le dispositif Eo et No pour le dispositif Plantation), et un type de plantes "faibles" (respectivement N- et Ro). Les types se différencient par le stade de développement pour le dispositif Eo, et par la vitesse de croissance de l'appareil végétatif et la surface foliaire pour le dispositif Plantation.

En cours de culture, en peuplement Homogène, les types continuent à se singulariser, phénomène qui trouve son origine dans le fonctionnement du peuplement (interception de la lumière, production et répartition de la matière sèche entre organes).

\* Dans le dispositif Plantation, le diamètre de la tige des plantes Ro est inférieur à celui des plantes No pendant quasiment tout le cycle. Compte tenu de la relation linéaire entre le diamètre de la tige et la masse de l'appareil végétatif établie dans le chapitre 2, le type Ro en peuplement Homogène a une masse foliaire plus faible que le type No. Cependant, l'augmentation progressive du diamètre le long des plantes Ro, donc de la masse foliaire des étages successifs, indique que les différences entre types No et Ro s'atténuent.

Nous n'avons mesuré la masse surfacique des plantes No et Ro qu'à une date (Cf

FIGURE 2.17 : HISTOGRAMME DU POIDS MOYEN DES FRUITS PAR PLANTE SUR LES PEUPELEMENTS T1 ET T3



paragraphe 2.3). Sur cet échantillon, la masse surfacique est un peu plus faible sur le type Ro, mais l'écart est inférieur à 5%. De plus, les principaux facteurs de variation cités dans la bibliographie (climat, stade de la culture et position de la mesure sur le profil de la plante) sont identiques pour les deux types de plantes. **C'est pourquoi, nous considérons que le type Ro a une surface foliaire inférieure à celle du type No.** Ce résultat est corroboré par les mesures de surface foliaire à la floraison des bouquets 5 et 9. Il devrait cependant être confirmé, car dans la bibliographie, des variations de masse surfacique de 15% sont observées entre plantes d'un même peuplement (Reddy et al., 1989).

La réduction de la surface foliaire est liée à des changements dans la répartition des assimilats : en retardant la plantation, la croissance racinaire est limitée au volume du cube, qui très rapidement, est entièrement colonisé. La matière sèche est préférentiellement allouée aux autres organes (d'où des fruits transitoirement plus gros sur les plantes Ro). La colonisation dans le substrat, hors du cube, a lieu plus tardivement, en même temps que le début de la fructification. C'est la concurrence entre appareils aérien et souterrain qui expliquerait que le système racinaire soit réduit (bien que cela ne soit pas clairement démontré dans la bibliographie), d'où une réduction de la surface foliaire (Morgan & Clarke, 1975)<sup>8</sup>.

C'est d'abord la somme de degrés-jours qui détermine l'apparition des noeuds successifs sur une plante. Mais le retard de plantation provoque une réduction de la vitesse de développement, sans doute à cause d'une réduction de la croissance végétative. Ce phénomène a été observé sur d'autres espèces, notamment sur le pois (Turc, 1988). Cooper & Hurd (1968b) et Morgan & Clarke (1975) montrent que retarder la plantation de tomates entraîne un retard de floraison de 2 à 6 jours, qui est compatible avec celui que nous avons mis en évidence. De même, la précocité de floraison sur les premiers bouquets des plantes retardées Ro est en accord avec celle constatée dans les travaux précédents.

Sur les plantes Ro, la réduction de la croissance végétative, donc de la surface foliaire, a un effet négatif sur les composantes du rendement (nombre et poids unitaire des fruits récoltés). L'effet du retard de plantation sur le schéma d'élaboration du rendement est en accord avec la bibliographie citée précédemment, bien que l'importance de l'effet sur chacune des composantes du rendement varie d'une étude à l'autre.

Le degré d'affaiblissement est lié à l'importance et à la durée du stress racinaire, donc aux conditions climatiques et à la vitesse de croissance. C'est probablement ce qui explique que les essais dans la bibliographie convergent vers des phénomènes communs, mais divergent quantitativement. En particulier, dans l'essai *Ablation*, l'augmentation progressive du diamètre semble liée au fait que les plantes Ro se chargent en fruits de façon plus progressive et moins intense, ce qui limite la compétition des fruits vis à vis de l'appareil végétatif par rapport aux plantes No. C'est d'ailleurs cet objectif de régulation de la plante qui est recherché par les maraîchers.

---

<sup>8</sup> Dans notre essai, la masse racinaire est plus faible sur les plantes No. Ce résultat est donc contraire à la bibliographie et à l'existence d'un ratio constant entre appareil aérien et sous-terrain (Van der Post, 1968), mais il pourrait s'agir d'un biais : en retardant la plantation d'environ 2 semaines, les racines des plantes Ro s'accumulent dans le cube, tandis que celles des plantes No commencent à coloniser la pouzzolane. Or, la récupération des racines dans la pouzzolane est délicate et il est possible que le pourcentage de racines recueillies soit plus faible sur les plantes No, d'où une masse racinaire apparemment plus faible.



\* Dans le dispositif Eo, les différences de développement à l'origine de la typologie se perpétuent : les plantes N+ sont toujours à un stade plus avancé que les plantes N-, qu'il s'agisse de la floraison ou de la maturation des bouquets successifs. De ce fait, en début de cycle, le nombre de bouquets récoltés sur les plantes N+ est supérieur, la production également parce que les variations du taux de nouaison et du poids unitaire des fruits sont faibles.

Cependant, le comportement des types N+ et N- au bout de quelques mois de récolte est contraire à l'objectif recherché. Ce sont les plantes N- qui ont la production la plus élevée, grâce à un taux de nouaison et un poids moyen des fruits supérieurs. Deux hypothèses peuvent expliquer ce comportement :

- H1 : en plantant à la même date les types N+ et N-, qui sont à des stades de développement différents, on fait la même opération qu'en retardant la plantation du type Ro par rapport aux plantes No : le type N+ se trouve dans la même situation que le type Ro.

- H2 : Les plantes N+ se chargent plus rapidement en fruits que les N-, à un moment où le rayonnement extérieur est encore faible ; ce déséquilibre entre offre et demande en assimilats entraîne une réduction de l'appareil végétatif, d'où des conséquences négatives sur le rendement. Il ne se produit pas sur les plantes plus tardives N-.

Compte tenu du faible écart entre les stades de développement des deux types (5 jours) par rapport à ce qui sera testé dans le quatrième chapitre, nous estimons que c'est la deuxième hypothèse qui est la plus probable.

Nous retiendrons donc comme résultat que les plantes N- et Ro en peuplement homogène ont, en début de culture, un appareil végétatif et un rendement inférieur à ceux des plantes N+ et No respectivement. Si le phénomène se maintient pour les plantes Ro, il s'inverse pour les plantes N- dont le rendement total est supérieur à celui des plantes N+.

### 3.3.2 L'effet de la variabilité intra-peuplement

Du fait des différences d'état végétatif entre types, nous avons bien créé un peuplement hétérogène vis à vis de la capture de l'énergie lumineuse.

En peuplement Hétérogène, le comportement de chaque type est en interaction avec la structure du peuplement. Ainsi, le suivi de l'appareil végétatif et du rendement au cours du cycle, montre :

- sur le dispositif Eo : une constante supériorité des plantes N+ par rapport aux plantes N- tout au long du cycle ; l'inversion observée entre N+ et N- ne se produit pas.

- sur le dispositif Plantation : une supériorité accrue des plantes N+ sur les plantes N- par rapport à leurs situations respectives en peuplement Homogène.

Ces résultats montrent l'importance du facteur **compétition inter-plantes** dans l'élaboration de la production d'un individu, qui compte presque autant que son état initial. Il semble que ce soit la compétition vis à vis de la lumière qui soit en cause : en peuplement Hétérogène, les plantes N- ou Ro sont moins compétitives vis à vis de la lumière, parce que leur surface foliaire est inférieure. Il y a donc une augmentation du rayonnement incident sur les plantes voisines, qui a largement favorisé les plantes No du dispositif Plantation, et qui pourrait avoir empêché la réduction de croissance végétative des plantes N+ dans le dispositif Eo.

Inversement, les plantes jugées "faibles" (N- et Ro) subissent une réduction de croissance lorsqu'elles sont entourées de plantes jugées "vigoureuses" (N+ ou No), du fait de la réduction de l'énergie incidente.

Des phénomènes similaires ont été observés par divers auteurs, et récapitulés par Trenbath (1974). Les différences entre plantes sont caractérisées différemment suivant les auteurs : hauteur de tige pour Pendleton & Seif (1962) et Glenn & Daynard (1974), états de croissance et de développement pour Masle & Sebillotte (1981a). Mais ces variables sont toujours des indicateurs plus ou moins directs de la surface foliaire. Celle-ci joue à la fois sur la quantité d'énergie incidente disponible pour chaque plante (phénomènes d'ombrages des plantes voisines) et sur les capacités propres à chaque plante d'interception de la lumière.

Dans le cas de la tomate sous serre, que la lumière soit fréquemment le facteur limitant dans le fonctionnement du peuplement est tout à fait compatible avec le mode de culture : culture de contre-saison, système d'irrigation et de nutrition performant (ferti-irrigation, hors-sol), enrichissement en CO<sub>2</sub>...

**L'hétérogénéité du peuplement a un effet négatif sur un des critères de qualité de la production**, puisqu'elle accroît la variabilité de calibre. Or, ce facteur est jugé négativement par les maraîchers, car cela entraîne une augmentation du nombre de calibres à commercialiser et de la fraction de rendement non commercialisable (calibre inférieur au seuil de 67 mm).

Par contre, pour les deux dispositifs, la production de matière sèche par unité de surface semble identique sur les peuplements Homogène et Hétérogène, aussi bien pour l'appareil végétatif que pour le rendement. Il semble donc que les phénomènes de compétition mis en évidence précédemment répondent à un schéma de compensation, comme dans le cas du modèle de De Wit (cité par Donald, 1963) : selon ce modèle, l'augmentation de rendement des plantes dominantes égale la diminution de rendement des plantes dominées ; chaque individu puise des ressources (notamment la lumière) proportionnellement à son état végétatif (notamment sa surface foliaire). Si la totalité des ressources disponibles est utilisée par l'ensemble des plantes, la répartition des ressources entre individus n'affecte pas le rendement par unité de surface. L'obtention du même résultat sur les deux dispositifs semble indiquer que le phénomène de compensation est assez général.

Ces résultats doivent cependant être nuancés, car la démonstration ne porte que sur un petit nombre d'années climatiques et de schémas de variabilité (écart entre plantes, disposition spatiale). Or, il existe probablement une interaction entre le phénomène de compensation et le degré de variabilité (estimé par le pourcentage de plantes jugées "faibles", l'écart entre types de plantes)... Des travaux en cours tendraient à montrer que lorsqu'on accroît la variabilité intra-peuplement (en augmentant les différences entre les deux types de plantes, Cf annexe 13), le rendement diminue. Bien qu'il n'ait pas été mis en évidence, il pourrait donc exister un seuil au delà duquel la variabilité a un effet négatif sur le rendement par unité de surface, ce qui doit être rapproché de l'efficacité d'interception du rayonnement  $\epsilon_i$ . Une diminution de rendement, liée à l'apparition d'une loi bimodale lorsque les conditions de croissance sont plus difficiles, a été observée par Edmeades & Daynard (1979) et par Masle (1981).

Nous avons privilégié la compétition pour la lumière, hypothèse qui nous paraissait raisonnable compte tenu des conditions de la culture de tomate, et qui est confirmée par les

essais. Cependant, d'autres facteurs pourraient transitoirement intervenir, et jouer par exemple sur l'efficacité biologique  $\epsilon_b$  : ainsi, lors d'un stress hydrique, il est possible que les différences d'état racinaire entre plantes participent à la compétition entre plantes.

#### 4. REFLEXION SUR LES CHOIX EXPERIMENTAUX ET LES DEUX DISPOSITIFS

Les dispositifs Eo et Plantation constituent des "modèles", au sens de représentations simplifiées de la réalité, puisque nous avons fait deux simplifications méthodologiques : appréciation des différences entre individus à partir d'une typologie et simulation de la répartition des individus dans l'espace par la disposition alternée 1/1.

Dans ce chapitre, l'analyse critique des choix expérimentaux cherche à répondre à deux questions :

- les hypothèses sur lesquelles les dispositifs s'appuient sont-elles vérifiées ?
- ces dispositifs simulent-ils correctement la réalité ?

##### 4.1 TYPOLOGIE ET VARIABILITE INTRA-TYPE

Dans la constitution et l'utilisation des typologies de plantes, on fait l'hypothèse que la variabilité intra-type est inférieure à la variabilité inter-types. Or, en cours de culture, il apparaît une variabilité intra-type, qui se superpose à la variabilité structurée que l'on étudie. Elle comporte deux composantes : la variabilité spatiale du climat, qui est prise en compte par les dispositifs expérimentaux et la variabilité aléatoire, liée à l'état végétatif des plantes. Celle-ci était certes prévisible, puisque c'est elle qui a motivé ce travail. Cependant, faute d'une prise en compte satisfaisante, elle forme une variabilité résiduelle, qui a deux conséquences : d'une part, elle éloigne nos traitements expérimentaux des dispositifs originaux Eo et Plantation, et d'autre part, les différences entre types ne sont plus significatives au bout de quelques mois de culture. Dans ces conditions, l'utilisation des types est-elle justifiée ?

Une Analyse Factorielle Discriminante (essai *Variabilité*, annexe 14) indique que le pourcentage d'individus bien classés est assez élevé (72%). Malgré l'apparition d'une variabilité non contrôlée, il reste légitime de scinder la population en types.

**Par contre, les deux typologies ne présentent pas les mêmes caractéristiques.**

Le pourcentage d'individus bien classés est un peu plus élevé dans le dispositif Plantation (76%) que dans le dispositif Eo (71%). Mais c'est surtout dans la caractérisation des types que les deux dispositifs diffèrent. La définition des axes de l'AFD montre que les différences entre No et Ro sont visibles en fin de culture ; ceci est accord avec l'apparition progressive des effets du stade de plantation sur l'appareil végétatif et le rendement. Par contre, les différences entre N+ et N- sont visibles en début de culture (différences de stade de développement initial), mais la variabilité intra-traitement "efface" rapidement les différences entre types. L'étude de la variabilité provenant de Eo n'est donc justifiée qu'en début de cycle, à l'inverse de celle provenant des stades de plantation. Ces faits expliquent probablement les difficultés que nous avons rencontrées pour caractériser les types N+ et N-. Mais surtout, ils montrent que diverses façons de créer l'hétérogénéité jouent différemment non seulement sur les différences qualitatives entre plantes (variables mises en cause) et quantitatives, mais aussi sur le degré de "rémanence" de l'hétérogénéité.

La question se pose donc de savoir si les effets de l'hétérogénéité sont indépendants de leur origine. Il est difficile de conclure de la comparaison des peuplements T2 et T3, car ils diffèrent à la fois par le degré de l'hétérogénéité et par sa nature. Cependant, sur les deux dispositifs, l'apparition de la variabilité intra-peuplement est plus ou moins précoce dans le cycle cultural. Or, l'évolution du rayonnement au cours du cycle, principal facteur de compétition entre plantes, joue probablement beaucoup sur les conséquences de la variabilité.

Ces résultats prouvent donc notre capacité à créer une hétérogénéité structurée en jouant sur la date de plantation ; ce dispositif se révèle plus précis, donc plus pertinent, que le dispositif E<sub>0</sub> provenant de la variabilité en pépinière, pour étudier les effets des techniques culturales sur l'hétérogénéité du peuplement.

Cependant, nous avons signalé dans le paragraphe 3.3 les interactions entre les effets du retard de plantation et le climat ; celles-ci sont être gênantes pour le dispositif Plantation, que l'on souhaitait plus robuste E<sub>0</sub>, parce que l'écart entre les types No et Ro est susceptible de varier d'une année à l'autre.

Globalement, l'AFD justifie le traitement des données, qui se base sur la notion de plante moyenne, à condition toutefois que le nombre d'individus intervenant dans la moyenne soit suffisant, ce qui permet de "gommer" la variabilité résiduelle. Pour l'expérimentation, cela impose d'avoir un nombre suffisant de plantes par micro-parcelle et de répétitions, pour accroître la puissance des tests et pour que la variance intra-type soit inférieure à l'écart à mesurer.

Ces résultats nous conduisent également à réfléchir sur l'état végétatif des plantes : est-il un état permanent ou un état transitoire ? Les différences initiales entre N+ et N- semblent pouvoir être annulées, voire inversées dans certaines conditions, puisque les deux types ont un comportement différent suivant qu'ils sont en peuplement homogène ou hétérogène. Cela tendrait à montrer que sous le terme de "type N+" ou "type N-", on a seulement caractérisé un état du peuplement à un instant donné, état qui dépend principalement des relations de compétition entre individus. Par contre, en jouant sur le stade de plantation (types No et Ro), il semble qu'on modifie de façon définitive le potentiel des plantes, et dans ce cas, le terme de "type" est justifié. Cependant, dans l'essai *Ablation*, nous avons signalé une disparition des différences entre No et Ro en fin de culture, ce qui semble dû à un stress insuffisant au moment de la plantation.

#### 4.2 LA DISPOSITION ALTERNÉE

En disposant les plantes de façon alternée, nous avons fortement accentué le degré de compétition entre individus. L'analyse par voie d'enquête d'un peuplement proche de ceux que l'on peut rencontrer dans les exploitations agricoles, sans structuration volontaire des plantes (annexe 15), confirme les phénomènes constatés dans le cas d'une disposition alternée.

Dans ce peuplement non structuré, il apparaît une variabilité intra-peuplement, aussi bien dans le nombre de fruits récoltés que dans le rendement. Les distributions sont unimodales et le coefficient de variation de l'ordre de 20%, ce qui confirme qu'un peuplement

quelconque présente bien une variabilité entre plantes pour les variables de production.

On explique 54% de la variabilité du nombre de fruits, et 75% de celle du rendement (après ajustement au nombre de fruits) à partir du **diamètre de la tige** (indicateur du potentiel de la plante), du **degré de compétition des plantes voisines** (diamètre et distance à la plante étudiée) et du **milieu**. Ces trois facteurs sont pris en compte dans les dispositifs étudiés, même s'ils sont caractérisés différemment (respectivement type de l'individu, des individus voisins et plans expérimentaux).

La **variabilité intra-peuplement** étudiée ici est probablement inférieure à celle rencontrée chez les maraîchers, d'une part parce qu'on a étudié le rendement sur un mois, ce qui a gommé les différences de vitesse de développement, d'autre part parce que l'essai a eu lieu en station expérimentale, avec un contrôle des maladies et du climat plus poussé que dans une exploitation, un faible nombre de plantes supprimées et une surface de culture plus faible qui réduit la variabilité climatique. C'est pourquoi, malgré le caractère artificiel de l'expérimentation, l'alternance de deux types de plantes est justifiée pour tester des règles d'action plante à plante dans la troisième partie.

#### 4.3 DISCUSSION SUR LES METHODES STATISTIQUES

Ces résultats restent cependant entachés d'une certaine imprécision, parce que les analyses statistiques sont peu précises. Les hypothèses du modèle d'analyse de variance sont généralement bien vérifiées (exemple : annexe 12b), mais les dispositifs sont peu puissants : les blocs ne prennent en compte qu'un facteur de variabilité. Le carré latin est un outil plus performant, mais avec 3 répétitions, sa puissance a priori reste faible. La puissance a posteriori est également faible : dans l'exemple de l'annexe 12b, une variation entre traitements de 5 à 10% par rapport à la moyenne n'a respectivement que 14% et 27% de chances d'être démontrée, même pour un risque de première espèce de 10%.

La variabilité à l'intérieur d'un traitement répond au même déterminisme que la variabilité intra-peuplement, objet de notre étude ; ses causes sont donc multiples, mais parmi elles, le climat et l'état de l'individu jouent un rôle important, d'où deux risques dans l'expérimentation :

- **interaction entre un traitement et sa position dans la serre**, risque d'autant plus important que le nombre de répétitions dans la serre est faible et l'hétérogénéité spatiale complexe,
- **tirage non aléatoire des plantes à l'intérieur d'un type**, qui fait que les répétitions d'un même traitement ne sont pas exactement identiques.

Cette discussion fait apparaître l'intérêt d'une identification a posteriori de l'état de chaque plante, qui pourrait alors être pris en compte dans une analyse de covariance. Cette méthode se heurte, actuellement, à l'insuffisante caractérisation des plantes (nous avons vu que le diamètre de la tige ou la longueur d'une feuille ne sont pas des indicateurs parfaits et il faut probablement se diriger vers des indicateurs multi-critères).

## D - CONCLUSION

L'objectif de la deuxième partie était d'étudier les effets de la variabilité intra-peuplement sur la production d'une serre. Ceci a été réalisé à partir de deux dispositifs ayant une structure commune (agencement régulier de plantes ayant des états végétatifs différents), mais divergeant par la façon de classer les plantes.

Dans cette étude, il apparaît que sur les peuplements hétérogènes, la variabilité du calibre des fruits (estimée par la variabilité du poids moyen) est supérieure à celle rencontrée dans un peuplement homogène. Comme, sur les exploitations, la production est généralement conditionnée par calibre, leur multiplicité réduit la qualité globale de la production. De plus, les petits fruits peuvent être de calibre inférieur au seuil de commercialisation, d'où une diminution du rendement commercialisable.

Du fait de la lourdeur des mesures, le poids moyen des fruits a été le seul critère de qualité enregistré. Mais il est possible que d'autres critères soient également liés au degré de variabilité du peuplement.

Dans les deux dispositifs étudiés, le rendement des peuplements homogène et hétérogène sont identiques. Ce résultat provient des fortes relations de compétition entre plantes : dans un peuplement hétérogène, les plantes de fort diamètre ("vigoureuses") produisent plus qu'au sein d'un peuplement homogène, au contraire des plantes de petit diamètre ("faibles") qui produisent moins.

Cependant, ce phénomène de compensation est probablement limité : il semble que plus l'hétérogénéité du peuplement est importante, plus le risque augmente de ne pas avoir une compensation totale, et donc que le rendement diminue.

Ce travail apporte également des éléments pour la caractérisation des différences entre plantes, étape qui a été nécessaire dans l'étude de la variabilité, et dont dépend également la conduite plante à plante.

La comparaison de types de plantes obtenus de diverses façons fournit un ensemble de critères de caractérisation de l'état végétatif des plantes.

Dans le dispositif E<sub>0</sub>, la typologie provient de l'hétérogénéité présente dans le peuplement en sortie de pépinière, qui est caractérisée à partir d'un critère de croissance, la longueur d'une feuille. Ce dispositif, associé à l'étude en pépinière, fournit des critères de caractérisation des individus au moment de la disposition en serre : à ce stade, le peuplement présente une variabilité de stades de développement, qui déterminent pour partie la biomasse et la surface foliaire des individus à la plantation. Ces différences précoces de développement se maintiennent tout au long du cycle et ont des conséquences sur le nombre de bouquets fleuris, puis récoltés à une date donnée, ainsi que sur l'équilibre entre offre et demande en assimilats. Le poids moyen des fruits ne semble pas différent d'un type à l'autre.

Dans le dispositif Plantation, c'est le stade de plantation qui permet de créer des différences entre plantes. Les types se caractérisent par des potentiels photosynthétiques différents : lorsque la date de plantation est retardée par rapport à une date optimale, il y a réduction de la masse et de la surface foliaires, ce qui a des conséquences sur la nouaison et le

remplissage des fruits (donc sur leur nombre et leur poids moyen) ; la vitesse de développement et par conséquent le nombre de bouquets récoltés à une date donnée sont également réduits.

Plusieurs critères permettent de caractériser l'appareil végétatif des individus et de les classer les uns par rapport aux autres, mais **le diamètre de la tige** apparaît comme un indicateur particulièrement pertinent parce qu'il est bien corrélé à la masse foliaire et vraisemblablement à la surface foliaire. De plus, dans un objectif d'aide à la décision, c'est une variable intéressante parce qu'elle est définie à l'échelle de la plante, donc susceptible d'être utilisée comme **variable de pilotage dans la conduite plante à plante**, et parce qu'elle est un des indicateurs utilisés empiriquement par les maraîchers.

**L'analyse des deux dispositifs fait apparaître plusieurs modes d'élaboration du rendement**, suivant le poids respectif des différents facteurs : la vitesse de croissance joue sur le nombre de fruits noués par bouquet et sur leur poids moyen ; la vitesse de développement joue sur la vitesse de floraison et de maturation des bouquets successifs, donc sur le nombre de fruits récoltés à une date donnée.

**Ces travaux mettent en évidence un certain nombre de facteurs déterminants dans la genèse de la variabilité intra-peuplement.** A l'état initial de l'individu (suivant la période étudié : graine, jeune plantule, plante à la disposition en serre), s'ajoutent **les facteurs du milieu** : variabilité spatiale du climat (température et rayonnement) ; variabilité locale du milieu (goutteurs partiellement bouchés, compétition des plantes voisines). La variabilité éventuelle des interventions humaines a été négligée par manque de critères de caractérisation objectifs, mais ce facteur intervient probablement : nous avons notamment montré que la distance entre tiges (déterminée par l'opération de palissage et la disparition de plantes cassées) joue un rôle déterminant sur le rendement, car elle constitue un paramètre important dans la compétition entre plantes.

**L'étude montre le poids des relations de compétition au sein du peuplement** ; ces phénomènes sont mis en évidence sur les deux dispositifs, donc sur des peuplements présentant des critères de variabilité assez différents, ce qui confirme leur caractère très général. Sous un climat de serre donné, une plante se comporte différemment suivant que les individus voisins sont plus ou moins compétitifs. L'irrigation et la fertilisation étant relativement proches de l'optimum, **c'est principalement la compétition pour la lumière qui gère les relations entre individus.** En effet, les différences de surface foliaire entre plantes déterminent d'une part, **le rayonnement intercepté par chaque individu**, donc ses capacités de photosynthèse, d'autre part le rayonnement disponible pour les plantes voisines, donc **l'intensité de la compétition entre plantes.**

Cette deuxième partie de la thèse contribue à la construction d'un **modèle d'élaboration du rendement et de la qualité**, même s'il est encore peu formalisé. Ce modèle permet notamment de discuter **les effets de la variabilité intra-peuplement** : ses conséquences dans la gamme de variabilité étudiée semblent porter uniquement sur la **qualité de la production.** Enfin, on identifie un indicateur de l'état végétatif des plantes, **le diamètre de la tige.**

**TROISIEME PARTIE**

**EFFET DE LA CONDUITE PLANTE PAR PLANTE  
SUR LA PRODUCTION D'UN PEUPEMENT HETEROGENE**



## A - OBJECTIFS ET DEMARCHE

Dans la deuxième partie, nous avons montré que l'hétérogénéité intra-peuplement joue sur la distribution des calibres et accroît leur dispersion. Dans la gamme étudiée, elle est sans effet sur le rendement mais pourrait avoir un effet négatif dans le cas d'une forte hétérogénéité. Or, dans les exploitations maraîchères, il n'est pas rare de rencontrer une variabilité beaucoup plus forte que celle que nous avons étudiée.

Dans la première partie, nous avons montré que pour certaines techniques manuelles, l'échelle d'action est la plante et que la consigne du serriste est appliquée différemment d'une plante à l'autre. L'existence d'une forte variabilité intra-peuplement complique la conduite de la culture, à la fois pour le diagnostic du maraîcher (difficultés à définir une consigne moyenne à partir de plantes très différentes), et pour l'action plante à plante des ouvriers.

Ces arguments justifient d'étudier, dans la troisième partie, l'intérêt agronomique d'adapter les techniques manuelles à l'état de chaque plante, dans le cas d'un peuplement hétérogène.

La troisième partie cherche à répondre à 3 questions :

**Q1 : Est-il possible, par des techniques culturales individualisées, de modifier l'état végétatif et le rendement d'une plante au sein du peuplement ?**

Cette question conduit à s'interroger sur le déterminisme de l'état végétatif à l'échelle de l'individu (effet du potentiel de la plante, du milieu et notamment de la compétition des plantes voisines, des interventions humaines ...) Elle cherche également à faire la part, dans l'évolution de la variabilité, de ce qui est définitif et de ce qui peut évoluer au cours du cycle.

**Q2 : La conduite plante par plante réduit-elle l'hétérogénéité du peuplement ?**

**Q3 : Quel est l'effet de la conduite plante par plante sur la production par unité de surface ?**

Nous avons choisi une **démarche d'expérimentation**, pour les mêmes raisons que dans la deuxième partie : l'enquête n'était pas une source d'informations adéquate à ce stade premier de l'analyse, car nous risquions de ne pas recueillir tous les paramètres pour caractériser l'environnement et l'état de chaque plante.

Le principe de l'expérimentation consiste à **comparer les peuplements sur lesquels les techniques sont adaptées plante par plante à un peuplement témoin**, qui présente la même hétérogénéité, mais sur lequel les techniques sont appliquées de façon identique sur toutes les plantes.

Parmi les techniques testées, certaines reproduisent les pratiques des maraîchers, telles qu'elles sont apparues dans la première partie ; d'autres ont été "inventées" à partir de la théorie agronomique.

\* Les premières visent à utiliser à l'échelle de la plante des techniques déjà connues pour leurs effets sur la production du peuplement, et qui sont déjà partiellement adaptées à l'état de

**chaque plante sur certaines exploitations**, de façon empirique. Le choix des techniques testées s'est fait en fonction des critères suivants :

**- la marge de manoeuvre pour chaque technique et son effet présumé sur le rendement :**

Ces deux critères ont permis, au démarrage des travaux, une première classification des techniques (figure 8 p.18). La grille a été ensuite précisée grâce aux résultats de la première partie : les techniques d'éclaircissage, d'ablation de bouquet et d'ébourgeonnage peuvent être réalisées sur chaque plante indépendamment des plantes voisines<sup>1</sup>. D'autres doivent nécessairement tenir compte des plantes voisines : l'effeuillage et le palissage résultent d'un compromis entre les vitesses de croissance en longueur des tiges des différentes plantes.

**- l'organisation du travail dans la serre :**

Le stade d'ébourgeonnage a vraisemblablement un effet sur l'état végétatif, donc sur le rendement de la plante, mais comme il est fait à intervalle de temps fixe et un jour donné sur toutes les plantes de la serre, il ne peut pas être envisagé comme moyen d'action à l'échelle de la plante.

**D'après ces critères, les opérations de régulation du nombre de fruits semblent très intéressantes.** D'ailleurs, ce sont celles qui sont les plus fréquemment adaptées plante par plante dans les exploitations maraîchères.

**\* L' "invention" de nouvelles techniques** repose sur la connaissance du fonctionnement du peuplement végétal et notamment sur le fait que la compétition entre plantes est principalement liée à l'interception de l'énergie lumineuse. C'est pourquoi, nous avons testé des techniques qui réduisent les capacités de compétition, vis à vis de la lumière, des plantes les plus vigoureuses et augmentent celles des plantes les plus faibles.

Pour chaque technique étudiée, les différentes modalités sont choisies, non pas en fonction de l'état végétatif réel de chaque individu, mais en fonction de l'état moyen du type de plantes. En effet, nous ne disposons pas encore de caractérisation de l'état végétatif de chaque plante suffisamment précise et en temps réel. L'indicateur diamètre de tige est assez performant pour estimer la surface foliaire a posteriori mais n'a pas été étudié pour estimer la surface foliaire en temps réel, à plus forte raison la "vigueur". De plus, l'expérimentation à partir de la typologie facilite le traitement statistique des données.

Le choix des modalités à tester s'appuie sur la connaissance des interactions entre les techniques et l'état végétatif des plantes, connues à divers degrés de précision suivant les techniques : l'ablation de bouquet a fait l'objet d'une expérimentation (essai *Ablation*). Les modalités pour les autres techniques sont choisies en fonction de la bibliographie, de notre connaissance du fonctionnement de la plante et des avis d'experts.

Notre objectif est de tester l'adaptation de techniques plante par plante, mais la méthode d'expérimentation choisie consiste à appliquer une technique moyenne par type de plante. Il est donc indispensable que la variance intra-type soit faible par rapport à la variance inter-types. C'est pourquoi, c'est le deuxième dispositif de variabilité, faisant varier la date de plantation, qui a été choisi, car c'est celui qui permet de différencier le plus nettement et le plus longtemps les types de plantes les uns des autres.

<sup>1</sup> Cependant, il est également possible de jouer sur la compétition inter-plantes par ce biais, puisque ces techniques modifient la surface foliaire des plantes traitées.

## B - MATERIELS ET METHODES

Dans cette partie, trois essais sont utilisés. L'essai *Ablation* analyse les **interactions** entre l'état végétatif et la technique d'ablation de bouquet. Les essais *Techniques* et *Eclaircissage* testent l'**adaptation plante par plante** de quelques techniques.

### 1. LES DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX

#### 1.1 LES PEUPELEMENTS

**C'est le peuplement T3, alternance de plantes No et Ro, qui est à la base de l'étude.**

Suivant la place disponible pour chaque essai, le nombre de plantes par parcelle varie. Il en est de même de la nature des plantes de bordure, comme cela a déjà été signalé dans la deuxième partie.

#### 1.2 LES TECHNIQUES TESTEES

Pour les techniques de régulation du nombre de fruits, **l'éclaircissage et l'ablation de bouquet**, la bibliographie est abondante, tant en matière de préconisations (interaction avec l'état végétatif) qu'en ce qui concerne les mécanismes impliqués. Les deux techniques peuvent s'interpréter à partir de la compétition entre organes à l'échelle de la plante : **elles modifient la répartition des assimilats dans la plante**, ce qui a un effet direct sur le rendement. De plus, elles peuvent permettre **une augmentation de la surface foliaire**, donc un changement des capacités de compétition entre plantes. C'est donc aussi indirectement, en augmentant l'interception du rayonnement et la production de biomasse, que le rendement peut être modifié.

**Nous faisons l'hypothèse que la réduction du nombre de fruits sur une plante "faible" Ro a un effet positif sur sa production (rendement et/ou qualité) et augmente ses capacités de compétition vis à vis des plantes "vigoureuses" (No) voisines.**

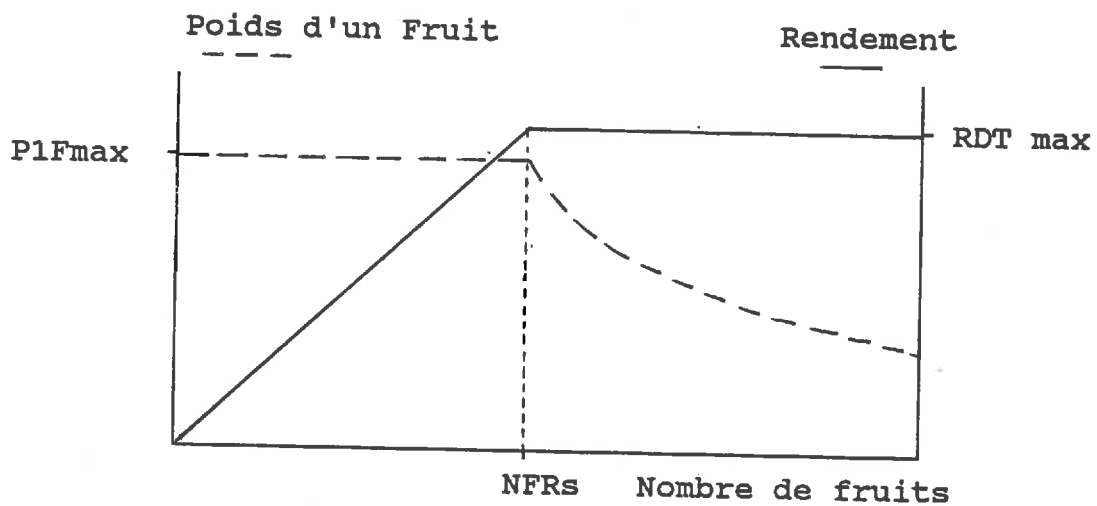
La "conception" de nouvelles techniques de conduite plante par plante a pour **objectif d'augmenter le rayonnement incident sur les plantes "faibles" No**. Les techniques testées consistent :

- soit à **réduire la surface foliaire** des plantes "vigoureuses" No voisines, donc le rayonnement qu'elles interceptent,
- soit à **faire varier l'écartement** entre plantes sur le rang pour augmenter le rayonnement incident sur les plantes "faibles" Ro.

Les techniques testées sont récapitulées ci-dessous, en fonction de leur mode d'action :

Action directe sur les plantes Ro : Compétition intra-plante		Action indirecte sur les plantes Ro : Compétition inter-plantes	
Diminution du nombre de fleurs sur Ro		Augmentation du rayonnement incident	
Eclaircissage de bouquet	Ablation de bouquet	Effeuilage des plantes voisines	Changement des distances

FIGURE 3.1 : RELATIONS HYPOTHETIQUES ENTRE NOMBRE DE FRUITS PAR PLANTE, POIDS MOYEN D'UN FRUIT ET RENDEMENT SUR TOMATE



D'après les modèles établis sur maïs (Fleury, 1991)

Nous n'avons pas étudié les interactions entre techniques, ce qui s'explique par la difficulté à tester simultanément les effets simples et les effets interactifs, alors que la surface disponible dans la serre est très limitée. Cependant, ce choix est réducteur. D'une part, le fonctionnement du peuplement cultivé n'est pas géré par des phénomènes additifs, mais interactifs ; d'autre part, lorsque ce sont les maraîchers eux-mêmes (et non leur personnel) qui travaillent sur les plantes, ils adaptent plante par plante plusieurs techniques simultanément. De plus, ils peuvent être amenés à modifier le climat de la serre, la ferti-irrigation. Le problème de la non prise en compte des interactions, imposé par les contraintes expérimentales, devra donc être très sérieusement discuté.

### 1.2.1 L'ablation de bouquet (traitements ABL)

L'ablation de bouquet est considérée par les maraîchers comme un moyen de "redonner de la vigueur à une plante faible". D'après la bibliographie, elle modifie l'équilibre entre appareils végétatif et reproducteur : la suppression de fleurs, forts puits potentiels, entraîne une redistribution des assimilats vers les fruits restants et la partie végétative, ce qui augmente la photosynthèse de la plante et rétablit l'équilibre entre offre et demande en assimilats carbonés. Il existe donc un consensus sur l'effet qualitatif de l'ablation de bouquet.

Par contre, l'effet sur le rendement est sujet à controverses. L'augmentation du calibre des fruits est d'autant plus importante que le calibre avant ablation est petit, donc que la croissance végétative est réduite. Mais les conséquences sur le rendement sont très variables (effet négatif, nul ou positif suivant les cas). Il dépend très vraisemblablement du nombre de bouquets supprimés, du climat extérieur (rayonnement), des techniques (et notamment celles gérant le climat de la serre : température...) et d'autres paramètres tels que le degré d'anticipation : les experts indiquent que l'ablation est d'autant plus efficace sur la vigueur et la production qu'elle est faite précocement, à la fois sur le bouquet (avant floraison) et par rapport à l'évolution de la vigueur ; elle devrait toujours être faite avant d'observer l'affaiblissement. Or, l'augmentation progressive de la charge en fruits, qui atteint son maximum juste avant le début de la récolte fait que la période critique pour l'équilibre de la plante se situe aux alentours de la floraison des bouquets 4 à 6, suivant l'état des individus à la plantation, la charge en fruits et le climat. Ce sont donc les pratiques des maraîchers qui ont permis de définir le traitement expérimental.

En 1989 (essai *Ablation*), les bouquets 5 et 17 ont été supprimés, mais il semble que la première ablation ait été trop tardive (Cf résultats). La seconde ablation n'était pas justifiée par l'état des plantes, mais avait seulement pour objectif de confirmer les résultats établis précédemment.

En 1990 (essai *Techniques*), pour anticiper l'affaiblissement, c'est le bouquet 4 qui a été supprimé.

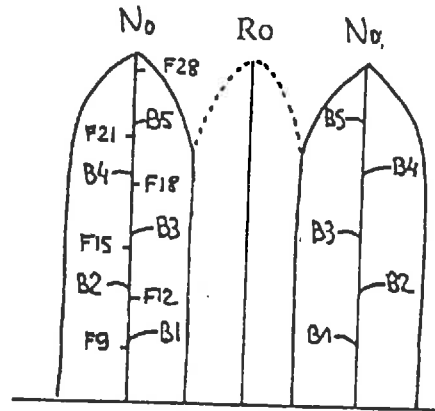
La suppression du bouquet a eu lieu dans les deux essais avant la floraison, dès que le bouquet pouvait être saisi, comme le préconisent maraîchers et agronomes (Buitelaar, 1978).

### 1.2.2 L'éclaircissage de fruits (traitement ECL)

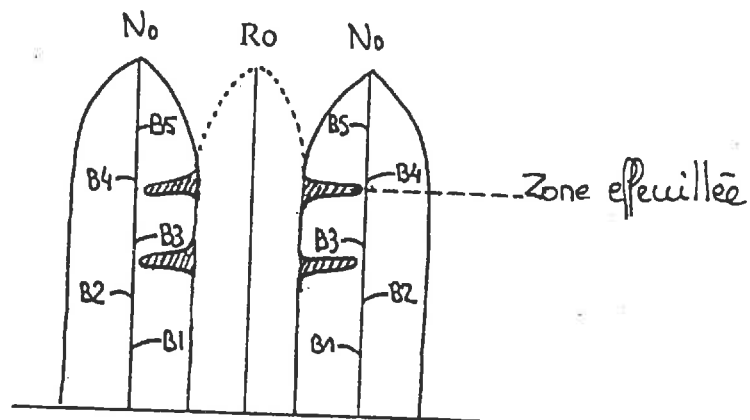
L'éclaircissage est systématique sur les variétés à croissance indéterminée, car le nombre de fleurs susceptibles de nouer est très supérieur aux capacités de remplissage de la plante. Les maraîchers adaptent la consigne d'éclaircissage en fonction de la vigueur de la culture, la fourchette se situant entre 3 et 6 fruits par bouquet. L'effet sur le poids moyen des fruits et le rendement peut être discuté à partir des courbes classiques établies sur céréales (figure 3.1), entre nombre de grains par m<sup>2</sup> et poids moyen d'un grain.

FIGURE 3.2 : DEFINITION DES TRAITEMENTS EFFEUILLAGES

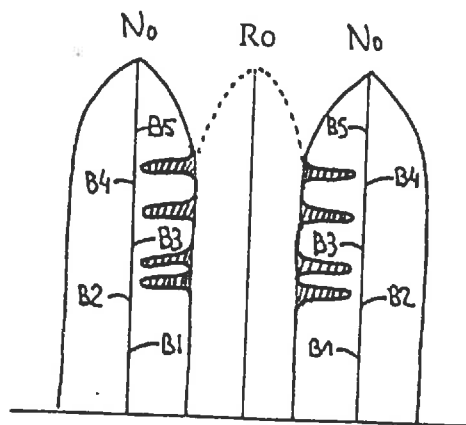
Traitement TEMOIN



Traitement EFF1 : suppression de 2 feuilles



Traitement EFF2 : suppression de 4 feuilles



Les parties hachurées indiquent la position des feuilles éliminées.

Pour définir le traitement, nous avons adopté le même principe que pour l'ablation de bouquet : **réduction du nombre de fleurs sur le type Ro par rapport au type No**. Mais dans ce cas, le nombre moyen de fleurs par unité de surface est maintenu constant. On tente ainsi d'optimiser la répartition du nombre de fruits sur des individus de potentiels différents.

**Le traitement Témoin est taillé à 5 fleurs par bouquet**, ce qui correspond à une pratique classique étant données la variété et la date de semis. **Sur le traitement ECL, on laisse 4 fleurs par bouquet sur le type Ro, et 6 sur le type No** ; la moyenne sur la parcelle est ainsi égale à la consigne d'éclaircissage sur le traitement témoin.

L'éclaircissage est réalisé, comme dans les préconisations et sur le traitement Ablation, **au stade le plus précoce**, dès que le bouquet peut être saisi. Sur chaque bouquet, ce sont les  $n$  ( $n=4,5,6$ ) fleurs proximales qui sont supprimées, indépendamment de leur qualité (Cf figure 1.6, p.32).

La première fleur donne fréquemment un fruit déformé ; d'autres fleurs du bouquet peuvent aussi présenter ce défaut. Il est évident que les maraîchers, dans ce cas, effectuent un choix, pour ne laisser que les fleurs donnant les fruits de meilleure qualité, mais cette pratique semblait difficile à analyser et nous y avons renoncé.

L'éclaircissage a eu lieu **sur tous les bouquets**, au fur et à mesure de leur apparition.

### 1.2.3 L'effeuillage (traitements EFF1 et EFF2)

Le traitement Effeillage diffère quelque peu de la technique qui porte le même nom, et que nous avons étudié dans la première partie. En effet, l'effeuillage le plus couramment pratiqué par les maraîchers consiste à supprimer progressivement les feuilles en partant de la base de la plante, pour permettre le palissage. Certains suppriment toutefois de façon isolée quelques feuilles sur la plante (au dessus de la zone d'effeuillage habituelle), soit pour éclairer un bouquet en cours de maturation, soit pour **réduire l'ombrage des plantes voisines** si le feuillage est très abondant.

C'est cette dernière action que nous avons simulé : **quelques feuilles sont supprimées sur les plantes No pour réduire le rayonnement qu'elles interceptent et augmenter le rayonnement incident sur les plantes Ro**.

Ce traitement repose sur quatre hypothèses, qui seront critiquées dans la discussion :

H1 : Le facteur limitant pour les plantes Ro est le rayonnement.

H2 : L'effeuillage des plantes No augmente le rayonnement incident sur les plantes Ro.

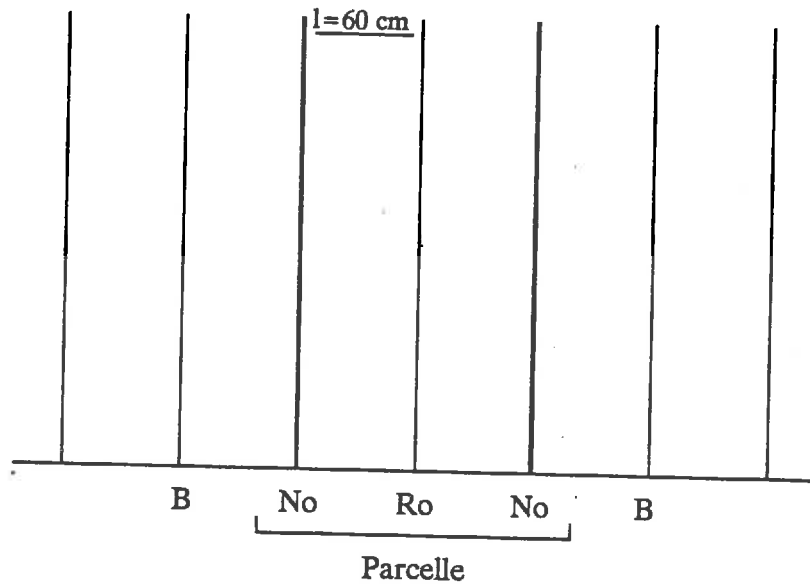
H3 : Les feuilles de la plante Ro qui bénéficient d'un supplément de rayonnement ont encore une activité photosynthétique importante.

H4 : la suppression de quelques feuilles sur les plantes No ne pénalise pas fortement leur production, condition importante dans un objectif d'aide à la décision : quel que soit l'effet sur la qualité de la production, on ne peut pénaliser trop fortement le rendement du couvert.

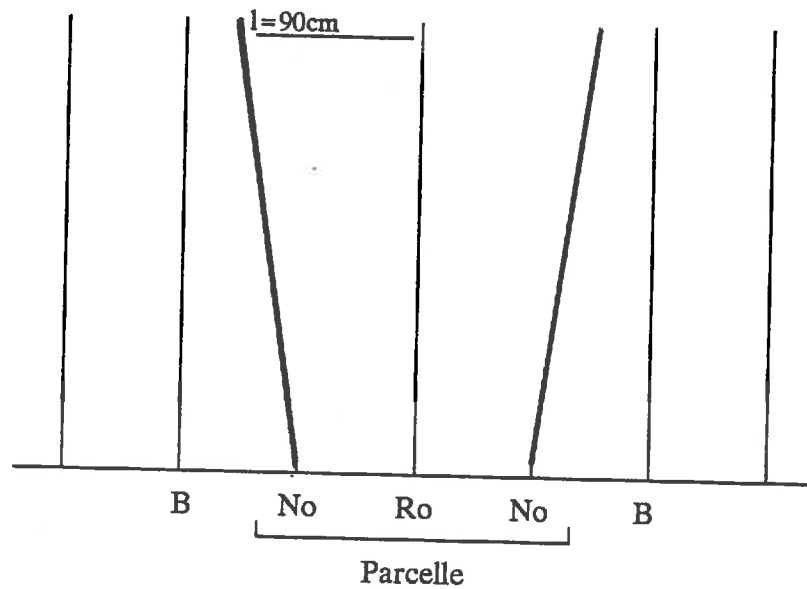
D'après la bibliographie, l'effeuillage partiel de toutes les plantes du couvert entraîne une diminution de rendement fonction de sa sévérité (Wolk, 1983 ; Slack, 1980) ; si peu de feuilles sont éliminées, le rendement n'est pas affecté de façon significative (Slack & Bezer, 1984 ; Wiebe, 1969). Nous avons supposé que le même type de relation existait à l'échelle de la plante dans un peuplement hétérogène. C'est pourquoi, nous avons choisi deux modalités d'effeuillage: suppression respectivement de 2 et 4 feuilles par plante No pour les traitements

**FIGURE 3.3 : DEFINITION DU TRAITEMENT DISTANCE**

**Traitement TEMOIN : Distance constante entre plantes**



**Traitement DIST : Augmentation de la distance entre la plante Ro et ses voisines**



Les traits indiquent la position des tiges dans le plan vertical.

B : Plantes de bordure



### **EFF1 et EFF2.**

Etant donnée la structuration de la plante en sympodes, et l'hypothèse d'allocation préférentielle des assimilats intra-sympode, nous avons essayé de faire en sorte que les feuilles éliminées aient toujours la même position par rapport au sympode : au milieu de chaque sympode, sous le bouquet (Cf figure 9 p.51). Cependant, comme l'objectif est d'augmenter le rayonnement incident sur la plante Ro, l'effeuillage doit être orienté vers cette plante. C'est pourquoi, la position théorique de la feuille dans le sympode n'a pas toujours été respectée. Le traitement Effeillage devra donc être caractérisé plante par plante. En moyenne, les deux feuilles supprimées sur le traitement EFF1 se situent sous les bouquets B3 et B4 ; les quatre feuilles du traitement EFF2 entre les bouquets B2 et B4 (figure 3.2).

L'effeuillage a lieu 99 jours après semis (mi-février), aux environs de la floraison du bouquet B5. En effet, cette date précède la période d'affaiblissement présumé des plantes Ro dû à l'augmentation de la charge en fruit ; de plus, c'est en hiver que le rayonnement est le plus limitant ; enfin, le nombre de feuilles sur les plantes est suffisant pour que la suppression de 2 et 4 feuilles ne représente pas un pourcentage trop fort (respectivement 7 et 14%).

Si nos hypothèses sont vérifiées, le traitement EFF2 qui crée un "trou de lumière" plus important, constitue un intermédiaire entre EFF1 et le traitement DIST suivant, en ce qui concerne le rayonnement disponible pour la plante Ro.

#### **1.2.4 Augmentation de la distance entre la plante Ro et ses voisines (traitement DIST)**

L'objectif est d'augmenter le rayonnement incident sur la plante Ro en diminuant la densité de feuillage autour d'elle par déplacement latéral des tiges des plantes voisines No (figure 3.3). Ce déplacement se fait à densité de plantation moyenne constante ; il s'agit seulement d'un réarrangement des tiges, après la plantation qui a eu lieu normalement.

Sur le peuplement témoin, l'écartement entre tiges est de 60 cm ; sur le traitement DIST, après déplacement, les plantes Ro sont distantes des plantes No de 90 cm au sommet de la serre. Cette intervention a eu lieu à j99, comme l'effeuillage, et a été maintenue telle quelle au cours des palissages suivants.

La figure 3.4 récapitule la position de chaque traitement dans le cycle cultural. Les autres techniques sont réalisées de façon aussi homogène que possible.

**Notations :** Comme, dans les deux essais de conduite plante à plante (*Techniques et Eclaircissage*), le peuplement de base est toujours T3, nous avons simplifié les notations (tableau 3.1) :

- les peuplements sont repérés par la seule technique : ABL, ECL, EFF1, EFF2, DIST (ex: ABL correspond au peuplement T3 avec ablation de bouquet sur la plante Ro),
- les plantes sont repérées par leur type (No ou Ro) et la technique (ex: Ro/ABL) ; celle-ci est indiquée entre crochets lorsqu'elle est réalisée sur la plante voisine (ex : No/[ABL]).

Dans l'essai *Ablation*, les conventions établies pour la deuxième partie sont maintenues.

FIGURE 3.4 : POSITION DES TRAITEMENTS ET DES PRINCIPALES TECHNIQUES DANS LE CYCLE CULTURAL

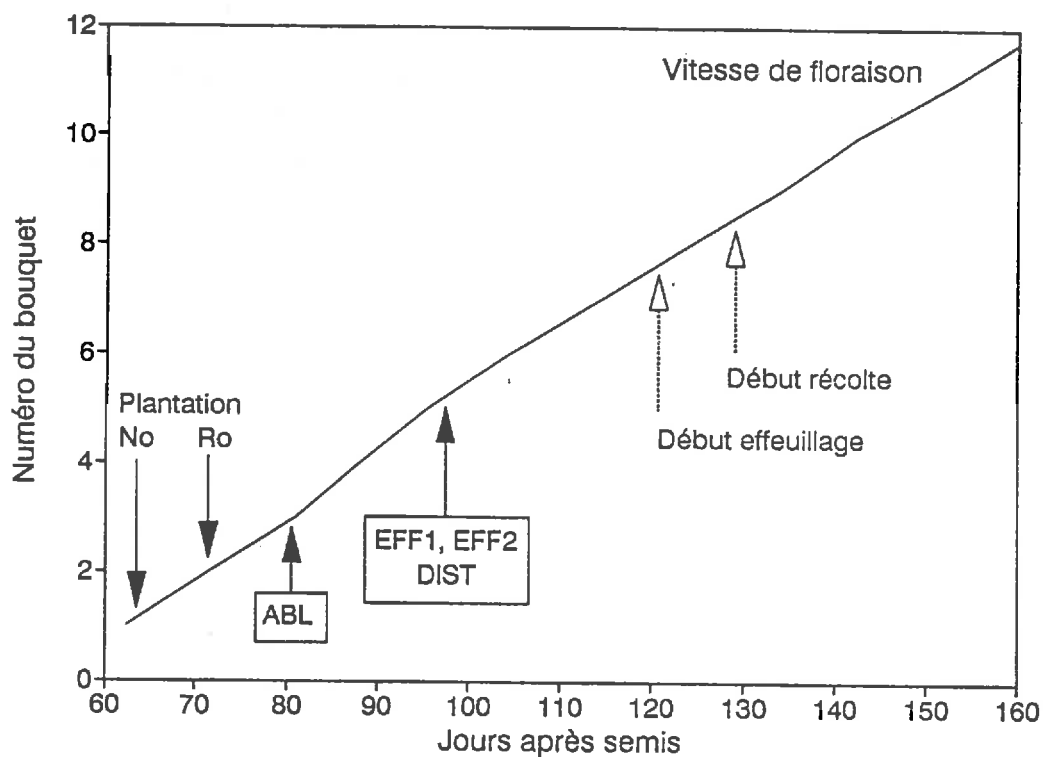


TABLEAU 3.1 : RECAPITULATIF DES NOTATIONS

Traitement	Plantes concernées	Notation
Témoin	No Ro	No/TEM Ro/TEM
Ablation de bouquet	No Ro	No/[ABL] Ro/ABL
Eclaircissage	No Ro	No/ECL Ro/ECL
Effeuilage	No Ro	No/EFF Ro/[EFF]
Distance	No Ro	No/DIST Ro/DIST

Dans l'essai Ablation, les peuplements Homogènes T1No et T1Ro sur lesquels l'ablation de bouquet a lieu, sont notés T1No/ABL et T1Ro/ABL.

### 1.3 LES DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX

Les techniques exposées précédemment sont testées dans les essais *Techniques* et *Eclaircissage*, qui ont eu lieu deux années différentes. Comme la surface disponible dans la serre et la quantité de travail nécessaire ne nous permettait pas de reproduire les traitements deux années successives, il n'y a pas de répétition, ce qui aurait permis de confirmer les résultats et de tester les interactions avec le climat. Les principales différences climatiques entre ces deux années sont récapitulées dans l'annexe 7a.

Rappelons que les dispositifs expérimentaux (annexe 8) sont construits pour prendre en compte le mieux possible la variabilité spatiale du climat (annexe 7b).

#### *1.3.1 Essai Ablation*

L'essai *Ablation*, partiellement traité dans la deuxième partie, comporte les peuplements témoins T1No et T1Ro, et les peuplements T1No/ABL et T1Ro/ABL sur lesquels l'ablation de bouquet est faite sur toutes les plantes.

Chaque parcelle est formée de 12 plantes disposées sur 2 rangs. Le dispositif est un système en blocs complets avec 3 répétitions.

#### *1.3.2 Essai Techniques*

L'essai *Techniques* comporte deux peuplements témoins T3 et T1Ro, sur lesquels les techniques sont réalisées de façon homogène, et les peuplements ABL, EFF1, EFF2, DIST.

A l'exception du traitement T1Ro, les parcelles sont constituées de 3 plantes disposées sur un unique rang : une plante Ro entourée de 2 plantes No. Le deuxième rang est formé de plantes No, ainsi que les plantes en bordure de la parcelle, sur la même ligne. Le dispositif complet comporte 6 traitements dans un plan en blocs incomplets (5 répétitions par traitement réparties sur 6 blocs).

#### *1.3.3 Essai Eclaircissage*

L'essai *Eclaircissage* comporte le peuplement témoin T3 et les traitements ECL et EXP. Ce dernier, résultat de la pratique d'éclaircissage d'un expert, a été analysé dans la première partie et ne sera pas repris ici.

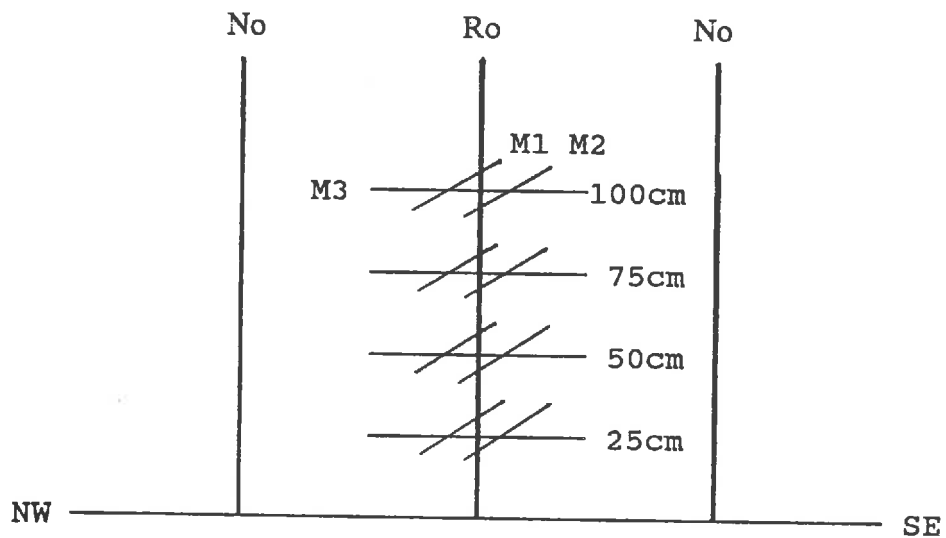
Les parcelles sont constituées de 8 plantes No et Ro en alternance sur deux rangs ; les plantes de bordure sur la ligne suivent le même schéma d'hétérogénéité (alternance 1/1). Le dispositif complet comporte 3 traitements dans un plan en blocs complets avec 4 répétitions.

TABLEAU 3.2 : RECAPITULATIF DES MESURES

Variables	Ablation	Techniques	Eclaircissage
Stades de développement (bouquets)	B1 à B20	B1 à B12	B1 à B15
Masse sèche de bourgeons : MSBG(t)		*	
Masse sèche de feuilles : MSF(t)		E1 à E8	
Masse sèche de la tige : MST		*	
Nombre de feuilles par étage : NFn	E1 à E20	E1 à E11	E1 à E15
Diamètre de tige : Dn	E1 à E20	E1 à E11	E1 à E14
Nombre de fleurs par bouquet : NFLn	B1 à B20	B1 à B11	B1 à B15
Nombre de fruits noués par bouquet	B1 à B20	B1 à B11	B1 à B15
<b>Rendement</b>			
par date et par bouquet	*	*	
par date			*
jusqu'à ... (date)	12/07	30/05	08/07
(numéro de bouquet)	B20	B8 mûr, B11 vert	
<b>PAR incident (PAR<sub>i</sub>)</b>			*
jour de mesure		j99	

Les mesures réalisées sont indiquées soit par le niveau (étage, bouquet), soit par une astérisque.

FIGURE 3.5 : POSITION DES MESURES DE RAYONNEMENT REALISEES AU CEPTOMETRE



Longueur du ceptomètre : 60cm

## 2. NOTATIONS ET MESURES

La plupart des mesures réalisées étant déjà presque toutes décrites dans la deuxième partie (p.80), nous précisons seulement quelles variables sont effectivement disponibles par essai (tableau 3.2). Sont caractérisés :

- la vitesse de développement
- l'appareil végétatif (feuilles, tige, bourgeons)
- la production
- le rayonnement incident ( $PAR_i$ ) sur la plante  $R_o$

Le rayonnement à l'intérieur d'un couvert de tomate en rang et sous serre est difficile à appréhender avec exactitude (Cf synthèse bibliographique, et notamment Baille & Tchamitchian, 1991 ; Graham et al., 1990) : il dépend de multiples paramètres (hauteur du soleil, heure de la journée, ombrages de la charpente, variabilité locale de l'indice foliaire...). Nous avons donc essayé d'estimer l'effet des traitements Effeillage et Distance sur le rayonnement, sinon de façon précise, du moins qualitativement.

Nous ne disposons pas de suffisamment de capteurs pour mesurer le rayonnement en continu ; les mesures sont faites de façon ponctuelle à différentes heures de la journée, à partir d'un capteur linéaire de 60 cm de longueur (ceptomètre *Decagon*). Elles ont lieu à plusieurs endroits sur la plante (figure 3.5) :

- . 4 hauteurs : 25, 50, 75 et 100 cm à partir du sol
- . 3 positions dans un plan horizontal :
  - perpendiculairement au rang de culture, à 10 cm de part et d'autre de la tige  $R_o$  : mesures M1 et M2
  - parallèlement au rang de culture, du côté de l'allée, à 10 cm de la tige  $R_o$ .

## 3. TRAITEMENT DES DONNEES

Les remarques faites dans la deuxième partie (p.83) sont toujours valables.

**TABLEAU 3.3 : EFFETS DU TRAITEMENT ECLAIRCISSEMENT SUR LES INDIVIDUS ET LE PEUPEMENT**

Méthode : Analyse de variance Essai Eclaircissage ; dispositif en blocs

Facteurs étudiés : a) 6 traitements : No/TEM, Ro/TEM, No/ECL, Ro/ECL, No/EXP, Ro/EXP  
b) 3 peuplements : TEM, ECL, EXP

**a) Effet sur les individus : comparaison des 4 traitements**

Variable	Proba Trait.	Moyennes No		Moyennes Ro	
		TEM	ECL	TEM	ECL
Nb de bouquets fleuris à j <sub>150</sub> Diamètre de tige (B1 à B12, mm)		10.6	10.4	10.0	< 10.5
		13.6	13.1	12.5	< 13.3
Nb de Fruits Noués moyenne B1 à B3 moyenne B1 à B12	***	4.9	<<< 5.4	4.9	>>> 4.0
	**	4.5	< 4.9	4.4	>> 3.8
Nb de Fruits Récoltés à j <sub>139</sub> (fin Mars) à j <sub>169</sub> (fin Avril) à j <sub>210</sub> (fin Mai) à j <sub>233</sub> (fin cult.)		5.5	4.0	5.5	3.9
	**	21.4	22.1	20.8	> 18.6
	***	40.0	41.4	40.1	>> 37.3
	*	52.3	55.1	52.5	> 48.5
Poids d'un fruit (moyenne à j <sub>233</sub> , g)	*	178	170	179	< 195
Production (kg) à j <sub>139</sub> (fin Mars) à j <sub>169</sub> (fin Avril) à j <sub>210</sub> (fin Mai) à j <sub>233</sub> (fin cult.)		0.89	0.72	0.90	0.67
	**	3.38	3.41	3.42	3.25
	**	7.02	6.69	6.93	6.95
		9.34	9.34	9.38	9.44

**b) Effet sur le peuplement : comparaison des 2 peuplements TEM et ECL**

Variable	Proba Trait.	Moyennes		C.V. (%)	
		TEM	ECL	TEM	ECL
Nb de Fruits Noués moyenne B1 à B3 moyenne B1 à B12	***	4.9	>>> 4.7	4	15
		4.4	4.3	6	13
Nb de Fruits Récoltés à j <sub>139</sub> (fin Mars) à j <sub>169</sub> (fin Avril) à j <sub>210</sub> (fin Mai) à j <sub>233</sub> (fin cult.)		5.5	3.9	11	13
		21.1	20.4		
		40.1	39.3		
		52.4	51.8		
Poids d'un fruit (moyenne à j <sub>233</sub> , g)		179	182	9	14
Rendement (kg/plante) à j <sub>139</sub> à j <sub>169</sub> à j <sub>210</sub> à j <sub>233</sub>		0.89	0.69	15	13
		3.45	3.33		
		6.98	6.82		
		9.36	9.39		

## C - RESULTATS

L'analyse des résultats (chapitres 1 à 4) est faite en 3 étapes : après avoir caractérisé les traitements, on étudie successivement l'effet de la technique sur la plante traitée, puis son effet sur les plantes voisines et le peuplement. La discussion ne portera que sur l'effet de chaque technique sur la plante traitée.

L'ensemble des résultats sera repris dans la discussion générale, pour déterminer l'effet d'une conduite plante à plante sur un peuplement Hétérogène.

### 1. ECLAIRCISSEMENT (ECL)

#### 1.1 EFFETS DE L'ECLAIRCISSEMENT SUR LES INDIVIDUS

##### 1.1.1 Caractérisation des traitements

Dans ce paragraphe, nous vérifions si le traitement Eclaircissement (ECL) a bien atteint son objectif, à savoir que :

- la charge en fruits des plantes Ro/ECL est inférieure à celle du témoin Ro/TEM,
- la charge en fruits des plantes No/ECL est supérieure à celle du témoin No/TEM.

Comme le traitement expérimental a consisté à jouer sur le nombre de fleurs, il faut caractériser les différences au niveau du nombre de fruits noués par bouquets.

Les résultats du tableau 3.3a confirment que le nombre de fruits noués par bouquet est le plus élevé sur les plantes No/ECL, le plus faible sur les plantes Ro/ECL, et ce sur la totalité des bouquets enregistrés. Les différences entre les traitements ECL et TEM sont très significatives pour chaque type de plantes.

Nous vérifions, comme établi dans la deuxième partie, que sur le peuplement témoin éclairci de façon homogène, le nombre de fruits sur les plantes Ro est un peu plus faible que sur No.

Sur tous les traitements, le nombre de fruits noués par bouquet est inférieur à la consigne d'éclaircissement. Or, nous avons vérifié que le nombre de fleurs avant éclaircissement permettait de respecter la consigne dans la majeure partie des cas. L'écart entre les nombres de fruits objectif et réel provient donc du taux de nouaison.

Le taux de nouaison par bouquet est d'autant plus faible que le nombre de fleurs est élevé (figure 3.6). En début de cycle cultural (moyenne des bouquets B1 à B5), il diminue peu lorsque la consigne d'éclaircissement passe de 4 à 5 fleurs par bouquet, la diminution est surtout sensible pour la consigne de 6 fleurs par bouquet. Plus tard dans le cycle cultural (bouquets B6 à B10), une diminution du taux de nouaison est observée dès qu'on laisse 5 fleurs par bouquet.

En moyenne, les plantes No et Ro du traitement Témoin, taillées à 5 fleurs, ont de l'ordre de 4.5 fruits par bouquet ; les traitements No/ECL et Ro/ECL, taillés respectivement à 6 et 4 fleurs, ont 4.9 et 3.8 fruits par bouquet. Le traitement Eclaircissement a donc atteint son objectif qualitativement, mais l'écart souhaité entre No et Ro (2 fruits par bouquet) n'est pas atteint, puisqu'il est seulement de 1.1 fruit.

FIGURE 3.6 : RELATION ENTRE LE NOMBRE DE FLEURS PAR BOUQUET ET LE TAUX DE NOUAISON

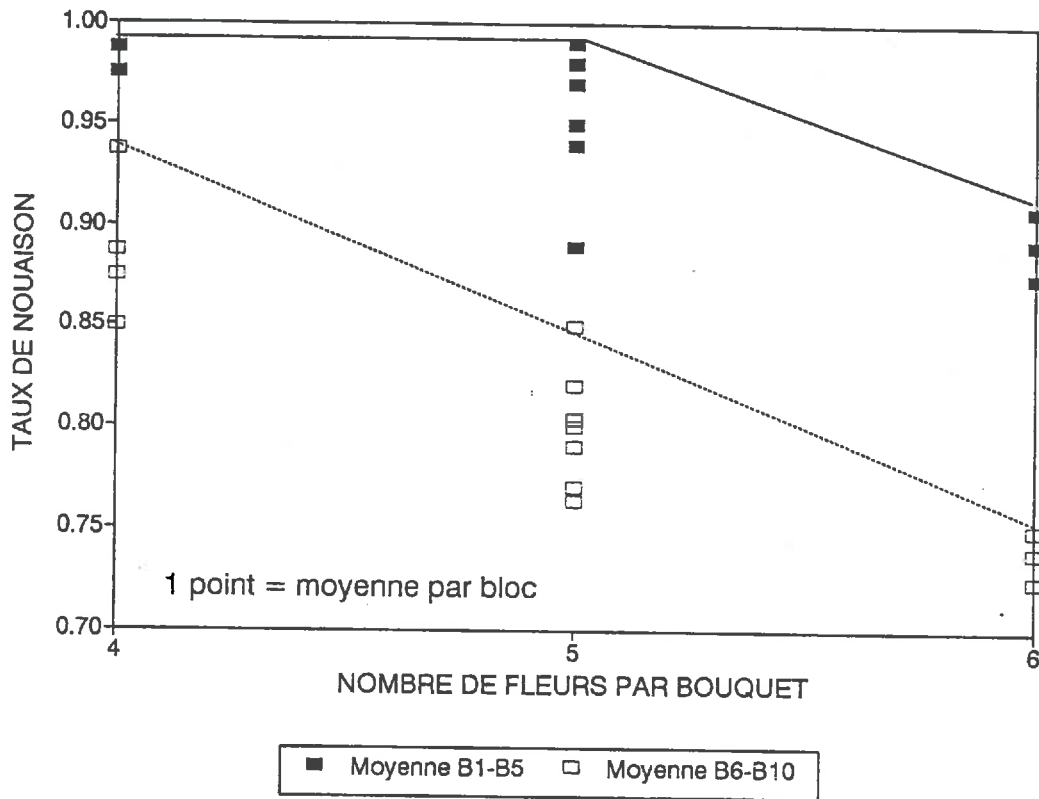
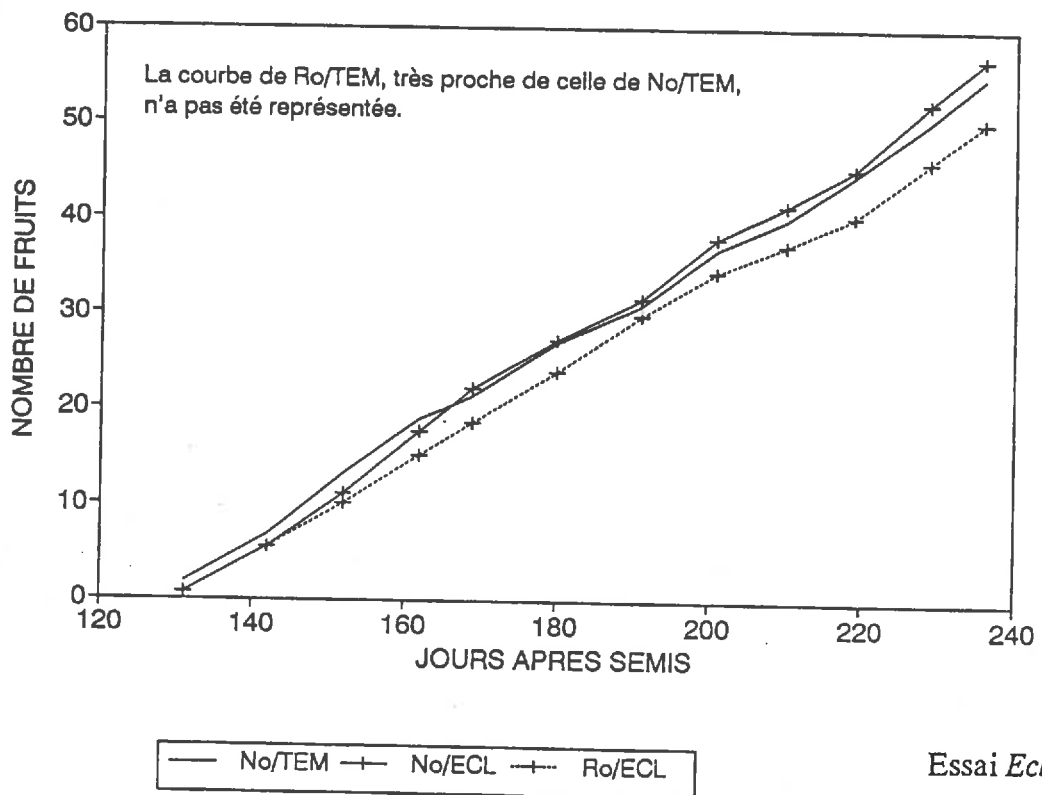


FIGURE 3.7 : EFFET DU TRAITEMENT ECLAIRCISSAGE SUR LE NOMBRE DE FRUITS RECOLTES



Essai Eclaircissage



### 1.1.2 Effets de l'Éclaircissage sur les plantes No (comparaison de No/TEM et No/ECL)

Sur les plantes No du traitement ECL, la vitesse de floraison et le diamètre de tige ne sont pas significativement différents du traitement Témoin (tableau 3.3a). Cependant, sur les plantes No/ECL, le diamètre moyen de la tige est très faiblement réduit par rapport au témoin (-4%), et cette différence est négative sur tous les étages entre B4 et B10. Cette constance du phénomène, bien qu'il ne soit pas démontré statistiquement, nous incite à penser que l'augmentation du nombre de fleurs sur les plantes No a eu probablement un effet négatif sur l'appareil végétatif.

**Le rendement est décomposé en nombre de fruits et poids moyen.**

Comme la vitesse de développement est identique sur les plantes No des deux traitements, le nombre de fruits récoltés à une date résulte principalement du nombre de fruits noués par bouquet, donc de la consigne d'éclaircissage. A l'exception de la première date de récolte ( $j_{139}$ , fin mars), le nombre de fruits est légèrement supérieur sur les plantes No/ECL (tableau 3.3a et figure 3.7).

Par contre, l'augmentation du nombre de fleurs semble avoir retardé le début de la récolte. Les fruits récoltés à  $j_{139}$  appartiennent au bouquet B1. Comme ce bouquet a fleuri en même temps sur les deux traitements (Cf vitesse de développement), sa vitesse de maturation pourrait avoir été ralentie par la présence d'un fruit supplémentaire.

Cependant, l'écart à  $j_{139}$  n'est pas significatif, ce qui doit être rapproché du C.V. résiduel beaucoup plus élevé que sur les autres variables (>25% contre < 5%) : il existe une forte variabilité entre plantes de la date de début récolte, non expliquée par les variables enregistrées, et qui se retrouve aussi sur les autres essais.

Sur les plantes No/ECL, le poids moyen des fruits est légèrement inférieur au témoin, ce qui s'explique sans doute par l'augmentation du nombre de fruits, et donc de la compétition au sein du bouquet.

L'effet simultané du traitement ECL sur la vitesse d'apparition des bouquets, le nombre et le poids moyen des fruits des plantes No fait que leur rendement n'est jamais différent du témoin.

### 1.1.3 Effets de l'Éclaircissage sur les plantes Ro (comparaison de Ro/TEM et Ro/ECL)

Nous avons vu, dans la deuxième partie, que la vitesse de floraison du type Ro est plus faible que celle du type No, ce qui se confirme ici sur le traitement Témoin, bien que l'écart soit faible (tableau 3.3a). Mais avec un éclaircissage sévère (4 fleurs par bouquet), les plantes Ro/ECL retrouvent le même rythme de développement que les plantes No/ECL.

La réduction du nombre de fleurs entraîne une augmentation significative du diamètre de la tige.

Le nombre de fruits récoltés sur les plantes Ro/ECL est inférieur au témoin Ro/TEM (figure 3.7) ; cette différence est significative dès  $j_{169}$  (tableau 3.3a). Bien qu'un nombre supérieur de bouquets soient récoltés à une date donnée sur les plantes Ro/ECL, cela ne suffit pas à compenser la diminution de 0.6 fruits par bouquet due à l'éclaircissage.

Par contre, le poids moyen des fruits est significativement supérieur sur les plantes Ro/ECL ; à partir de la mi-juin, le rendement cumulé est égal au témoin.

### 1.1.4 Discussion

Dans un premier temps, nous faisons l'hypothèse que, sur le traitement Eclaircissage, nous pouvons discuter des conséquences du nombre de fleurs par bouquet sur les plantes No et Ro séparément, c'est à dire sans prendre en compte la compétition des plantes voisines. Cette hypothèse nous paraît raisonnable parce que la bibliographie indique que les composantes du rendement sont très fortement influencées par la consigne d'éclaircissage.

Des résultats précédents, il ressort qu'une faible réduction du nombre de fleurs (donc de fruits) par bouquet, augmente le poids moyen des fruits restants et le diamètre de la tige, sur les plantes No et Ro. Bien que la masse foliaire n'ait pas été mesurée, le chapitre 2 de la deuxième partie (p.92), qui établit la corrélation entre diamètre de tige et masse foliaire, laisse penser que celle-ci est accrue par l'éclaircissage. Si la masse surfacique est constante, ou peu variable au regard des différences de masse foliaire, on peut penser que la réduction du nombre de fleurs accroît la surface foliaire. Cependant, si tel est le cas, cela n'a pas entraîné d'augmentation de rendement. Face aux nombreux paramètres pouvant intervenir dans les processus d'interception du rayonnement, de production de matière sèche et d'élaboration du rendement (surface foliaire, rayonnement intercepté, efficacité de la production de biomasse, répartition au sein de la plante...), et faute d'enregistrement de ces facteurs, il n'est pas possible de confirmer ces hypothèses.

Cependant, ces résultats sont en accord qualitativement avec ceux de la bibliographie : une augmentation de poids moyen est observée par Buitelaar (1973, 1984) et par Hurd et al. (1979). Ces derniers mettent en évidence une redistribution des assimilats vers les autres organes : la masse de la tige, des feuilles et des racines est augmentée, la surface foliaire également, ce qui confère à la plante un potentiel photosynthétique supérieur.

Dans la bibliographie, l'effet sur le rendement est par contre beaucoup plus variable. L'ensemble des résultats convergent vers l'idée que la suppression d'un nombre limité de fruits ne réduit pas le rendement ; cependant, il est difficile de définir un seuil, qui dépend probablement de multiples facteurs : état végétatif de la plante au moment de la fructification (Hurd et al., 1979), conditions climatiques (date de semis, conditions de chauffage), variété... Dans la bibliographie, le nombre de fleurs supprimées est en général beaucoup plus élevé que ce qui a été fait dans notre essai (de 2 à 4 fleurs par bouquet pour Buitelaar, 2/3 des fleurs pour Hurd et al.). Cela pourrait expliquer que, dans notre essai, le traitement Eclaircissage ait le même rendement que le témoin, aussi bien pour les plantes No que pour les plantes Ro.

La vitesse de floraison des plantes Ro est accrue par l'éclaircissage, mais aucun effet n'a été constaté sur les plantes No, qui portent plus de fleurs. La bibliographie indique que la réduction du nombre de fleurs a un effet soit nul, soit positif sur la vitesse de développement ; après prise en compte de la température (somme de degrés-jours), elle dépend vraisemblablement de l'équilibre entre appareils végétatif et reproducteur, donc de l'état végétatif et de l'intensité de l'éclaircissage. L'absence de différence entre les deux traitements Témoin et Eclaircissage sur les plantes No pourrait s'expliquer par le fait que même avec 6 fleurs par bouquet, la croissance végétative des plantes No est suffisante pour ne pas réduire la vitesse de développement.

Notons cependant que, dans ce paragraphe, nous avons discuté simultanément de l'effet de l'éclaircissage sur les plantes No et Ro. Bien qu'il existe probablement des interactions entre état végétatif et éclaircissage, nous avons considéré que qualitativement, les effets seraient

identiques. Ceci est tout à fait raisonnable, étant donnée la permanence des effets de l'éclaircissage dans la bibliographie (sur le poids moyen du moins), alors que la diversité des essais (variété, date de semis...) conduit à des états végétatifs très variables. Par contre, l'intensité de l'effet de l'éclaircissage, dont découle l'effet sur le rendement, est probablement en interaction forte avec l'état végétatif. Mais comme dans le traitement Eclaircissage, on fait varier simultanément la charge en fruits sur la plante et la compétition des plantes voisines, nous ne pouvons tester cette hypothèse.

Nous reviendrons dans la discussion générale sur cette analyse indépendante des résultats sur les plantes No et sur les plantes Ro, et nous essaierons de prendre en compte l'effet de la compétition entre plantes.

**En conclusion, le traitement ECL a bien atteint son objectif de réduire le nombre de fruits sur les plantes Ro, et d'augmenter celui sur No. Cela modifie le schéma d'élaboration du rendement de chacun des individus du peuplement :**

**Sur les plantes No, qui portent 0.4 fruits/bouquet de plus que le témoin, le diamètre de la tige et le poids moyen sont légèrement inférieurs au témoin. L'augmentation du nombre de fruits et la diminution du poids moyen étant de même importance, il n'y a aucun effet sur le rendement.**

**Sur les plantes Ro, qui portent 0.6 fruits/bouquet de moins que le témoin, le phénomène est exactement inverse.**

### 1.2 EFFETS SUR LE PEUPEMENT DE LA CONDUITE PLANTE A PLANTE DE L'ECLAIRCISSEGE

Sur les 3 premiers bouquets, le nombre moyen de fruits noués par parcelle est significativement plus faible sur le peuplement éclairci plante par plante (ECL) (tableau 3.3b). Comme le nombre de fleurs moyen par parcelle est identique sur les deux peuplements, le taux de nouaison moyen est plus élevé lorsque l'éclaircissage est homogène que lorsqu'il est adapté plante par plante (0.98 contre 0.94).

Mais sur l'ensemble du cycle (bouquets 1 à 12), le nombre moyen de fruits noués par parcelle est identique pour les deux traitements (tableau 3.3b) ; il en est de même du taux de nouaison. L'objectif du traitement Eclaircissage, l'égalité du nombre de fruits par parcelle, est donc atteint.

Le nombre de fruits récoltés par parcelle, comme le rendement, sont à peine plus élevés sur le traitement témoin. Par contre, le poids moyen des fruits est légèrement supérieur sur le traitement ECL.

Contrairement à l'objectif du traitement Eclaircissage, la variabilité des composantes du rendement à l'intérieur des parcelles ECL est accrue par rapport au témoin (coefficients de variation, tableau 3.3b).

L'éclaircissage adapté plante par plante, dans cette essai, conduit donc à un accroissement de la variabilité intra-peuplement, parce que ce traitement a fortement favorisé les plantes Ro et défavorisé les plantes No. Comme la différence initiale entre No et Ro est

**TABLEAU 3.4 : EFFET DE L'ABLATION DE BOUQUET SUR L'APPAREIL VEGETATIF ET LE RENDEMENT**

**a) Analyse de variance sur l'essai *Ablation***

**Méthode :** dispositif en blocs

**Facteurs étudiés :**

2 peuplements homogènes (T) : T1No ; T1Ro

2 modes de conduite (C) : TEM ; ABL

Interactions T.C

Le facteur Conduite (C) est significatif à 1% sur les variables Nombre de fruits récoltés et Poids moyen d'un fruit.

Les interactions Peuplement\*Conduite (T\*C) sont significatives à 10% sur le Nombre de fruits récoltés et à 5% sur le rendement.

**b) Moyennes regroupées des essais *Ablation* et *Techniques***

Essais Peuplements Traitements	<i>Ablation</i> Homogène T1				<i>Techniques</i> Hétérogène T3	
	No/TEM	No/ABL	Ro/TEM	Ro/ABL	Ro/TEM	Ro/ABL
Vitesse de Développement Date Floraison de B8 (jours)	130	129	131	133	124	123
Diamètre de tige (mm) Moyenne entre B2 et B6	12.0	12.0	11.0	< 11.4	12.9	14.3
Masse d'une feuille (g) Moyenne	-	-	-	-	81.9	91.5
Nb Fruits Récoltés Cumul de B1 à B20	98.1	> 92.8	99.7	> 88.4		
Poids d'1 Fruit (g) Moyenne entre B1 et B20	155	<<< 169	157	<<< 167		
Production (kg)						
Fin avril	4.76	4.70	4.42	3.86	4.52	4.57
Fin mai	7.95	8.23	7.63	7.25	6.76	6.95
Cumul de B1 à B20	15.2	<< 15.7	15.7	>> 14.8	-	-

faible (comme le montre la comparaison des traitements témoin), les plantes Ro/ECL, dont la charge en fruits est fortement réduite, ont un appareil végétatif et un poids unitaire de fruits égaux, voire supérieurs aux plantes No/ECL, qui portent plus de fruits que le témoin, et qui de ce fait se sont "affaiblies". Il semble donc que l'éclaircissage différencié plante par plante ait été maintenu pendant trop longtemps par rapport à l'évolution réelle de l'état végétatif des différentes plantes de la parcelle.

Nous retiendrons donc que sur le traitement Eclaircissage, à cause des phénomènes de compensation intra-plante entre nombre et poids unitaire des fruits, le rendement de chaque type (No ou Ro) est toujours égal au rendement du témoin correspondant ; de ce fait, le rendement par unité de surface est identique, que la conduite soit homogène sur toutes les plantes ou individualisée. Par contre, ce traitement mal contrôlé a conduit à une augmentation de la variabilité intra-peuplement.

## 2. ABLATION DE BOUQUET (ABL)

### 2.1 EFFETS DE L'ABLATION SUR LA PLANTE TRAITEE

#### 2.1.1 Effets de l'ablation en peuplement Homogène (Essai Ablation, tableau 3.4)

Quel que soit le numéro de bouquet considéré (et en particulier au bouquet 8, tableau 3.4), la date de floraison n'est pas affectée par l'ablation du cinquième bouquet, aussi bien sur le peuplement T1No que sur le peuplement T1Ro.

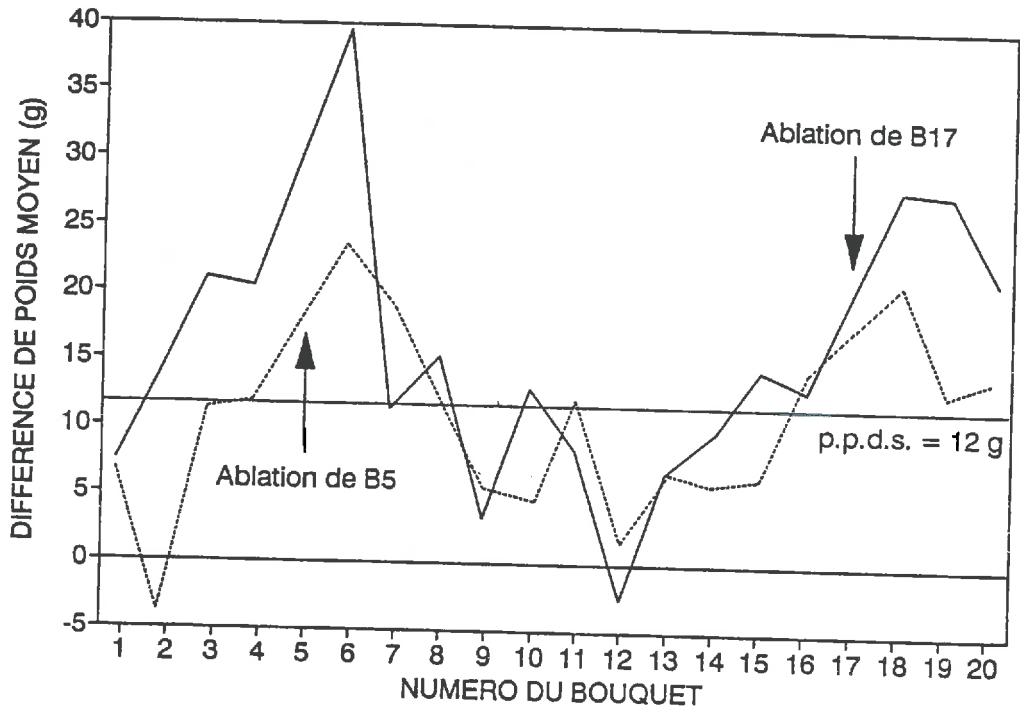
L'ablation de B5 entraîne une augmentation du diamètre de la tige sur le peuplement T1Ro (+4%) ; mais quel que soit l'étage, ni les effets simples, ni les interactions ne sont significatifs. Des résultats similaires sur la croissance et le développement de l'appareil végétatif sont observés pour l'ablation du bouquet B17.

L'étude de l'élaboration du rendement se fait en décomposant la production bouquet par bouquet, ce qui permet de situer les phénomènes observés par rapport au développement de la plante et au bouquet supprimé.

L'ablation des bouquets B5 et B17 entraîne une réduction très significative du nombre de fruits récoltés. Sur le peuplement T1No, l'écart (5.4%) est inférieur à la valeur théorique, dans l'hypothèse d'un nombre de fruits constant par bouquet, de 2 bouquet sur 20, soit 10%. Sur les plantes No, l'ablation de bouquet entraîne donc une augmentation du taux de nouaison des bouquets suivants, ce qui compense partiellement la suppression des deux bouquets. Ce phénomène n'est pas observé sur le peuplement T1Ro, où la diminution du nombre de fruits de 11% est du même ordre de grandeur que la diminution théorique.

Le poids moyen d'un fruit est très significativement augmenté par l'ablation, sur les deux peuplements. L'augmentation est d'autant plus forte que le bouquet étudié est plus proche du bouquet supprimé (figure 3.8). De plus, il y a interaction (non significative) entre le type de

FIGURE 3.8 : EFFET DE L'ABLATION DE BOUQUET SUR LE POIDS MOYEN D'UN FRUIT

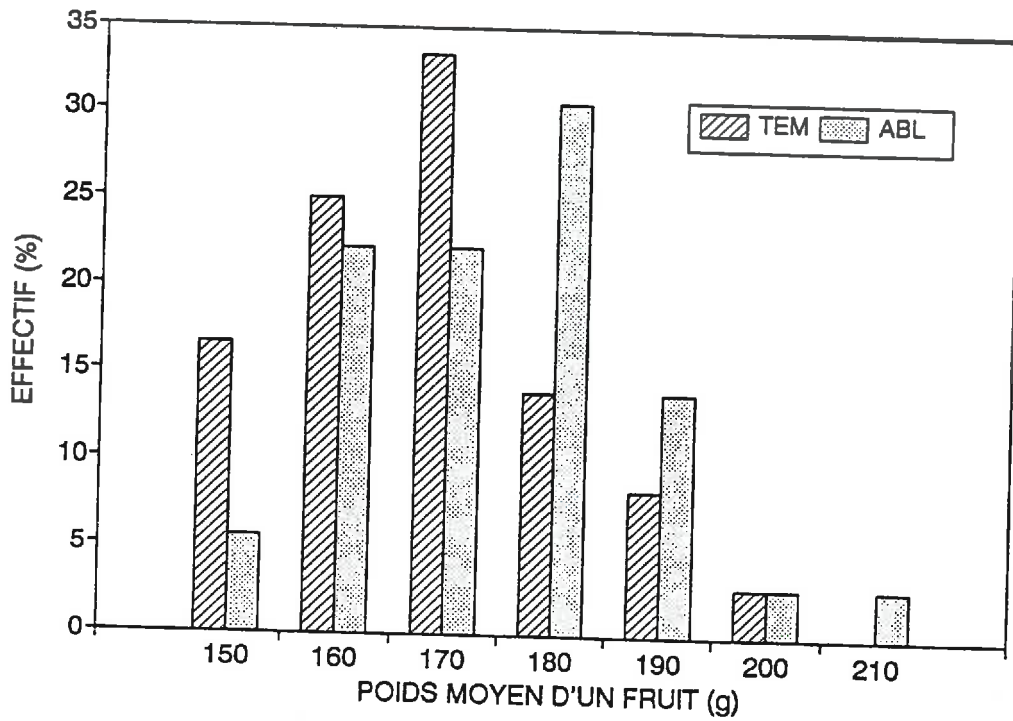


Différence de poids moyen par rapport au traitement Témoin  
 p.p.d.s. : Plus Petite Différence Significative. Test de Student, 5%

— No ..... Ro

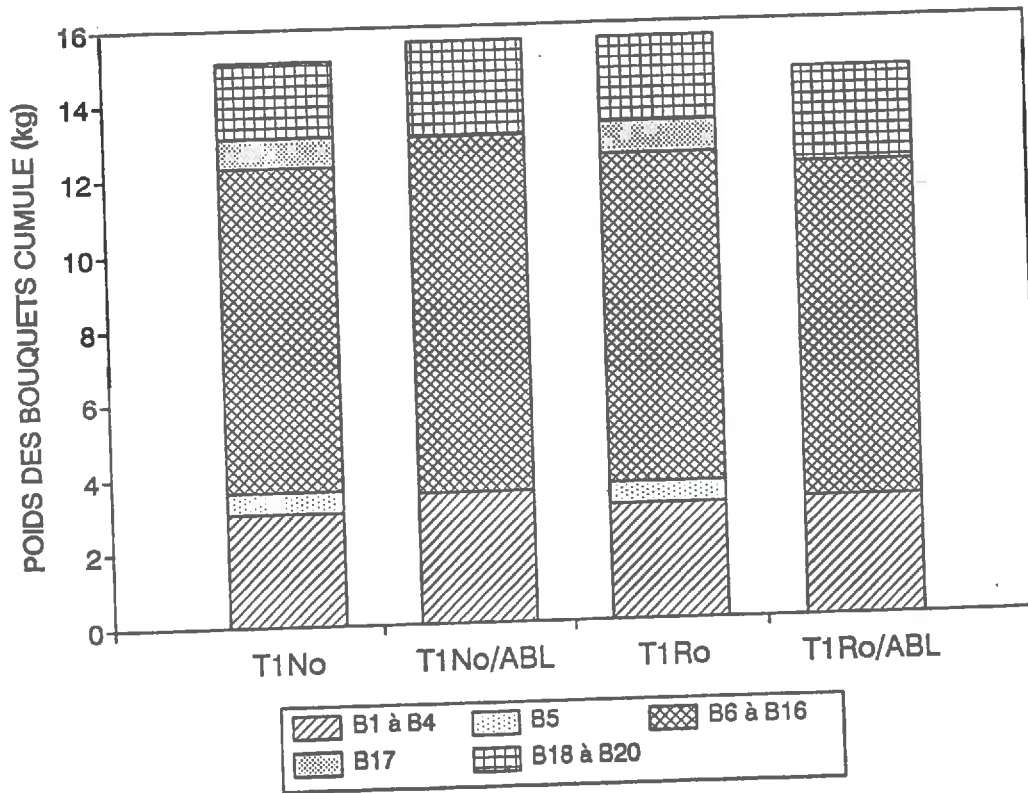
Essai Ablation, Peuplements Homogènes

FIGURE 3.9 : EFFET DE L'ABLATION DE BOUQUET SUR LA VARIABILITE DU POIDS MOYEN D'UN FRUIT



Essai Ablation, peuplements Homogènes T1Ro

FIGURE 3.10 : EFFET DE L'ABLATION DE BOUQUET SUR LE RENDEMENT D'UN PEUPEMENT HOMOGENE



Essai Ablation

**TABLEAU 3.5 : ANALYSE DE VARIANCE DE L'ESSAI Techniques :  
EFFET DES TRAITEMENTS PLANTE A PLANTE SUR LE TYPE Ro**

Méthode : Analyse de variance ; dispositif en blocs incomplets

Facteurs étudiés : 6 Traitements :

1 en peuplement Homogène : T1Ro/TEM

5 en peuplement Hétérogène T3 : Ro/TEM, Ro/ABL, Ro/[EFF1], Ro/[EFF2], Ro/DIST

Variables	Proba Trait.	Moyennes des plantes Ro					
		T1 TEM	TEM	ABL	T3 [EFF1]	[EFF2]	DIST
Date de Floraison (jours) B8		123	124	123	124	125	123
Diamètre de tige (mm) Moyenne B2 à B6	*	13.5	12.9	14.3 ++	14.2 ++	13.3	14.4 ++
Masse d'1 feuille (g) Moyenne	*	3.15	2.82	3.16 +	3.35 ++	3.03 +	3.36 ++
Nb Fruits Récoltés Cumul B1 à B4	***	22	22	17 --	22	21	23
Cumul B5 à B8	**	23	19	23 ++	22 ++	21 ++	22 ++
Cumul B1 à B8	**	45	41	41	44 +	42	45 +
Production (kg) Cumul B1 à B4	*	3.69	3.66	2.97 --	3.62	3.36	3.74
Cumul B5 à B8	*	3.75	3.16	4.01 ++	3.76 ++	3.62 ++	3.82 ++
Cumul B1 à B8		7.44	6.82	6.98	7.38 +	6.98	7.56 ++

Comme la probabilité du facteur Traitement, lorsqu'elle est significative, est généralement de l'ordre de 10%, nous avons indiqué les écarts par rapport au témoin Ro/TEM plutôt que les résultats des contrastes :

- un symbole (+ ou -) indique un écart (positif ou négatif) de 5 à 10%,
- deux symboles indiquent un écart supérieur à 10%



plante et l'ablation : l'augmentation de poids moyen est plus importante sur T1No pour chaque bouquet, mais aussi, elle est visible sur un plus grand nombre de bouquets (figure 3.8). Cependant, sur le peuplement T1Ro où les fruits sont généralement petits (bien que ce ne soit pas visible sur cet essai<sup>2</sup>), l'ablation réduit le pourcentage de fruits de poids unitaire faible (figure 3.9), qui sont mal payés (calibre 47-57mm) ou non commercialisable (<47mm).

Comme il n'y a aucune différence dans les vitesses de floraison et de maturation des deux traitements, l'effet de l'ablation sur le rendement à une date donnée est le même que celui sur la production cumulée des différents bouquets (figure 3.10). Cet effet est en interaction avec l'état des plantes de façon très significative (tableau 3.4) : sur le peuplement T1Ro, l'augmentation de calibre n'est pas suffisante pour compenser la perte en nombre de fruits, le rendement est significativement inférieur au témoin. Par contre, le rendement du peuplement T1No est significativement accru par l'ablation des deux bouquets.

### 2.1.2 Effets de l'ablation en peuplement Hétérogène (Essai Techniques)

Les résultats sont présentés dans le tableau 3.5, qui permet de comparer par analyse de variance l'effet des traitements sur les seules plantes Ro. Ce tableau sera réutilisé dans les chapitres suivants, pour les autres traitements (EFF1, EFF2, DIST).

Comme précédemment, aucune différence de vitesse de développement n'est constatée.

Par contre, l'accroissement du diamètre de la tige dû à l'ablation de bouquet est beaucoup plus important (tableau 3.5, différence significative à 10%) que dans l'essai *Ablation*, en particulier entre les bouquets B4 et B6 (non représenté), c'est à dire juste au dessus du bouquet supprimé. Il s'accompagne d'une augmentation de la masse des feuilles (environ 12%), surtout sur les sympodes 3 à 8, niveau où les mesures s'arrêtent.

Contrairement à ce qui a été observé sur le peuplement T1Ro, l'ablation de B4 sur les plantes Ro en peuplement Hétérogène entraîne une augmentation du taux de nouaison sur les bouquets B5 à B8, qui compense exactement la diminution du nombre de fruits du fait de l'ablation. De ce fait, l'augmentation du poids moyen des fruits suffit à accroître légèrement le rendement total.

### 2.1.3 Discussion

L'ablation de bouquet a été étudiée par de nombreux auteurs, à la fois pour juger les pratiques culturales des maraîchers, et pour comprendre les phénomènes de répartition des assimilats. En retour, la théorie de la répartition des assimilats nous permet d'expliquer certains des résultats observés.

Dans les deux essais, l'ablation de bouquet a un effet positif sur le poids moyen des fruits restants et, dans certains cas, sur le taux de nouaison. Ce résultat a été observé par plusieurs auteurs (Slack & Calvert, 1977 ; Fisher, 1977 ; Van Duyn, 1983). Calvert & Slack (1972) constatent que l'accroissement de calibre est surtout sensible sur les bouquets adjacents

<sup>2</sup> Nous avons déjà signalé dans la deuxième partie que le "degré d'affaiblissement" des plantes lorsqu'on retarde leur plantation dans le substrat est sous la dépendance de multiples facteurs et difficile à prévoir. Dans l'essai *Ablation*, le premier réalisé dans le cadre de ce travail, nous n'avons pas suffisamment affaibli les plantes Ro, ce qui explique l'absence de différence sur le calibre moyen.

au bouquet supprimé comme dans notre essai, ce qui tendrait à montrer que les assimilats produits par un sympode alimentent préférentiellement les bouquets les plus proches. Tanaka & Fujita (1974, cités par Ho & Hewit, 1986) ont d'ailleurs montré que la quantité d'assimilats reçue par chaque bouquet est inversement proportionnelle à la distance qui le sépare de la feuille considérée. Il semble que le remplissage des fruits soit favorisé par rapport à la nouaison, une explication possible étant que le cas contraire pourrait conduire à former un nombre excessif de puits. Mais, à notre connaissance, la bibliographie ne mentionne pas cette hiérarchie.

Dans tous les cas étudiés, le rendement après ablation est supérieur au rendement calculé en soustrayant le poids d'un bouquet au rendement témoin : ainsi, le sympode dépourvu de bouquet produit des assimilats, qui sont détournés vers les autres bouquets, ce qui confirme l'hypothèse précédente de transferts d'assimilats entre sympodes.

Par contre, dans les essais comme dans la bibliographie, l'effet de l'ablation sur le rendement de la plante est supérieur ou inférieur au rendement du témoin : effet positif pour Calvert & Slack (1972), comme pour le peuplement T1No de l'essai *Ablation* et les plantes Ro de l'essai *Techniques*, effet négatif pour les mêmes auteurs, en 1977, comme pour le peuplement T1Ro de l'essai *Ablation*. Un rendement inférieur au témoin signifie, dans l'hypothèse ou l'activité photosynthétique du sympode n'est pas altérée par la suppression des puits correspondants, que les assimilats produits n'ont pas été totalement redistribués vers les fruits (Slack & Calvert, 1977), une partie pouvant être dirigée vers les racines ou les jeunes feuilles (Hurd et al., 1979).

L'ablation de bouquet s'accompagne effectivement, dans certains cas, d'une augmentation de surface foliaire, mesurée par Veliath & Ferguson (1972), supposée par d'autres auteurs à partir de mesures indirectes (longueur des feuilles pour Cooper, 1964). Dans nos essais, il est probable que la surface foliaire est accrue par l'ablation de bouquet, au regard des mesures de diamètre de tige et de masse foliaire<sup>3</sup>. L'augmentation de surface foliaire confirme donc qu'une partie des assimilats alimentant normalement le bouquet supprimé a été détournée vers l'appareil végétatif.

L'interprétation des effets de l'ablation sur le rendement est alors fortement compliquée, car elle peut entraîner des changements à la fois dans la quantité d'assimilats produits et dans leur répartition. C'est probablement l'ampleur respective des deux phénomènes qui explique la variabilité des résultats d'un essai à l'autre. Nos résultats permettent de dégager quelques interactions :

En peuplement Homogène, les plantes No et Ro se comportent différemment : l'accroissement du taux de nouaison et du poids moyen des fruits est supérieur sur les plantes No. Pourtant, sur les plantes témoin No, l'appareil végétatif semble avoir été suffisant pour assurer un remplissage satisfaisant des fruits, puisqu'on ne constate pas d'affaiblissement de l'appareil végétatif (Cf diamètre de la tige). Les plantes Ro, au contraire, semblent avoir peu bénéficié de la réduction de la charge en fruits suite à l'ablation : leur rendement est inférieur au témoin Ro. Cependant, l'effet d'une ablation de bouquet dépend du stade d'intervention : selon les experts, l'ablation serait d'autant plus efficace qu'elle aurait lieu avant que des symptômes d'affaiblissement ne soient observés. Or, l'ablation a eu lieu à la même date pour les plantes No et Ro, alors que les plantes Ro s'affaiblissent plus rapidement. Il est donc possible

<sup>3</sup> Les résultats de la bibliographie ne permettent pas de rejeter l'hypothèse que nous avons faite d'une faible variabilité de la masse surfacique par rapport aux écarts de masse foliaire.

**TABLEAU 3.6 : ANALYSE DE VARIANCE DE L'ESSAI Techniques :  
EFFET DES TRAITEMENTS PLANTE A PLANTE SUR LE TYPE NO**

**Méthode :** Analyse de variance ; dispositif en blocs incomplets

**Facteurs étudiés :**

5 Traitements : No/TEM, No/[ABL], No/EFF1, No/EFF2, No/DIST

Variables	Proba Trait.	Moyennes des plantes No				
		TEM	[ABL]	EFF1	EFF2	DIST
Date de Floraison (jours) B8	**	121	120	119	122	122
Diamètre de tige (mm) Moyenne B2 à B6	**	16.3	15.0 -	15.6	14.5 -	15.3 -
Masse d'1 feuille (g) Moyenne	*	3.96	3.73 -	3.84	3.50 -	3.65 -
Production de B1 à B8 Nb Fruits Récoltés		43	46 +	43	44	45 +
Poids d'1 fruit (g)	*	184	170 -	182	169 -	175 -
Rendement (kg)	*	7.9	7.7	7.9	7.4 -	7.9

Même remarque que pour le tableau 3.5 : nous avons indiqué les écarts par rapport au témoin Ro/TEM plutôt que les résultats des contrastes :

- un symbole (+ ou -) indique un écart (positif ou négatif) de 5 à 10%,
- deux symboles indiquent un écart supérieur à 10%

qu'elle ait été trop tardive sur ces plantes (Rappelons que la difficulté dans le choix de la date d'intervention provient du fait qu'on ne dispose pas d'indicateur d'état des plantes à ce stade, où les observations visuelles permettent difficilement de détecter des différences entre plantes.)

**L'effet Ablation sur le rendement des plantes Ro varie entre les essais *Ablation* et *Techniques* :** l'ablation de bouquet a un effet négatif dans le premier essai, positif dans le second. Cependant, la comparaison est délicate, car plusieurs facteurs varient simultanément : les plantes Ro ne sont pas exactement identiques d'une année sur l'autre, les conditions du milieu varient également, enfin, la structure du peuplement (Homogène, Hétérogène) a certainement joué : pour un rayonnement global fixé, elle détermine le rayonnement incident pour chaque plante, donc la production d'assimilats.

Plusieurs hypothèses peuvent cependant être avancées :

- Dans l'essai *Techniques*, l'ablation a eu lieu à une stade de développement plus précoce que dans l'essai *Ablation* (B4 contre B5), ce qui correspondait à notre souci d'anticiper l'affaiblissement. Or, celui-ci est en partie lié au stade de développement : c'est lorsque la charge en fruits est maximale, juste avant le début de la récolte, que la quantité d'assimilats destinés à la croissance végétative se réduit considérablement (Hurd et al., 1979). Cela pourrait expliquer que l'effet de l'ablation soit plus important sur le calibre des fruits (et donc positif sur le rendement) dans cet essai.

- Dans l'essai *Techniques*, les plantes Ro sont entourées de plantes No, dont le pouvoir de compétition est très supérieur. Elles sont donc dans un environnement plus difficile que les mêmes plantes dans le peuplement T1Ro de l'essai *Ablation*. Nous avons vu dans la deuxième partie que cela a des conséquences négatives sur l'appareil végétatif et le rendement. D'ailleurs, en peuplement Homogène, l'augmentation de calibre par rapport au témoin est assez localisée (2 bouquets au dessous et 1 bouquet au dessus), alors qu'elle dure beaucoup plus longtemps en peuplement Hétérogène (au moins jusqu'au bouquet 11). Ces résultats tendraient à montrer que l'ablation de bouquet confère aux plantes un avantage de longue durée, en accroissant la surface foliaire, phénomène rencontré sous certaines conditions : plantes très faibles (Ro) et/ou dans un environnement très compétitif (au voisinage de plantes No).

## 2.2 EFFETS SUR LE PEUPELEMENT DE LA CONDUITE DE L'ABLATION PLANTE A PLANTE

### 2.2.1 Effets de l'ablation de bouquet des plantes Ro sur les plantes voisines No (tableau 3.6)

Sur les plantes No voisines des plantes Ro ayant subi une ablation (traitement No/[ABL]), l'appareil végétatif est réduit par rapport au témoin No/TEM (diminution du diamètre de la tige et de la masse unitaire des feuilles).

Bien que sur ce traitement No/[ABL] le nombre de fruits récoltés soit légèrement supérieur au témoin, comme le poids moyen des fruits est significativement inférieur, le rendement total est inférieur au témoin.

**La réduction de l'appareil végétatif et de la production des plantes No est probablement liée à un accroissement de la compétition des plantes Ro, dont l'appareil végétatif s'est accru suite à l'ablation d'un bouquet.**

**TABLEAU 3.7 : ANALYSE DE VARIANCE DE L'ESSAI Techniques :  
EFFET DES TRAITEMENTS PLANTE A PLANTE SUR LE PEUPELEMENT**

Méthode : Analyse de variance ; dispositif en blocs incomplets

Facteur étudié :

5 Traitements : TEM, ABL, EFF1, EFF2, DIST

Variables	Proba Trait.	Moyennes et C.V. (%)				
		TEM	ABL	EFF1	EFF2	DIST
Date de Floraison (jours) B8		122	121	121	123	122
		2	3	4	3	2
Diamètre de tige (mm) Moyenne de B2 à B		13.9	13.5	14.0	13.5	13.9
		14	8	8	9	5
Masse d'1 feuille (g) Moyenne		3.52	3.54	3.67	3.39	3.55
		19	10	11	13	9
Rendement de B1 à B8 Nb Fruits Récoltés	**	42	44	44	44	45
		6	6	7	6	5
Poids d'un Fruit (g)	*	178	171	177	168	173
		12	7	9	5	9
Rendement (kg)	**	7.5	7.5	7.7	7.3	7.8
		10	8	9	5	8

Pour chaque variable, la première ligne indique la moyenne, la seconde le coefficient de variation.

Même remarque que pour le tableau 3.5 : nous avons indiqué les écarts par rapport au témoin Ro/TEM plutôt que les résultats des contrastes :

- un symbole (+ ou -) indique un écart (positif ou négatif) de 5 à 10%,
- deux symboles indiquent un écart supérieur à 10%

## 2.2.2 Effets sur la production du peuplement (tableau 3.7)

Après ablation d'un bouquet sur les plantes Ro, l'augmentation de production de ces plantes (0.2 kg) égale la diminution de production des plantes No (tableaux 3.5 et 3.6). **Le traitement ABL n'a donc aucun effet sur le rendement de la parcelle.** Le calibre moyen des fruits est même légèrement inférieur (-4%).

Par contre, l'adaptation de la technique à l'état des individus réduit la variabilité intra-peuplement de l'appareil végétatif (diamètre de tige et masse foliaire) et des composantes du rendement (coefficients de variation du tableau 3.7). D'un point de vue agronomique, le traitement a donc bien atteint un de ses objectifs, **réduire la variabilité intra-peuplement**, ce que n'avait pas montré le traitement Eclaircissage. Le traitement Ablation réduit notamment la **variabilité du poids moyen des fruits**, résultat particulièrement intéressant pour les maraîchers.

Le traitement Ablation permet donc de **réduire la variabilité intra-peuplement**, par une action directe et positive sur les plantes traitées (plantes faibles Ro) et une action indirecte et négative sur les plantes voisines (plantes vigoureuses No), à cause de l'augmentation de la compétition intra-peuplement. **Il améliore la qualité de la production (homogénéité de calibre), sans effet négatif sur le rendement par unité de surface.**

## 3. EFFEUILLAGE (EFF1, EFF2)

### 3.1 CARACTERISATION DES TRAITEMENTS

#### 3.1.1 Sur les plantes effeuillées (No)

L'élimination de 2 et 4 feuilles 99 jours après semis, soit à la floraison de B5, réduit le nombre de feuilles respectivement de 7 et 14%. Le tableau 3.8 fournit leurs caractéristiques : au moment de l'effeuillage, les feuilles éliminées sont en fin de croissance, bien que celle-ci ne soit pas terminée sur certaines d'entre elles (il y a variation de longueur et largeur de la première à la dernière feuille). **Le traitement Effeillage a consisté à éliminer des feuilles mûres, donc des sources de carbone.**

Compte tenu des contraintes de l'expérimentation (Cf p.119), sur le traitement EFF1, on a supprimé en général les feuilles F15 et F18 (une feuille par sympode). Sur le traitement EFF2, il s'agit des feuilles F13, F15, F17 et F19 (une feuille sur 2).

Que ce soit pour la hauteur d'effeuillage ou pour le numéro des feuilles supprimées (tableau 3.8), le coefficient de variation entre parcelles est relativement faible (inférieur à 10% sauf pour la hauteur de la feuille la plus basse). La quasi-totalité des feuilles sont orientées vers la plante Ro, entre -45 et +45 degrés par rapport à celle-ci (Annexe 16).

**L'objectif du traitement Effeillage, supprimer des feuilles orientées vers la plante Ro, est donc respecté. De plus, malgré les contraintes et la variabilité entre plantes, les traitements Effeillage sont relativement identiques pour toutes les parcelles.**

**TABEAU 3.8 : CARACTERISATION DU TRAITEMENT EFFEILLAGE**

**a) Numéro des feuilles supprimées et hauteur sur la plante à partir de la base**

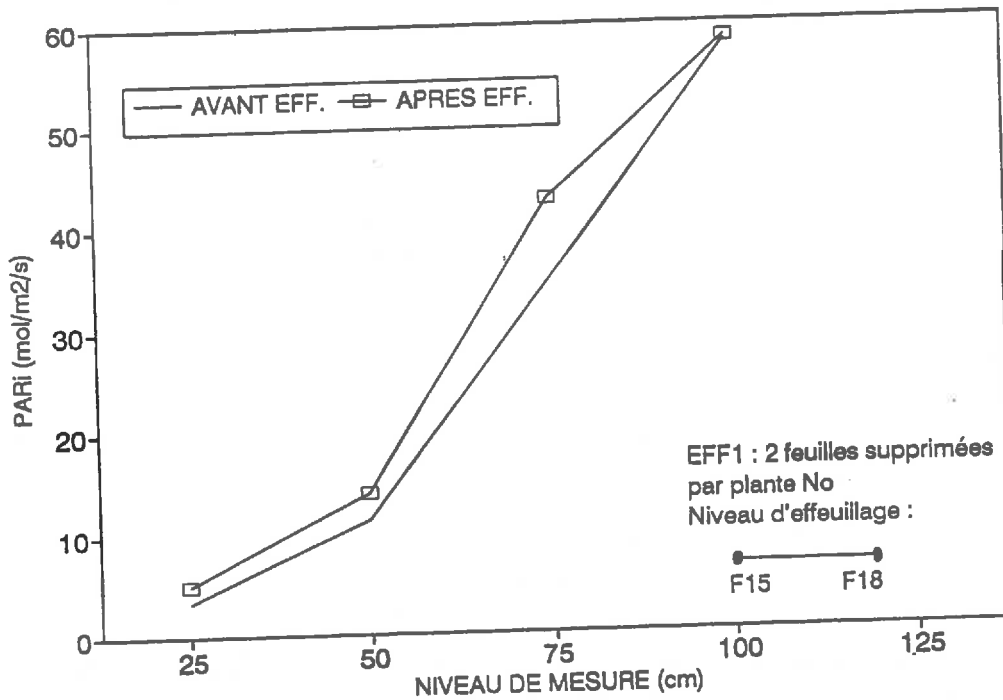
Traitement	Numéro				Hauteur (cm)			
	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4
<b>Traitement EFF1</b>								
Moyenne	15	18			98	119		
C.V. (%)	8	7			9	6		
<b>Traitement EFF2</b>								
Moyenne	13	15	17	19	79	97	114	127
C.V. (%)	11	8	6	7	14	9	7	4

**b) Longueur et largeur des feuilles supprimées**

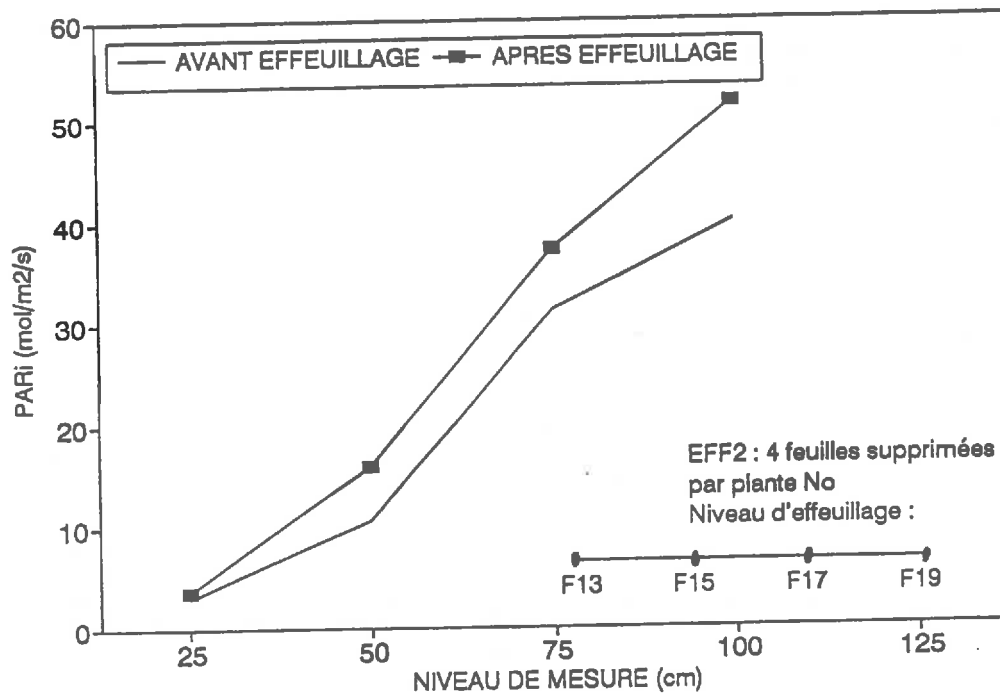
Traitement	Longueur (cm)				Largeur (cm)			
	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4
<b>Traitement EFF1</b>								
Moyenne	55	52			34	32		
C.V. (%)	8	6			16	12		
<b>Traitement EFF2</b>								
Moyenne	53	53	52	48	31	30	29	26
C.V. (%)	8	7	4	9	11	17	12	15

FIGURE 3.11 : EFFET DU TRAITEMENT EFFEUILLAGE SUR LE RAYONNEMENT INCIDENT SUR LA PLANTE RO

a) Traitement EFF1



b) Traitement EFF2



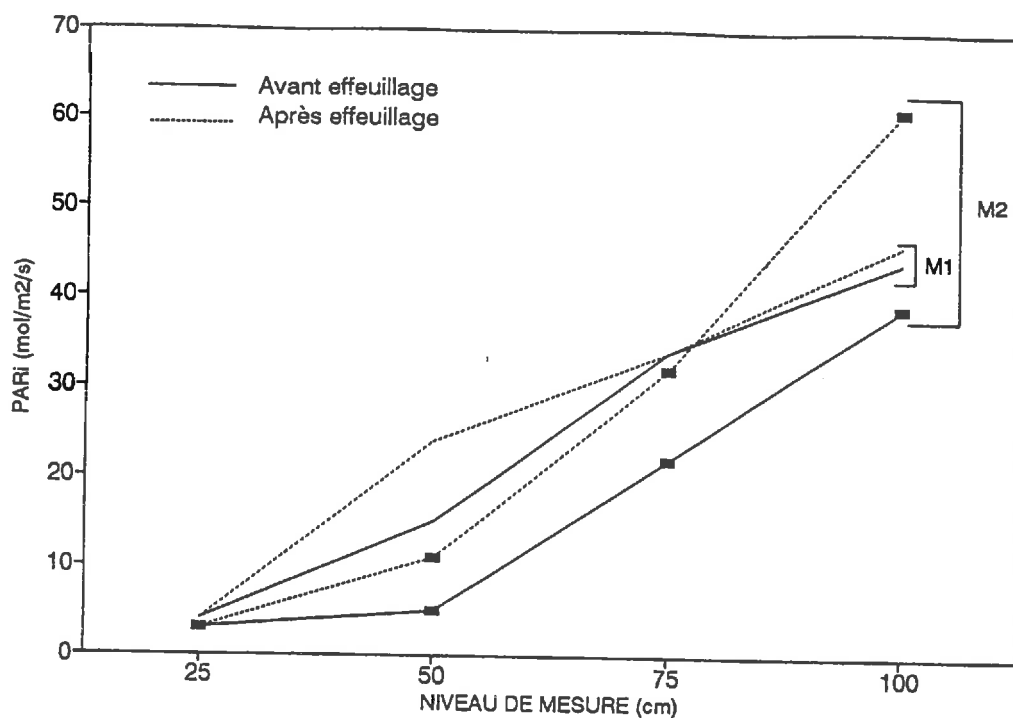
Essai Techniques (Bloc F, 9h du matin)

Les mesures sont réalisées sur la même plante Ro, avant et après effeuillage des plantes No



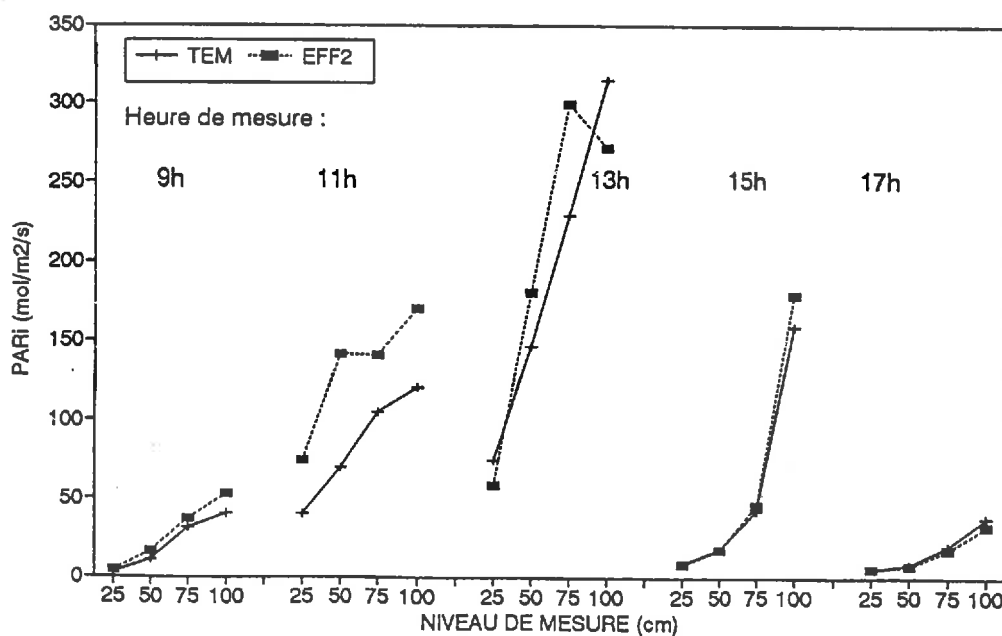
FIGURE 3.12 : VARIATION DU RAYONNEMENT INCIDENT SUR RO SOUS L'EFFET DU TRAITEMENT EFFEUILLAGE

a) En fonction de la position de la mesure sur la plante



Les mesures sont réalisées sur la même plante Ro, avant et après effeuillage des plantes No (Bloc F, 9h)  
M1 et M2 : Mesures perpendiculaires au rang, côté NW et SE

b) En fonction de l'heure de la journée



Les mesures sont réalisées sur deux traitements différents : Ro/TEM et Ro/EFF2 (Bloc C ; moyenne entre M1 et M2)  
Essai Techniques

Comme aucune mesure de surface ou de masse foliaire n'a été faite au moment même de l'effeuillage, on ne connaît par le pourcentage de surface ou de masse foliaire supprimé. Cependant, des mesures de rayonnement au sol, sous les plantes effeuillées, montrent que la quasi-totalité du rayonnement incident est captée par les feuilles restantes ; c'est donc la répartition du rayonnement intercepté au sein du peuplement qui diffère. Nous l'étudierons indirectement en observant le profil le long des plantes des variables d'état végétatif et de rendement.

### 3.1.2 Sur les plantes voisines (Ro)

Le rayonnement incident ( $PAR_i$ ) a été mesuré juste avant et après l'effeuillage (9h du matin), à plusieurs hauteurs sur la plante Ro (figure 3.11). Pour les deux traitements EFF1 et EFF2, le rayonnement incident décroît au fur et à mesure qu'on s'enfonce dans le couvert.

A 9 heures du matin, l'effeuillage modéré des plantes No voisines (EFF1) augmente le  $PAR_i$  d'environ 20%, en particulier à 75 cm de hauteur, c'est à dire juste sous la zone effeuillée (figure 3.11a). A 100 cm de hauteur, aucune différence n'est visible : la suppression de feuilles sur les plantes No au même niveau que la mesure sur Ro n'a donc aucun effet pour cette hauteur de soleil.

L'effeuillage sévère (EFF2) entraîne une augmentation de 20 à 50% du  $PAR_i$  suivant la hauteur de mesure (figure 3.11b), y compris à 100 cm de hauteur parce que le nombre de feuilles enlevées au dessus de cette hauteur est plus élevé que pour le traitement EFF1.

Dans les deux cas, à 9 heure du matin, le rayonnement supplémentaire est totalement absorbé par la plante Ro, puisqu'à 25 cm de hauteur, le  $PAR_i$  est identique avant et après effeuillage.

Sous ces graphiques se cache en réalité une forte variabilité quant à l'effet de l'effeuillage sur l'environnement lumineux de la plante Ro :

- en fonction de la position de la mesure sur la plante,
- en fonction de l'heure dans la journée.

\* A la variabilité verticale de l'effet de l'effeuillage due à l'absorption progressive de lumière par le couvert (figure 3.11), s'ajoute une variabilité dans un plan horizontal. Les mesures M1 et M2 sont situées de part et d'autre de la plante Ro sur le rang (figure 3.13a et annexe 16), respectivement du côté NW et SE. La figure 3.12a montre qu'à 9h du matin, c'est sur le côté SE (M2) que l'augmentation de rayonnement incident suite à l'effeuillage est la plus importante. Par ailleurs, le  $PAR_i$  avant effeuillage est plus élevé en M1 qu'en M2.

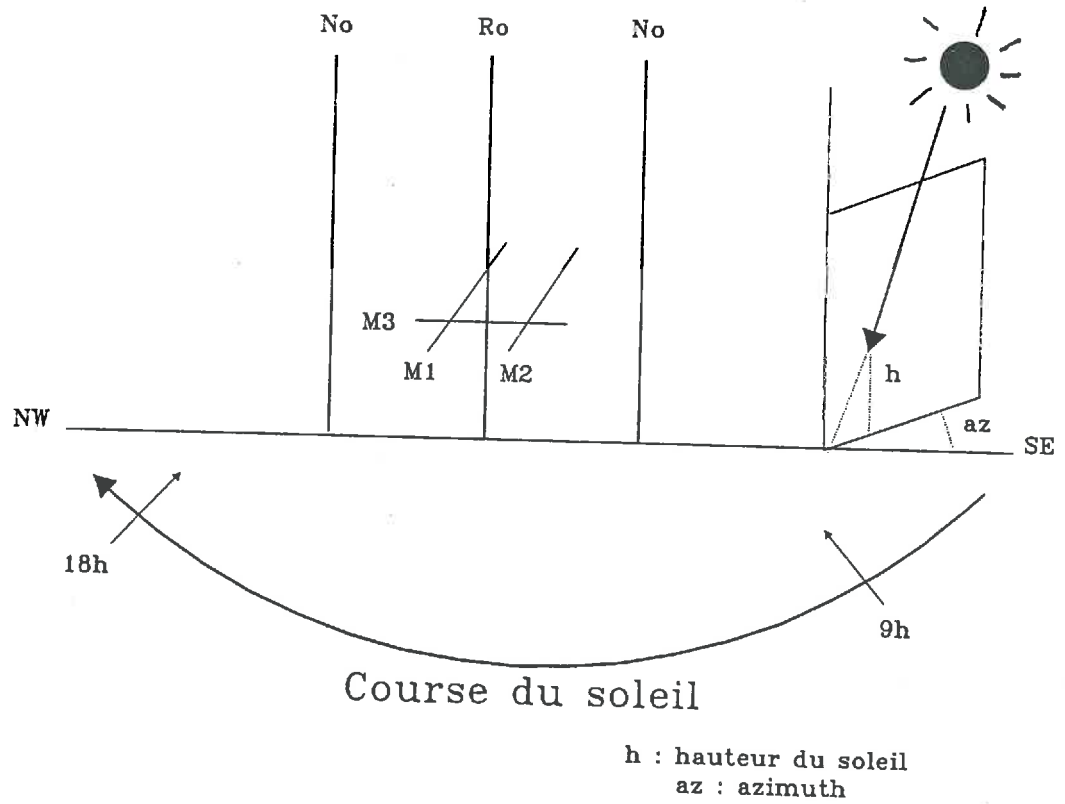
Rappelons que les rangs de culture sont orientés NW/SE, et que les parcelles d'essai se trouvent sur le rang exposé SW (annexe 16). Au moment des mesures, le soleil arrive du côté SE et relativement bas dans le ciel (l'effeuillage a lieu en hiver). Comme c'est la mesure M2 qui est la plus proche de la plante No côté SE (figure 3.13a), c'est aussi la zone la plus soumise à l'ombrage avant effeuillage, donc celle qui tire le plus partie de l'effeuillage.

\* L'évolution générale du  $PAR_i$  en cours de journée, à une hauteur de mesure donnée, suit les courbes classiques de rayonnement (figure 3.12b) avec un maximum à 13h, au midi solaire.

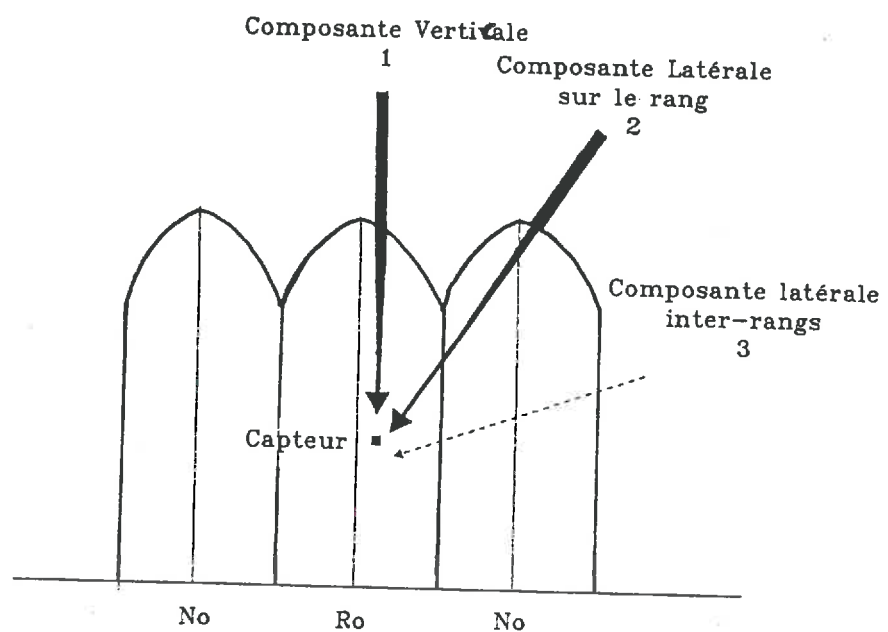
L'accroissement de  $PAR_i$  dû à l'effeuillage semble le plus important à 11h du matin, c'est

FIGURE 3.13 : INTERPRETATION DES MESURES DE RAYONNEMENT AU CEPTOMETRE

a) Effet de la position du soleil sur le rayonnement capté par le ceptomètre



b) Décomposition du rayonnement capté par le ceptomètre



flèche en traits pleins : dans le plan de figure  
flèche avec tirets : en avant du plan de figure

à dire lorsque le soleil est haut, mais encore orienté SE. Par contre, il n'y a pas d'augmentation de  $PAR_i$  à 15h, ce qui est surprenant puisque le soleil arrive directement sur les rangs.

Suivant la position du soleil dans le ciel (orientation et azimut), des ombrages temporaires dus à la structure de la serre ont lieu dans certaines zones du peuplement, ce qui explique que le  $PAR_i$  sur la plante Ro du traitement Effeillage puisse être temporairement inférieur à celui du témoin (ex : à 100 cm à 13h).

Nous retiendrons donc que globalement, l'effeuillage des plantes No entraîne une augmentation du rayonnement incident sur la plante Ro, donc des possibilités de photosynthèse. Cette augmentation dépend de multiples paramètres : position de la mesure dans la plante (en hauteur et suivant l'axe des rangs), orientation et hauteur du soleil (d'où une variabilité au sein de la journée et en cours de saison), rayonnement incident sur le couvert (phénomènes d'ombrages dus à la charpente). A ces facteurs de variabilité s'ajoute le déplacement de la zone effeuillée vers le bas à cause du palissage.

Remarquons cependant que, lorsque la comparaison porte sur des plantes différentes (ce qui est le cas de la figure 3.12b), l'interprétation est délicate. En effet, le rayonnement capté par le ceptomètre à une hauteur donnée sur la plante Ro est la somme de 3 composantes (figure 3.13b) :

- la composante verticale, qui dépend de la surface et de l'orientation des feuilles de la plante Ro situées au dessus de la mesure, qui pourrait être modélisée par la loi de Beer, à condition de connaître le profil de densité foliaire sur la plante,
- la composante latérale sur le rang, qui dépend de l'opération d'effeuillage des plantes No voisines, mais aussi de la surface et de l'orientation des feuilles restantes ,
- la composante latérale entre rangs, qui provient de la structure en rangs du couvert.

Nous avons cherché, en mesurant la somme des 3 composantes, à estimer une partie de la composante latérale sur le rang, celle qui est due à l'effeuillage des plantes No voisines. Or, d'une parcelle à l'autre, il peut exister des variations plus ou moins fortes de surface foliaire des plantes No et Ro, qui modifient les deux premières composantes. C'est pourquoi, lorsque c'était possible, nous avons comparé les mesures sur la même plante (avant et après effeuillage, par exemple).

### 3.2 EFFETS DE L'EFFEILLAGE SUR LA PLANTE TRAITEE (NO)

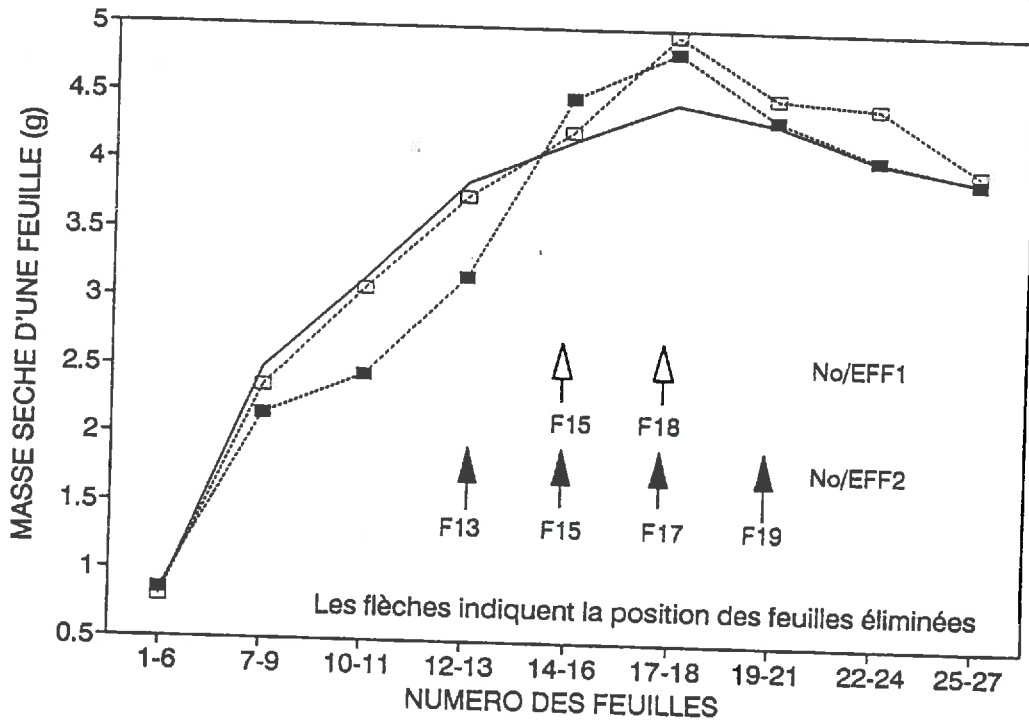
#### *3.2.1 Analyse de l'effet Effeillage (tableau 3.6 p.129)*

La réduction du nombre de feuilles sur les plantes No réduit à la fois le diamètre de la tige et la masse foliaire unitaire. L'effet est d'autant plus important que le nombre de feuilles supprimées est élevé ; il est significatif pour le traitement EFF2.

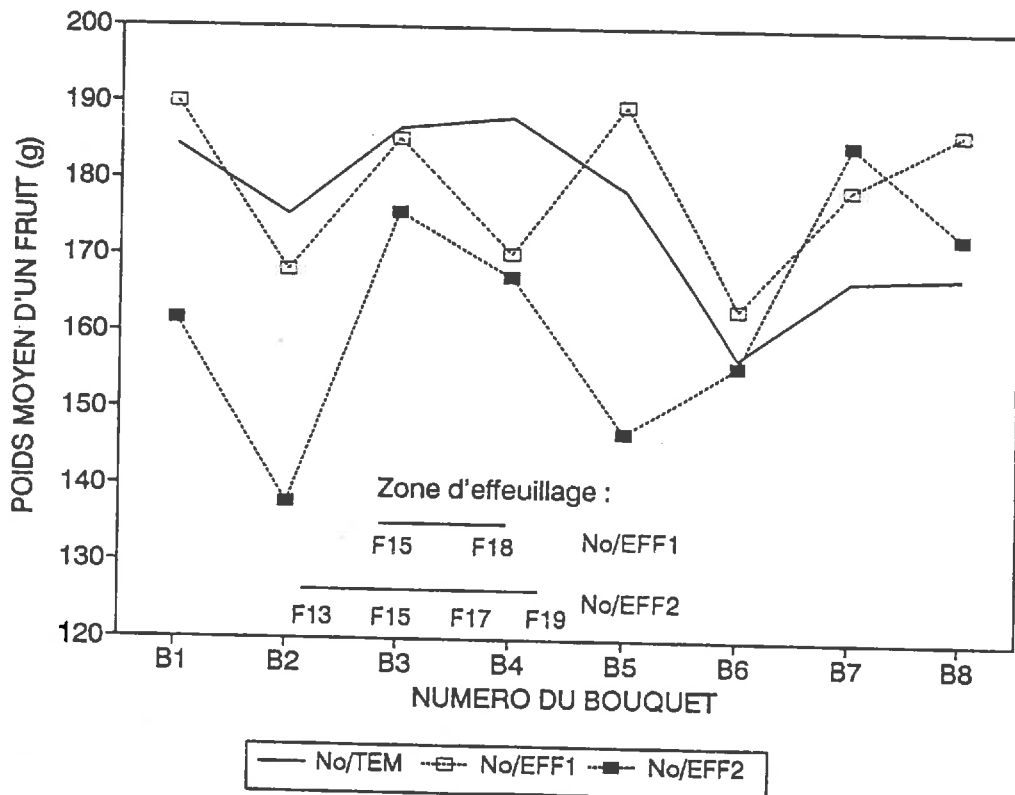
L'effet de l'effeuillage varie suivant l'étage considéré : le traitement No/EFF2, qui concerne en moyenne les feuilles F13, F15, F17 et F19, a un effet négatif sur la masse unitaire des feuilles situées au dessous de la zone effeuillée (figure 3.14a) . Au contraire, les feuilles au niveau ou au dessus de cette zone ont une masse foliaire supérieure ou égale au témoin. Le traitement EFF1 n'a pas d'effet significatif sur les feuilles inférieures, mais entraîne les mêmes conséquences sur les feuilles supérieures.

FIGURE 3.14 : EFFET DE L'EFFEUILLAGESUR LA PLANTE EFFEUILLEE No

a) Sur l'appareil végétatif



b) Sur la production



Les traitements Effeillage et Témoin ont la même vitesse de développement et le même nombre de feuilles par sympode. La diminution de la masse foliaire unitaire à cause de l'effeuillage révèle donc une **réduction de la masse foliaire totale, qui est forte sur le traitement No/EFF2 (> 10%), faible sur le traitement No/EFF1 (< 5%).**

L'effeuillage modéré (EFF1) n'a aucun effet sur les composantes du rendement, qui est donc identique au traitement témoin (tableau 3.6). Par contre, l'effeuillage sévère (EFF2) entraîne une forte diminution du poids moyen des fruits, donc du rendement (de l'ordre de 6%). Les bouquets les plus affectés (B1 à B5) sont ceux qui encadrent la zone d'effeuillage (figure 3.14b). L'effet négatif de l'effeuillage semble cependant assez localisé ; les bouquets B7 et B8 ont même un poids moyen supérieur au témoin.

### 3.2.2 Discussion

L'effet de l'effeuillage sévère sur les feuilles et les fruits varie en fonction de la position de ces organes sur la plante : **ce sont les organes les plus proches de la zone effeuillée qui sont les plus atteints.** Deux raisons peuvent expliquer ce phénomène : **une répartition plutôt localisée des assimilats et une interaction entre effeuillage et état de croissance et de développement de chaque organe au moment de l'effeuillage.**

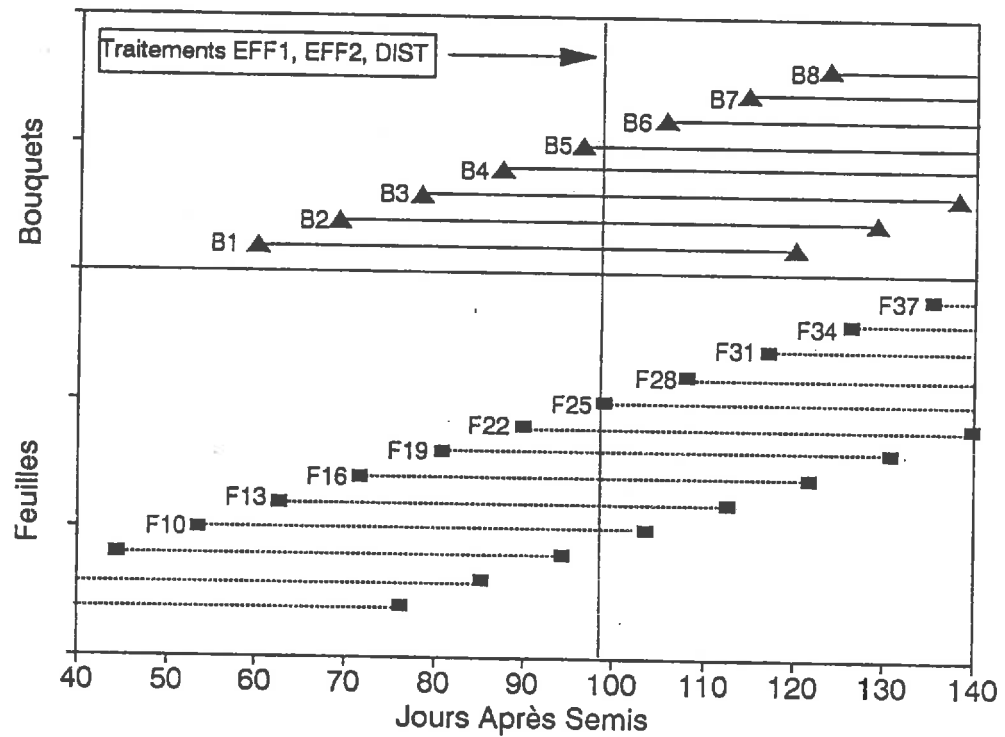
Les organes situés sous la zone effeuillée ont un poids inférieur à maturité (poids moyen d'un fruit de B1 à B5, masse sèche des feuilles F7 à F13). Or, d'après la simulation de la figure 3.15, ces bouquets étaient en croissance au moment de l'effeuillage, les feuilles F10 à F25 également ; le bouquet B2 et les feuilles F16 à F19 se trouvaient en phase de croissance maximale<sup>4</sup>. Juste après l'effeuillage, la réduction de surface foliaire réduit la photosynthèse, du moins temporairement. Il semble que l'effeuillage stimule l'affectation des assimilats à l'appareil végétatif, puisque les feuilles en croissance F16 à F19 ont une masse plus élevée que sur le témoin, le bouquet B2, au contraire, a une masse plus faible.

Une augmentation de la longueur et de la surface des feuilles après effeuillage a été mise en évidence par Fisher (1977) et Wolk et al. (1983). Il n'existe pas d'étude, à notre connaissance, sur l'effet de l'effeuillage sur la masse surfacique. Cependant, cette technique conditionne, comme le rayonnement incident, la photosynthèse de la plante. Hurd & Thornley (1974) montrent que, lorsque les conditions de photosynthèse sont défavorables, la masse surfacique diminue, ce qui permet d'augmenter la surface pour une même masse foliaire. Il est donc possible que l'effeuillage entraîne une augmentation préférentielle de la surface des feuilles plutôt que de leur masse, ce qui ne ferait qu'accroître l'effet supposé de l'effeuillage sur la surface foliaire. **C'est pourquoi, nous considérons que les différences observées sur la masse foliaire indiquent des phénomènes similaires sur la surface foliaire.**

Sur plusieurs espèces, il a été démontré que l'effeuillage augmente l'activité photosynthétique des feuilles restantes : maïs et haricot (Wareing et al., 1968) ; haricot (Alderfer et al. 1976) ; tomate (Tanaka & Fujita, 1974, cités par Wolk et al., 1983). Ce résultat peut s'interpréter dans le cadre de la théorie Sources-Puits, selon laquelle l'activité des sources est définie par la demande des puits : **pour une demande en assimilats fixée, une diminution du**

<sup>4</sup> Il faut cependant rester prudent sur l'estimation des états de croissance sur la figure 3.15, en particulier pour les feuilles, où on disposait de peu de données : une erreur de quelques jours dans l'estimation des stades de développement peut fausser les résultats.

**FIGURE 3.15 : POSITION DE LA DATE DE REALISATION DES TRAITEMENTS EFF ET DIST PAR RAPPORT AUX PERIODES DE CROISSANCE DES FEUILLES ET DES BOUQUETS**



Les traits horizontaux indiquent la période de croissance :

- de chaque bouquet (de la floraison à la maturité) : ligne continue
- de certaines feuilles (de l'apparition à la maturité) : ligne pointillée

Données :

- la vitesse de floraison, la durée floraison-maturation et la vitesse d'apparition des feuilles sont enregistrées sur l'essai *Techniques*,
- la durée de croissance d'une feuille est estimée à 50 jours (Cooper, 1959),
- la période de croissance maximale par chaque organe se situe à mi-distance entre le début et la fin de la croissance (Ho et Hewit, 1986 pour les fruits ; Cooper, 1959 pour les feuilles).

**nombre de sources augmente l'activité des sources restantes.**

Enfin, il est probable que la photosynthèse est augmentée sur les feuilles restantes grâce à l'accroissement du rayonnement incident (Longuenesse & Tchamitchian, 1990). Puisque le rayonnement atteignant le sol sous les plantes effeuillées est identique à celui sous les plantes non effeuillées, le rayonnement intercepté est donc identique. D'ailleurs, Acock et al. (1978) montrent que c'est le tiers supérieur de la plante qui capte le plus de lumière (72%) et est responsable de la majeure partie de la photosynthèse totale. L'effeuillage du tiers inférieur de la plante n'a que peu d'effet sur la photosynthèse, résultat en accord avec ceux de Ludwig (1965, cité par Acock et al.), selon lesquels, sur plusieurs espèces, la photosynthèse du couvert n'est réduite significativement que lorsque l'indice foliaire devient inférieur à 3.

Il semble cependant que l'augmentation de la photosynthèse des feuilles restantes ne compense pas totalement la perte de 4 feuilles sur le traitement No/EFF2, puisque son rendement est inférieur au témoin. Par contre, les phénomènes de compensation pourraient expliquer l'absence d'effet sur le traitement No/EFF1. Ce résultat est confirmé par Wolk et al. (1983) qui montrent que le rattrapage de l'effeuillage est d'autant moins intense que le nombre de feuilles éliminées est important. Les phénomènes de compensation expliquent que, contrairement à ce qui a été avancé par certains auteurs (notamment Slack & Bezer, 1984), la diminution de rendement ne soit pas strictement proportionnelle à la sévérité de l'effeuillage.

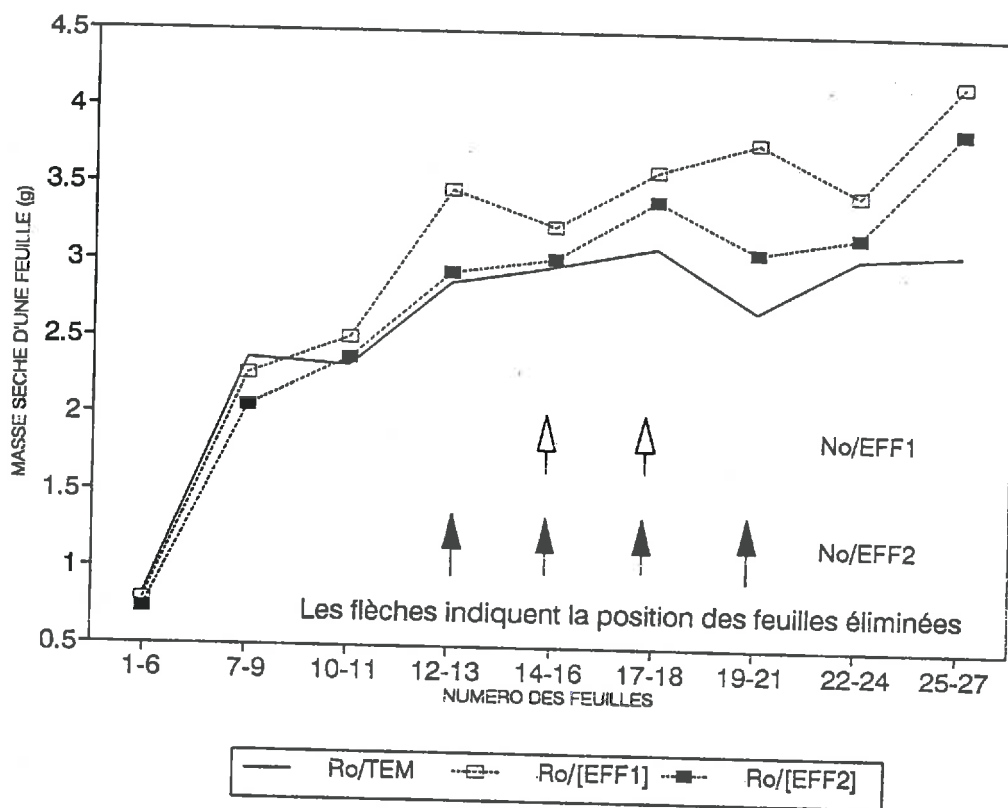
L'effet de l'effeuillage sur l'élaboration du rendement est globalement en accord avec la bibliographie ; mais suivant les auteurs, il affecte plus particulièrement le poids moyen des fruits (Slack & Bezer, 1984) ou le taux de nouaison (Wolk et al., 1983). Ces derniers précisent que l'effeuillage pourrait également avoir une action sur la qualité gustative des fruits, en modifiant leur teneur en sucre et en acides.

Les résultats obtenus dans notre essai, sur les conséquences de l'effeuillage sur l'appareil végétatif, devraient toutefois être confirmés par des mesures de photosynthèse. Nous avons déjà signalé que l'interprétation de l'effeuillage localisé sur une culture de tomate sous serre est délicate, à cause de la variabilité spatiale et temporelle du rayonnement incident. Ceci confirme l'intérêt d'une approche par simulation. Baille et Tchamitchian (1991) soulignent que, sous serre, l'utilisation conjointe de mesures directes de rayonnement et de la modélisation semblent fortement souhaitables. En particulier, le paramétrage du modèle de Tchamitchian (1990) en trois dimensions (contre deux actuellement) pourrait permettre de simuler l'effet d'un effeuillage localisé.

L'analyse précédente a montré l'existence de phénomènes de compensation entre les feuilles. De la même façon, il semble que des transferts d'assimilats aient lieu entre bouquets : sur le traitement No/EFF2, le bouquet 3 est peu affecté par l'effeuillage, alors qu'il se trouve au centre de la zone effeuillée. Comme dans le cas de l'ablation de bouquet, l'effeuillage pourrait être une des "situations de crise" auxquelles il est souvent fait allusion dans les théories qui privilégient l'alimentation localisée, mais admettent l'existence de transferts d'assimilats dans des situations très particulières.



FIGURE 3.16 : EFFET DU TRAITEMENT EFFEUILLAGE SUR L'APPAREIL VEGETATIF DE LA PLANTE RO



En conclusion, l'effeuillage partiel des plantes No entraîne une diminution momentanée de leur appareil végétatif, qui est ensuite atténuée par l'augmentation en masse (et en surface) des feuilles restantes. La compensation semble être totale pour l'effeuillage modéré, qui est sans effet sur la production, partielle pour l'effeuillage sévère qui réduit fortement le calibre des fruits et la production.

### 3.3 EFFETS SUR LE PEUPEMENT DE LA CONDUITE PLANTE A PLANTE DE L'EFFEUILLAGES

#### 3.3.1 Effets sur les plantes voisines (Ro) (tableau 3.5, p.127)

Nous analysons ici les conséquences de l'effeuillage partiel des plantes No, sur l'appareil végétatif et la production des plantes Ro, qui bénéficient d'un rayonnement incident supérieur.

Le traitement Effeillage a un effet positif sur l'appareil végétatif des plantes Ro (augmentation du diamètre de la tige et de la masse foliaire unitaire). L'accroissement de la masse foliaire est visible sur tous les étages à partir de F12 pour Ro/[EFF1], à partir de F17 pour Ro/[EFF2] (figure 3.16). Dans le premier cas, cela correspond au niveau de la zone effeuillée sur les plantes No, voire un peu au dessous. Dans le second, le phénomène apparaît beaucoup plus tardivement.

L'augmentation de masse foliaire est plus conséquente sur le traitement EFF1, où elle est significative à 10%, que sur le traitement EFF2. Pourtant, d'après le paragraphe 3.1, c'est sur le traitement EFF2 que l'augmentation de rayonnement incident est la plus conséquente.

Sur les plantes Ro/[EFF1], le rendement est augmenté de 8%, grâce à un léger accroissement du poids moyen (bouquets B5 à B8), mais surtout du nombre de fruits récoltés. Le rendement des plantes Ro/[EFF2] est à peine supérieur au rendement du témoin, bien que le rayonnement incident et la surface foliaire soient supérieurs.

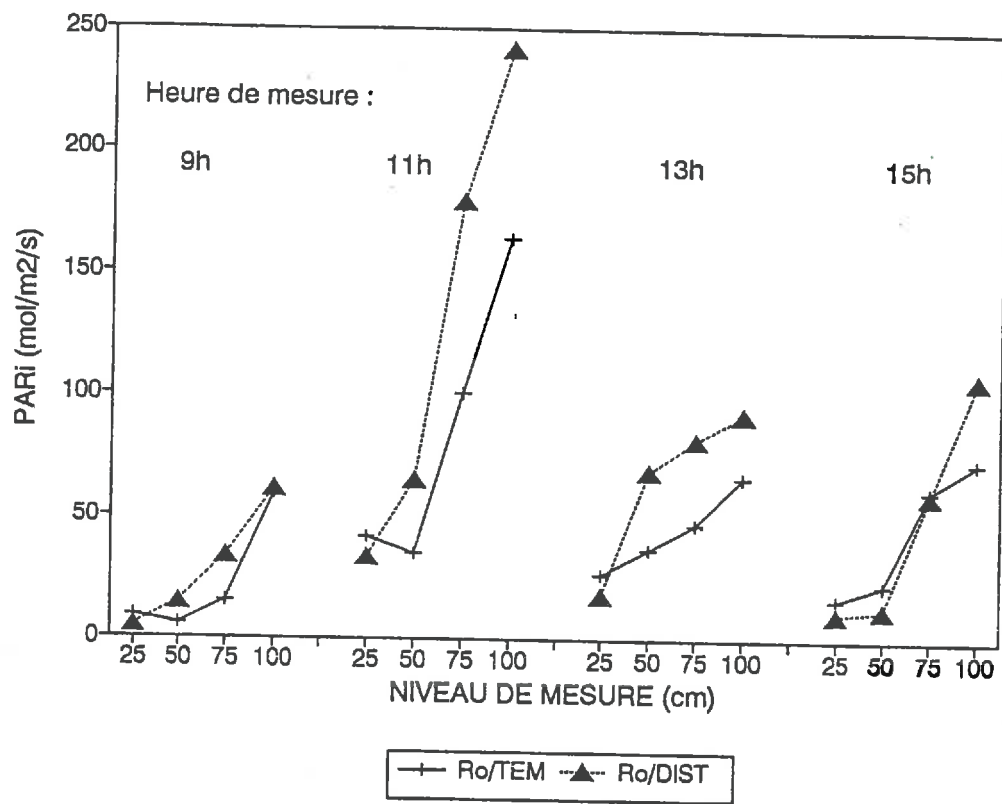
L'appareil végétatif et le rendement du traitement Ro/[EFF1] sont même aussi importants que lorsque les plantes Ro sont dans un environnement faiblement compétitif, car entourées des mêmes plantes Ro (T1Ro) ; ce n'est pas le cas du traitement Ro/[EFF2].

Les variables disponibles ne permettent pas d'expliquer pourquoi le traitement EFF1 (effeuillage modéré) a plus d'effet que le traitement EFF2 (effeuillage sévère) sur la plante Ro, alors que l'augmentation de rayonnement incident est plus forte sur Ro/[EFF2]. L'orientation des feuilles No éliminées est quasi-identique sur les deux traitements (paragraphe 3.1 et annexe 16). La variabilité intra-traitement n'est pas très forte et la moyenne représente bien l'ensemble des blocs. Le résultat pourrait provenir d'un mauvais échantillonnage ; le nombre de plantes Ro par traitement étant faible (1 par bloc, soit 5 au total), les parcelles Témoin et Effeillage pourraient ne pas avoir été identiques avant la réalisation des traitements.

#### 3.3.2 Effets sur la production du peuplement (tableau 3.7 p.130)

Le rendement de la parcelle n'est pas significativement différent pour le témoin et le traitement EFF1. Par contre, le traitement EFF2 est très pénalisé, à cause de l'effet très négatif de l'effeuillage sur les plantes No : forte diminution du poids moyen, diminution plus faible du rendement. Ce résultat est en accord avec la diminution des moyennes par parcelle du diamètre

FIGURE 3.17 : EFFET DU TRAITEMENT DISTANCE SUR LE RAYONNEMENT INCIDENT SUR LA PLANTE RO



de la tige et de la masse foliaire unitaire.

Les deux traitements Effeillage réduisent sensiblement la variabilité du peuplement : Sur les variables Poids moyen d'un fruit et Rendement, le coefficient de variation passe de 10-12% pour le témoin à respectivement 9% et 5% pour les traitement EFF1 et EFF2.

Le traitement Effeillage confirme donc que, dans un peuplement hétérogène, il est possible de jouer sur l'état végétatif des individus, donc sur les relations de compétition intra-peuplement, par des actions adaptées à l'état de chaque plante. La conduite plante à plante de l'effeuillage permet de réduire la variabilité du peuplement, et en particulier celle du calibre des fruits. Elle est sans effet sur le rendement du couvert : l'effeuillage des plantes No accroît le rayonnement incident sur les plantes Ro, et donc leur production, mais il est pénalisant pour les plantes effeuillées dès que le nombre de feuilles éliminées est important. Cette technique semble donc relativement risquée. En effet, le nombre de feuilles pouvant être enlevées sans effets sur la production des plantes No est difficile à prévoir : il dépend probablement, comme dans le cas de l'ablation de bouquet, de l'état végétatif des plantes, des conditions du milieu et des relations de compétition entre individus.

#### 4. AUGMENTATION DE LA DISTANCE SUR LE RANG ENTRE LA PLANTE Ro ET SES VOISINES (DIST)

##### 4.1 CARACTERISATION DU TRAITEMENT

Le traitement DIST consiste à éloigner les plantes No de la plante Ro. A la différence des traitements précédents, il ne s'accompagne d'aucune ablation d'organes. Il a pour objectif d'augmenter le rayonnement incident sur la plante Ro, ce que nous vérifions maintenant.

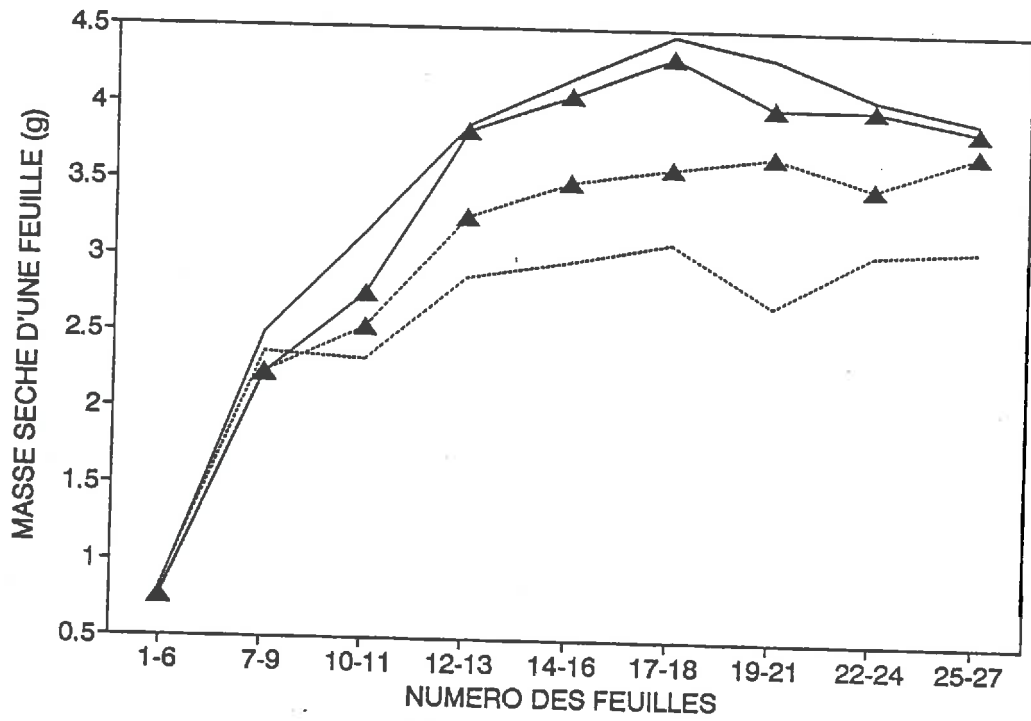
Dans un premier temps, l'effet du traitement DIST sur le rayonnement incident sur la plante Ro est étudié en estimant le volume disponible pour chaque plante. Les hypothèses à l'origine de ce calcul sont récapitulées dans l'annexe 17. Le volume disponible est l'espace compris entre les deux médianes situées entre la plante Ro et chacune de ses voisines No. Pour les plantes Ro/DIST, ce volume augmente de 25% après réalisation du traitement. Pour les plantes No/DIST, il est identique à celui du témoin, mais réparti très différemment : chaque plante No reçoit plus de lumière du côté de la plante Ro, et moins du côté de la plante de bordure B. Comme le déplacement des plantes No a lieu sans toucher aux plantes de bordure B, celles-ci sont pénalisées : leur volume disponible est réduit de 12.5% pour chacune.

Ce calcul très simple permet une première estimation de l'effet du traitement DIST sur l'environnement lumineux de chaque plante.

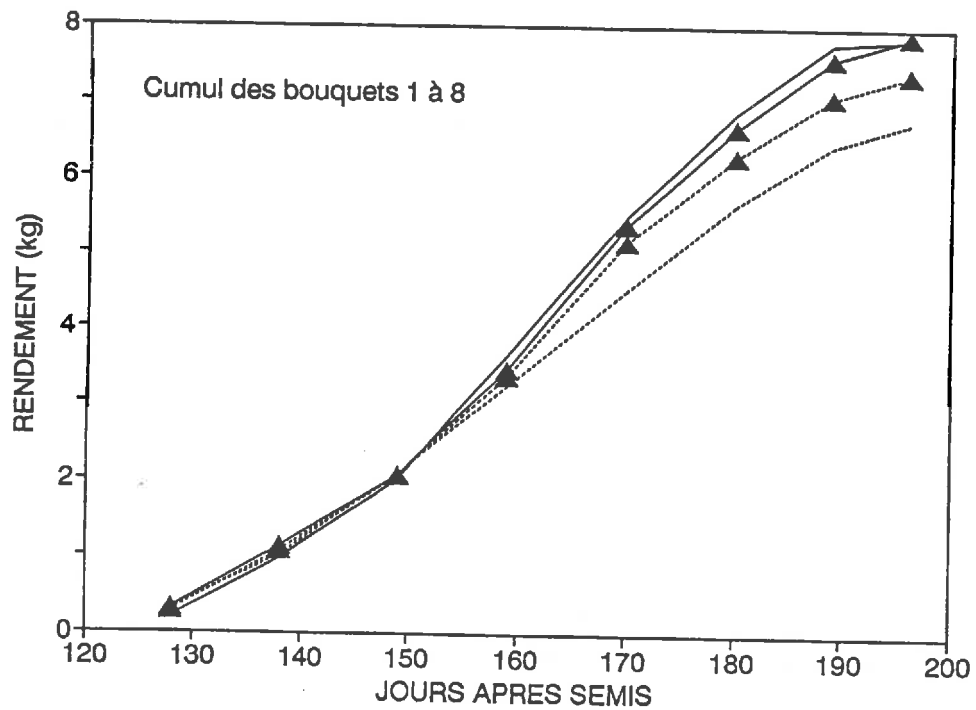
Les mesures de rayonnement confirment l'augmentation du rayonnement incident sur la plante Ro après déplacement des tiges (figure 3.17). L'augmentation est visible sur les trois mesures les plus hautes (50, 75 et 100 cm), de 9h à 13h. A 15h, seul le rayonnement incident à

FIGURE 3.18 : EFFET DU TRAITEMENT DIST SUR LES PLANTES No ET Ro

a) Effet sur l'appareil végétatif



b) Effet sur le rendement



— No/TEM    ▲ No/DIST    ..... Ro/TEM    ..... Ro/DIST

100 cm de hauteur semble accru. L'augmentation est d'environ 40% à 100 cm de hauteur et beaucoup plus forte en dessous, ce qui provient de l'arrivée latérale de lumière, parallèlement à l'axe des rangs (composante 2 de la figure 3.13b). Cependant, les mêmes réserves que pour le traitement Effeillage doivent être faites quant à la caractérisation de l'environnement lumineux par le ceptomètre.

## 4.2 EFFETS DU TRAITEMENT DIST SUR LES INDIVIDUS (No ET Ro)

### *4.2.1 Effet sur les plantes Ro (tableau 3.5, p.127)*

L'écartement des plantes No a un effet positif sur l'appareil végétatif de la plante Ro/DIST : le diamètre et la masse foliaire unitaire sont augmentés de 12% et 20% par rapport au témoin ; la différence est significative à 10%. L'augmentation de masse foliaire s'observe tout au long de la plante à partir de la feuille F12 (figure 3.18a).

Le rendement est accru de 11% ; la différence n'est pas significative sur la production totale, mais l'est (à 10%) sur les productions cumulées des bouquets B1 à B4 et B5 à B8, du fait d'une augmentation du nombre de fruits récoltés et de leur poids moyen. Cet effet est très progressif et apparaît à partir de  $j_{160}$  (figure 3.18b), ce qui correspond à peu près à la récolte de B5. Or, c'est à la floraison de B5 que les plantes No ont été éloignées de la plante Ro.

**Pour toutes les variables enregistrées, caractérisant l'appareil végétatif et le rendement, les plantes Ro/DIST se comportent mieux que les plantes Ro du traitement témoin, et même que celles du peuplement T1Ro, qui correspond à une faible compétition entre plantes.**

### *4.2.2 Effet sur les plantes No (tableau 3.6, p.129)*

L'effet de l'écartement des plantes No sur leur appareil végétatif est inverse de celui sur les plantes Ro : diminution du diamètre et de la masse foliaire unitaire. Cette diminution est cependant plus limitée que l'augmentation précédente sur Ro. Elle est observée à partir de la feuille F11 (figure 3.18a).

Aucun effet n'est visible sur le rendement total, bien que le traitement No/DIST soit légèrement supérieur tout au long du cycle (figure 3.18b). Cependant, le traitement joue sur les composantes du rendement : le nombre de fruits récoltés est légèrement supérieur au témoin, mais il y a simultanément une diminution du calibre des fruits.

### *4.2.3 Discussion*

**L'écartement des plantes No augmente la masse des feuilles, le diamètre de la tige et le rendement de la plante Ro, autour de laquelle la densité de végétation a été réduite. L'effet est inverse pour les plantes No. L'évolution du phénomène le long de la plante est en accord avec les stades de développement et de croissance des organes : les premiers étages (feuilles F1 à F9) avaient atteint leur maturité avant la réalisation du traitement (figure 3.16) et n'en subissent donc pas les conséquences. L'effet du traitement sur le rendement, qu'il s'agisse des plantes No ou Ro, est sensible dès la récolte du bouquet qui était en floraison au moment de la réalisation du traitement (B5).**

Ces résultats peuvent être analysés à l'échelle de la plante dans les mêmes termes que l'effet de la densité de plantation, bien que cette technique soit généralement testée de façon homogène sur tout le peuplement. Ils sont en accord avec la bibliographie. Shinozaki & Kira (1956) montrent que l'effet de la densité  $D$  sur le rendement par plante  $RDT$  est défini par le modèle suivant :  $RDT^{-1} = a + b.D$ , où  $a$  et  $b$  sont des constantes. Ce modèle est vérifié sur tomate (Van de Vooren et al., 1986) : l'augmentation de densité réduit le rendement par plante (nombre de fruits et poids moyen). Sur une culture précoce sous serre, le rendement par plante diminue proportionnellement à l'accroissement de densité, pour  $D$  variant de 1,5 à 2,5 plantes/m<sup>2</sup> (Veenman, 1978, cité par Van de Vooren et al., 1986). Or, ceci correspond à notre gamme de variation : on peut considérer que la densité  $D$  du traitement Ro/DIST se situe entre la densité  $d$  du témoin ( $d=2$  plantes/m<sup>2</sup>) et la moitié  $d/2$ , qui correspondrait à la suppression d'une plante sur deux. Le traitement Ro/DIST se rapproche vraisemblablement plus d'un traitement de densité  $d$  que de  $d/2$ , d'autant qu'il n'est réalisé qu'en cours de culture (floraison de B5) alors que les traitements "densité" ont lieu dès le semis ou le repiquage.

Les traitements "densité" habituellement réalisés jouent principalement sur le rayonnement incident. Cependant, ils ont simultanément une action sur la compétition souterraine (eau, éléments minéraux). Dans notre cas, c'est la densité aérienne qui a été modifiée : il s'agit donc seulement de compétition par rapport à la lumière.

Les mesures de rayonnement sur la plante Ro confirment la similitude avec la densité de plantation et avec les traitements Effeillage précédents. Bien qu'aucune mesure de rayonnement n'ait été faite sur les plantes No, l'analyse du volume disponible semble indiquer que le traitement DIST modifie peu la quantité totale de rayonnement reçue par ces plantes. D'ailleurs, ceci est en accord avec les effets du traitement sur les plantes No et Ro : effet très positif sur les plantes Ro (appareil végétatif et rendement), modéré sur les plantes No (effet négatif sur l'appareil végétatif, pas d'effet sur le rendement total).

**Le traitement DIST entraîne une forte hétérogénéité spatiale de rayonnement pour les plantes No.** Le traitement DIST diminue le rayonnement incident du côté des plantes de bordure, mais l'augmente fortement du côté de la plante Ro. Or, comme les feuilles sont disposées suivant une hélice de phyllotaxie 2/5, certaines feuilles du sympode sont désavantagées, d'autres sont favorisées par le traitement. Si la répartition des assimilats était très localisée, cela pourrait avoir un effet négatif sur le rendement, ce qui n'a pas été observé. Ces résultats semblent donc, indirectement, confirmer l'importance des transferts d'assimilats entre feuilles et entre sympodes.

Cependant, l'orientation des bouquets (du côté de la plante Ro ou des plantes de bordure) pourrait avoir un effet sur la qualité des fruits : selon les maraîchers, l'arrivée directe de lumière sur le bouquet accélère la maturation et améliore la qualité des fruits ; c'est une des justifications de l'effeuillage au niveau du bouquet en cours de maturation. Les bouquets situés entre la plante No et la plante de bordure pourraient donc être de qualité inférieure, mais ceci ne peut être confirmé, faute de données expérimentales et de bibliographie.

#### 4.3 EFFETS DU TRAITEMENT DIST SUR LE PEUPEMENT (tableau 3.7 p.130)

A l'échelle de la parcelle, les phénomènes observés sur l'appareil végétatif des plantes No et Ro se compensent. Les moyennes par parcelle du diamètre de la tige et de la masse foliaire sont exactement identiques au témoin.

Le traitement DIST accroît le rendement de la parcelle, parce que le nombre de fruits récoltés est supérieur. Par contre, le poids moyen des fruits est légèrement inférieur.

Ce résultat doit cependant être très fortement nuancé. En effet, nous n'avons pas enregistré le rendement des plantes de bordure (voisines des plantes No). Or, l'environnement lumineux de ces plantes est très réduit (réduction du volume disponible de 12.5%). Il est donc probable que leur rendement est diminué. A l'échelle de la surface, le traitement DIST pourrait alors n'avoir aucun effet.

Comme pour les traitements précédents (à l'exception de l'éclaircissage), le traitement DIST réduit les coefficients de variation pour chaque variable enregistrée.

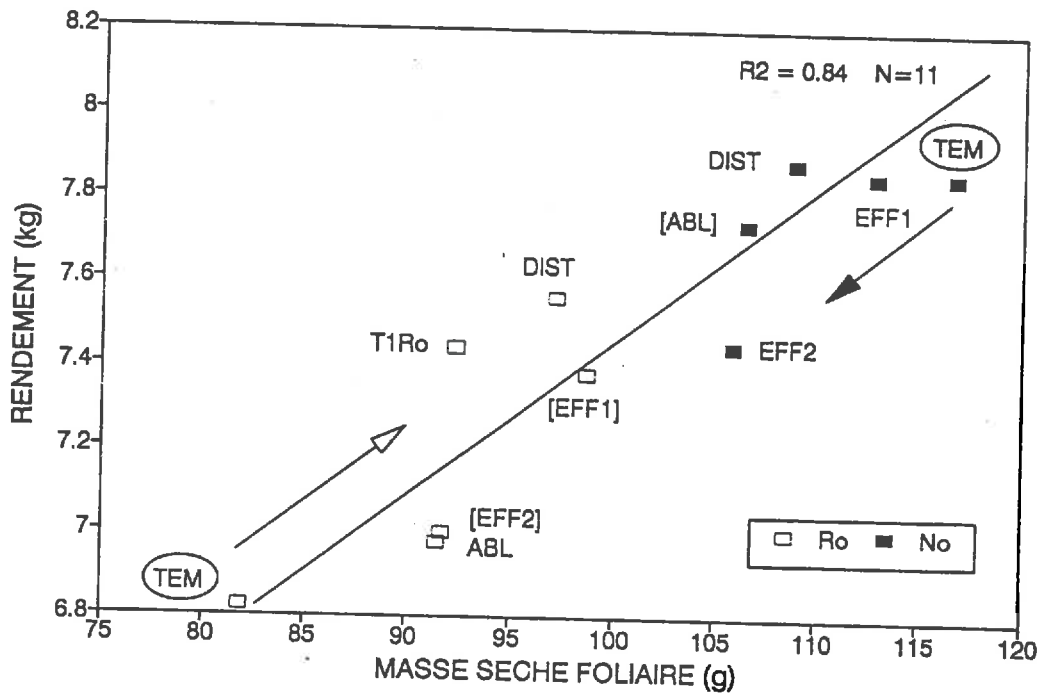
Bien que l'effet sur la production par unité de surface ne puisse être déterminé de manière certaine faute de données sur les plantes de bordure, cette technique semble intéressante pour favoriser une plante "faible" : l'augmentation du rayonnement incident entraîne un accroissement de la masse de l'appareil végétatif et du rendement. Cependant, l'effet est inverse, quoique moins important, sur les plantes No. Cette technique est relativement facile à réaliser, puisque la distance entre tiges peut être changée au moment du palissage.

Cependant, il faut respecter une distance minimale entre les plantes les plus proches, car sinon, on augmente le risque d'attaque du feuillage par les champignons (Botrytis...), qui se développent fréquemment dans les zones où le feuillage est très dense.

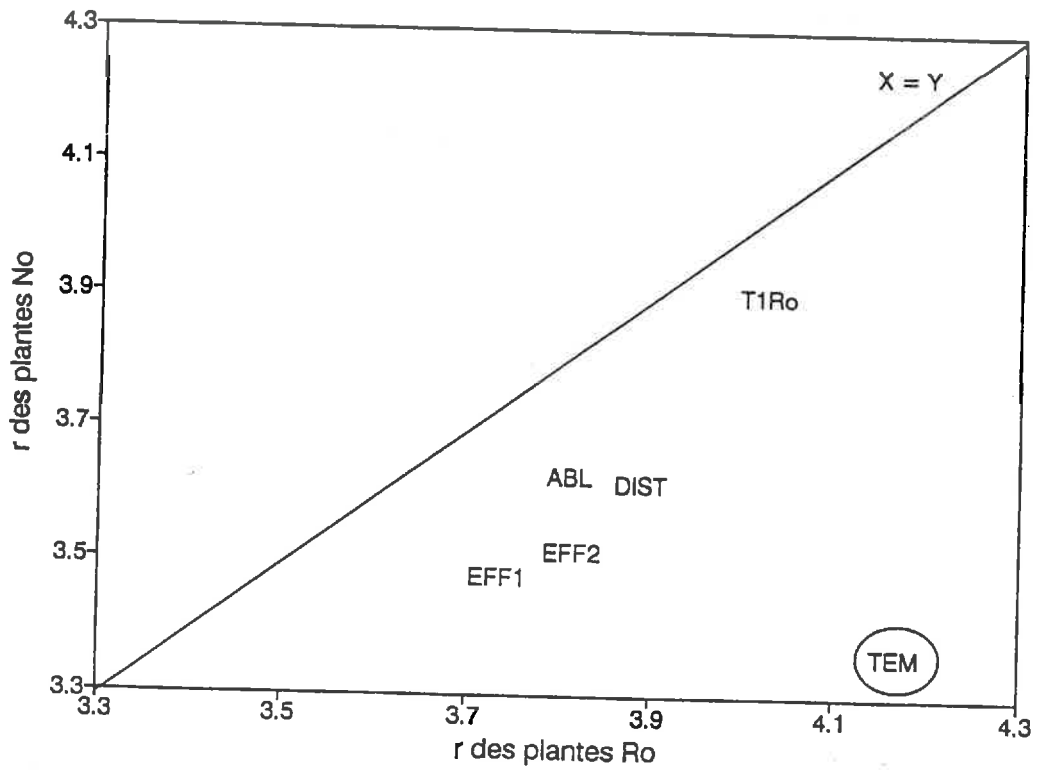


FIGURE 3.19 : EFFET DES TRAITEMENTS A L'ECHELLE DU PEUPEMENT

a) Relation entre appareil végétatif et rendement



b) Relation entre les ratios  $r = MS_{\text{fruits}}/MS_{\text{feuilles}}$  des plante No et Ro



## D - DISCUSSION GENERALE ET CONCLUSION

Dans cette discussion, nous ne revenons pas sur l'effet de chaque technique sur la plante traitée, la discussion ayant déjà eu lieu précédemment. Par contre, à l'échelle de la surface, l'ensemble des techniques testées font appel à des mécanismes communs, ce qui justifie une discussion générale.

Rappelons que l'objectif des traitements était de tester s'il est possible de réduire la variabilité intra-peuplement, et ce faisant, quelles en sont les conséquences sur la production (quantitative, qualitative) du couvert. Les techniques visaient donc à placer les plantes "faibles" (petit diamètre de tige, masse foliaire réduite) dans des conditions de croissance plus favorables par des techniques manuelles, l'hypothèse étant que cela entraînerait une augmentation de rendement et/ou une régulation des calibres. Les techniques testées peuvent se regrouper en deux types :

- **modification de l'équilibre entre appareils végétatif et reproducteur** par réduction du nombre de puits (Eclaircissage, Ablation de bouquet),
- **augmentation du rayonnement incident sur la plante Ro**, en modifiant le "partage" de la lumière entre les plantes No et Ro (Effeuilage, Distance).

Toutes les techniques testées permettent une augmentation de la masse de l'appareil végétatif et du diamètre de la tige des plantes "faibles" Ro (figure 3.19a). Mais d'une technique à l'autre, le mode d'élaboration du rendement varie : effet sur le taux de nouaison, la vitesse de développement (donc de récolte) des bouquets, le poids moyen d'un fruit. Inversement, dans la quasi-totalité des cas, nous avons constaté sur les plantes voisines initialement "vigoureuses" (No) une réduction de l'appareil végétatif et du rendement. Ceci confirme les résultats de la deuxième partie, à savoir qu'il y a bien compétition entre plantes, vraisemblablement pour la lumière.

Sur cette figure, portant en abscisse la masse des feuilles et en ordonnée la production de chaque plante, les traitements sont globalement alignés ( $R^2 = 0.84$ ). Pour chaque plante, la masse de fruits est une fonction linéaire de la masse de feuilles, quel que soit le mode d'action des traitements (sur fruits ou feuilles) et le type de plantes (No ou Ro). Un plant de tomate alloue presque 4 fois plus de matière sèche aux fruits qu'aux feuilles, valeur très élevée par rapport aux autres espèces (par exemple, sur céréales, seulement la moitié des assimilats est destinée aux grains). Ceci explique les déséquilibres fréquents entre appareils végétatif et reproducteur, et l'importance de la vigueur dans la conduite de la culture par les maraîchers. **Les traitements modifient simultanément l'appareil végétatif et reproducteur en maintenant un équilibre entre les deux ; son existence a été observée par Fisher (1975) sur des plants de tomate portant un unique bouquet avec un niveau de signification très élevé. Il traduit l'équilibre à l'échelle de la plante entre quantité de ressources carbonées disponibles et demande en assimilats.**

En l'absence de conduite plante à plante (traitement TEM), les plantes Ro allouent proportionnellement plus de matière sèche aux fruits que les plantes No (figure 3.19b :  $r=4.2$  pour Ro ;  $r=3.3$  pour No), bien que leur production totale soit plus faible. Cela explique les périodes d'affaiblissement observées sur ces plantes (avortement de fruits, diminution du poids moyen des fruits).

A ces régulations internes s'ajoutent des phénomènes de compétition entre plantes : l'ensemble des traitements, pour les plantes No et Ro, s'éloignent de leur témoin respectif en restant sur la droite de régression (figure 3.19a), dans le sens d'un accroissement de la masse des feuilles et des fruits pour Ro, dans le sens inverse pour No. Cependant, les plantes Ro restent assez groupées dans la zone des faibles masses, les plantes No dans celle des masses élevées. Grâce à la conduite plante à plante, les différences de ratio  $r$  entre plantes No et Ro se réduisent (figure 3.19b), pour se rapprocher de la situation d'un peuplement homogène T1Ro, sur la bissectrice.

Etant donné le mode d'action des techniques (sur les fruits, les feuilles ou la répartition du rayonnement incident), les phénomènes de compétition mis en jeu sont probablement vis à vis de la lumière. Ceci est corroboré par le fait qu'en culture hors-sol, l'alimentation hydrique et minérale (et notamment en azote) est rarement limitante, du moins sur une longue durée (apport de solution en excès, correction possible tout au long du cycle, faible inertie du substrat). C'est une des différences importantes avec les cultures de plein champ, où le rayonnement n'est pas le facteur limitant dans la plupart des cas.

Les techniques plante à plante testées diminuent en général la variabilité intra-peuplement : elles favorisent les plantes faibles, ce qui se fait aux dépens des plantes vigoureuses. Il peut arriver, à la limite, que la technique soit trop favorable aux plantes faibles, au point d'inverser la tendance, les plantes initialement vigoureuses devenant plus faibles que celles qui étaient initialement faibles (ainsi, la production de No/ECL est inférieure à celle de Ro/ECL, de même pour No/EFF2 et Ro/DIST). Dans ce cas, c'est le traitement et non pas le type initial qui détermine le rendement, ce qui tendrait à montrer que les mesures concernant l'appareil végétatif caractérisent plus un état de croissance à un instant donné qu'un potentiel.

La conduite plante à plante, en réduisant la variabilité intra-peuplement, pourrait résoudre certains problèmes de diagnostic, les maraîchers ne sachant pas bien définir une consigne moyenne si la variabilité est trop forte.

Quelle que soit la technique testée, le rendement par unité de surface est en général assez voisin de celui du témoin (de l'ordre de 150 tMF/ha, soit 8 tMS/ha). Les différences entre traitements, de l'ordre de +/-4%, ne sont pas significatives.

D'après nos essais et la bibliographie, les effets des techniques d'ablation (feuilles, fruits) sur la plante traitée sont en interaction forte avec le climat : elles entraînent une augmentation qualitative de la masse unitaire des organes restants (feuilles et fruits), mais c'est de l'ampleur de cet effet que dépendent les conséquences sur la masse totale de feuilles ou de fruits. Or, cet effet dépend non seulement des conditions de réalisation des techniques (nombre d'organes supprimés, date d'intervention par rapport à l'état végétatif, stade de développement de l'organe supprimé), mais aussi des conditions du milieu. On pourrait penser que l'absence d'effet sur le rendement par parcelle est due à des conditions climatiques particulières, mais deux essais (*Eclaircissage* et *Techniques*) réalisés deux années climatiques différentes, aboutissent aux mêmes conclusions. De plus, les essais de la deuxième partie convergent vers le même résultat, puisque la variabilité intra-peuplement ne semble pas avoir d'effet sur le rendement total. Il semble donc que les interactions au sein du peuplement soient en général assez fortes pour que les productions des différentes plantes se compensent exactement, ce qui expliquerait une absence d'effet des traitements sur la production par unité de surface.

Cela tendrait à montrer que, pour tous ces traitements, le **potentiel de la culture permis par les conditions du milieu** (le rayonnement, que l'on estime limitant dans la majorité des cas) est atteint quelque soit l'état végétatif de chaque individu et les actions qui sont réalisées, en d'autres termes, que la totalité du rayonnement est captée, et transformée avec la même efficacité à l'échelle de la parcelle. Cette hypothèse est à rapprocher des observations de Veenman (1978), selon lesquelles pour des densités de plantation allant de 1,5 à 2,5 plantes/m<sup>2</sup>, aucune différence n'est décelable dans le rendement par unité de surface.

La troisième partie confirme donc qu'il est possible de réduire la variabilité intra-peuplement par des techniques adaptées à l'état de chaque plante, et que cela n'a pas de conséquences sur le rendement par unité de surface, la totalité des ressources étant captée quel que soit l'état des individus. A ce titre, cela participe à la compréhension des effets de la variabilité intra-peuplement et de sa genèse, et complète la deuxième partie.

Les techniques de conduite plante à plante, en réduisant la variabilité intra-peuplement, ont des effets sur la forme des distributions, pour les variables Nombre de fruits récoltés et Poids moyen des fruits. En particulier, presque tous les traitements permettent une réduction de la variabilité du poids moyen des fruits. Seul l'éclaircissage augmente cette variabilité, parce que le traitement a été trop défavorable aux plantes vigoureuses (erreur de diagnostic).

Il y a donc en général réduction de l'hétérogénéité du calibre des fruits, ce qui intéresse fortement les maraîchers, à la fois pour des raisons d'ordre économique que pour l'organisation du travail : l'homogénéisation des calibres permet un gain de temps au moment du calibrage et du conditionnement ; elle réduit le nombre de produits à commercialiser, donc augmente le tonnage par produit, argument commercial important sur les petites exploitations.

De plus, si les techniques d'ablation de bouquet et d'éclaircissage sont employées à bon escient, elles permettent de réduire le pourcentage de fruits de petit calibre (dont le prix de vente est faible) et de supprimer les fruits de très petit calibre, déformés (caractéristiques des "queues de bouquet") qui sont non-commercialisables.

L'absence d'effet négatif sur le rendement par unité de surface est une condition indispensable pour les maraîchers, car il reste le principal déterminant du chiffre d'affaire.

Tous ces résultats doivent être nuancés : dans ce travail d'expérimentation, nous n'avons pas optimisé les opérations plante par plante, pour plusieurs raisons :

- par manque de connaissance : on ne connaît pas, actuellement, les courbes de réponses de chaque état végétatif aux différentes modalités d'une technique. Cependant, cette troisième partie fournit un certain nombre d'éléments pour la construction d'une telle grille.

- parce que nous avons appliqué la même modalité sur toutes les plantes du même type alors qu'il y existe une variabilité intra-type, mise en évidence dans la deuxième partie. Ceci montre l'intérêt qu'il y aurait à définir un indicateur d'état végétatif non destructif et suffisamment fiable pour pouvoir caractériser chaque individu. Il serait alors possible de déterminer l'action à réaliser pour chaque plante, ce que font empiriquement les maraîchers.

- parce que nous n'avons pas testé les interactions entre techniques, alors que les maraîchers adaptent simultanément plusieurs techniques manuelles à l'état de la plante

(éclaircissage, effeuillage...), voire des techniques automatisées (climat, ferti-irrigation).

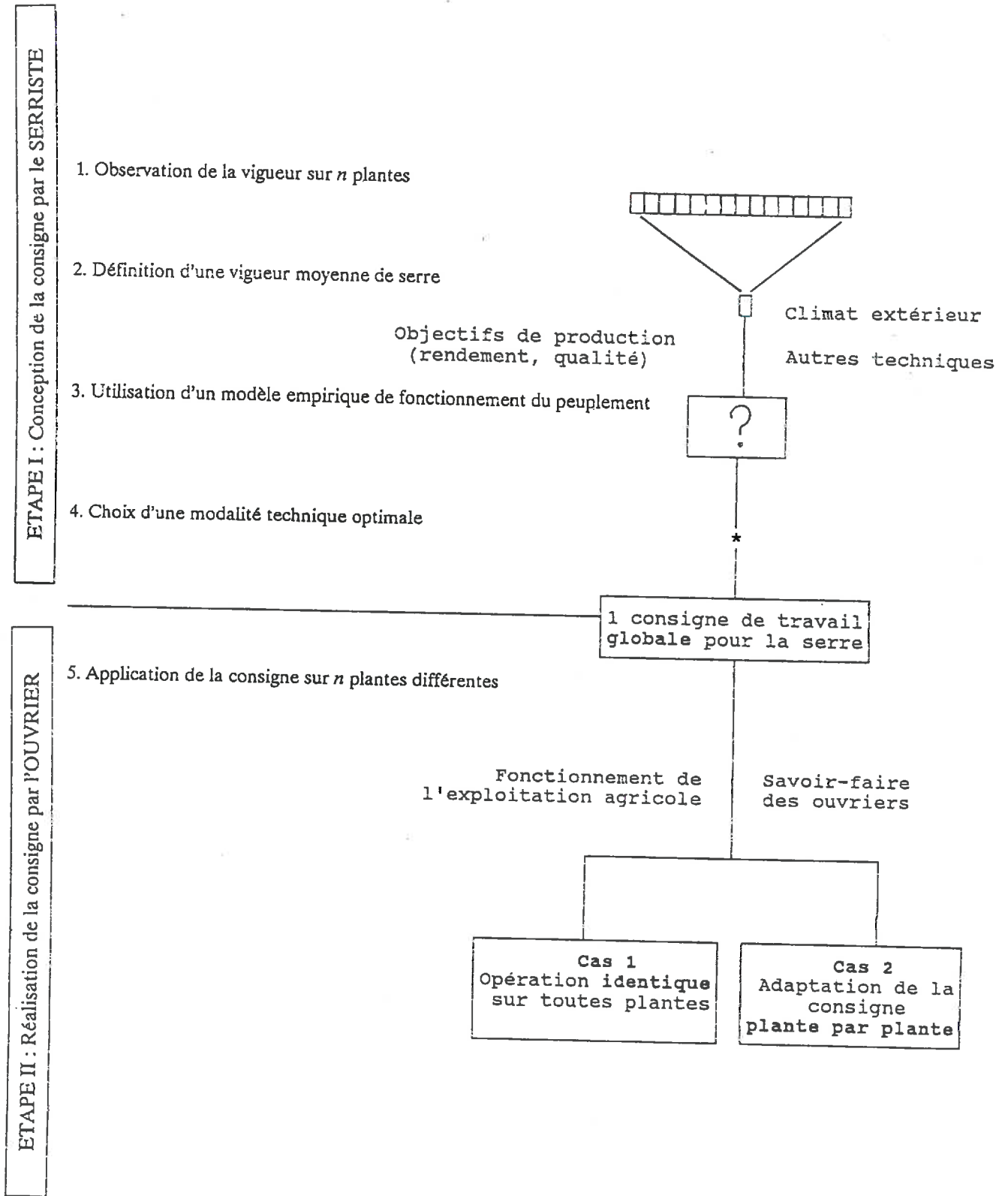
**Même sans optimisation, les effets de la conduite plante à plante sur les individus se sont extériorisés, ce qui confirme le poids des techniques plante à plante dans l'élaboration de la production du peuplement.**

**Ces essais apportent des éléments pour juger, non seulement les techniques plante à plante, mais aussi les techniques réalisées par les maraîchers, qu'elles soient ou non adaptées à l'état de chaque plante. Les essais confirment que l'éclaircissage et l'ablation de bouquet permettent une amélioration de la qualité des fruits, sans pénaliser le rendement total si elles sont bien choisies. L'effeuillage apparaît comme une technique "dangereuse", dans la mesure où il est difficile de prévoir quel degré d'effeuillage sera sans effets sur le rendement, du fait des nombreuses interactions. Il est donc souhaitable que cette technique soit utilisée avec modération, ce qui n'est pas toujours le cas dans les exploitations, où son effet sur le rendement est souvent sous-estimé. Enfin, l'écartement des plantes semble être une technique intéressante : facile à réaliser, elle peut permettre de réduire la variabilité du peuplement, à condition que la distance entre les plantes restantes (plantes de bordure dans l'essai) soit rééquilibrée.**

**Enfin, ces résultats apportent un certain nombre d'éléments pour juger les conséquences d'une mauvaise application de la consigne du maraîcher par le personnel d'exécution, puisqu'on a constaté dans la première partie une variabilité d'action d'une plante à l'autre, qui n'est pas toujours volontaire.**

**CONCLUSION GENERALE**

FIGURE 16 : LES GRANDES ETAPES DANS LA CONCEPTION ET LA REALISATION D'UNE OPERATION TECHNIQUE



L'objectif de la thèse était d'étudier la conduite manuelle d'un peuplement hétérogène de tomate sous serre, d'une part dans les exploitations maraîchères, d'autre part en station expérimentale. L'analyse des résultats s'est déroulée en trois étapes :

- analyse des pratiques des maraîchers concernant la conduite manuelle, plante à plante, de la culture (partie 1),
- caractérisation de la variabilité intra-peuplement et conséquences sur la production (partie 2),
- prise en compte de la variabilité intra-peuplement par des techniques adaptées plante par plante (partie 3).

Après avoir rappelé les résultats acquis dans ce travail et leurs limites, nous essaierons de positionner nos résultats par rapport au contexte économique actuel, puis nous présenterons les perspectives de cette étude.

**\* L'analyse des pratiques en exploitation permet de comprendre comment une technique est élaborée, puis réalisée sous la forme d'une opération technique.**

Pour raisonner l'itinéraire technique, et en particulier choisir chaque modalité technique (figure 16, étape I), les serristes utilisent un "modèle" empirique de fonctionnement du peuplement végétal (3), même s'il est rarement explicité sous cette forme. Ce modèle, issu de leur expérience, leur permet de définir des règles d'action (4), en vue d'atteindre un objectif de production dans un ensemble donné de contraintes. Pour cela, ils disposent de connaissances théoriques, les techniques, et d'indicateurs d'action empiriques. C'est la vigueur des plantes qui apparaît comme l'indicateur le plus global, bien qu'il ne soit pas le mieux défini, car il regroupe plusieurs critères : diamètre de tige, couleur et port des feuilles, volume de l'appareil végétatif... L'évolution du diamètre de la tige le long de la plante (donc au cours du cycle cultural) apparaît comme un élément très important pour réaliser le diagnostic semaine après semaine.

Le diagnostic du serriste est compliqué par la variabilité intra-serre. La variabilité spatiale du climat (d'une zone à l'autre de la serre) n'est pas très gênante, car chaque zone peut faire l'objet d'un choix technique, après observation de l'indicateur sur cette zone. Mais même ainsi, il demeure à l'intérieur d'une zone considérée comme homogène une variabilité plus ou moins importante d'une plante à l'autre, car le jugement dépend du degré de précision de l'observation. Le raisonnement des techniques à partir du modèle de fonctionnement du peuplement n'est possible que si le serriste est capable de définir, pour chaque zone, une estimation unique de la vigueur (2). Il semble que l'appréciation de la vigueur se fasse par l'observation de quelques plantes de la serre (1), mais le mode d'échantillonnage et le processus d'agrégation de  $n$  valeurs individuelles en une valeur unique n'ont pas été étudiés. Cependant, une variabilité trop forte à l'intérieur du peuplement peut conduire à une mauvaise estimation de la vigueur dans la phase de diagnostic, donc à de mauvais choix techniques.

Le choix technique du serriste est transmis aux ouvriers sous la forme d'une consigne de travail. Puisqu'une technique est déterminée en fonction de l'état végétatif moyen du peuplement, l'utilisation d'une consigne unique sur des plantes différentes ne correspond pas à une conduite optimale du peuplement. Or, ce travail montre qu'une consigne indique toujours une action moyenne, mais comporte aussi souvent une marge de manoeuvre, ce qui suppose de définir un indicateur à observer sur chaque plante et des solutions de rechange si la valeur de l'indicateur sur une plante est très éloignée de celle pour laquelle la consigne a été choisie.



En général, les maraîchers savent traiter la variabilité intra-peuplement : ils observent l'indicateur d'action, la vigueur, plante par plante et appliquent à l'échelle de chaque plante le modèle qu'ils utilisent globalement pour définir la consigne. Ils sont donc capables de déterminer les techniques optimales à réaliser sur chaque plante. Mais c'est la réalisation des opérations manuelles par le personnel (figure 16, étape II), à partir d'une consigne unique mais sur des plantes différentes qui pose problème, à cause du niveau de formation des ouvriers et de l'organisation du travail dans la serre.

En effet, la plupart des ouvriers, non qualifiés, ne disposent pas du savoir-faire (modèle de fonctionnement du couvert, indicateur d'état des plantes) pour adapter eux-même la consigne, si elle ne comporte pas explicitement des règles d'action à choisir en fonction d'indicateurs facile d'accès. L'acquisition de ce savoir-faire par la formation est difficile à cause de la rapide rotation du personnel, qui par ailleurs est souvent immigré.

Le degré d'adaptation des techniques plante par plante dépend fortement des possibilités d'expression de ce savoir-faire, et notamment du fonctionnement de l'exploitation et de l'organisation du travail. La conduite plante à plante n'est justifiée que dans un objectif de qualité (élimination des fruits non commercialisables ou mal valorisés, homogénéisation des calibres). Elle impose souvent un certain nombre de contraintes à l'organisation du travail ; nous en avons identifié plusieurs : compartimentation de la serre (chaque ouvrier étant responsable d'une zone), réalisation d'une seule opération culturale à chaque passage dans la serre, primes à la qualité du travail. De plus, adapter la consigne à l'état de chaque plante demande une attention particulière de la part de chaque ouvrier, et donc augmente les temps de travaux. Le type de conduite adopté doit donc être replacé dans le fonctionnement global de l'exploitation.

**\* Ayant constaté dans les exploitations maraîchères une variabilité intra-peuplement, tant au niveau de la vigueur que dans les actions des ouvriers, nous avons ensuite étudié la variabilité intra-peuplement par expérimentation.**

Comme supposé à l'issue de la première partie, le diamètre de la tige s'est révélé un bon indicateur de la masse foliaire des plantes, et donc probablement de la surface foliaire. C'est le critère que nous avons privilégié pour caractériser l'état végétatif des plantes, même si cet indicateur n'est pas parfait.

L'apparition et le développement de la variabilité intra-peuplement est sous la dépendance de plusieurs types de facteurs :

- d'une part, l'infrastructure de la serre, qui crée une variabilité spatiale fortement structurée. Elle a été mise en évidence pour le rayonnement et la température, mais existe probablement aussi pour le CO<sub>2</sub>, l'hygrométrie...

- d'autre part, les techniques culturales : certaines, automatisées, sont généralisées à l'ensemble de la serre, mais elle sont néanmoins à l'origine d'une variabilité aléatoire (débit des goutteurs) ; d'autres, manuelles, sont réalisées plante après plante, et sont donc susceptibles de varier d'une plante à l'autre.

**La variabilité d'état végétatif à l'intérieur d'une serre accroît la variabilité du calibre des fruits, critère de qualité important du fait des modes de conditionnement et de**

commercialisation. En effet, les petits calibres (<57mm) sont mal valorisés ; de plus, cela risque d'augmenter la quantité de fruits en deçà du seuil de commercialisation (<47mm), donc de diminuer le rendement commercialisable. Enfin, la dispersion des calibres accroît le temps de calibrage et de conditionnement des fruits et augmente le nombre de produits à commercialiser, ce qui est un handicap sur les exploitations dont la surface en serre est faible.

Cependant, la notion de qualité recouvre bien d'autres critères. Ils n'ont pas été étudiés parce que seul le calibre est actuellement un critère de valorisation de la production, et à cause de la lourdeur des protocoles expérimentaux. Mais la plupart dépendent de l'état végétatif (fruits déformés, vitreux, durée de conservation...), et sont peut être liés à la variabilité du peuplement. A l'avenir, certains d'entre eux pourraient devenir des facteurs de valorisation de la production.

A l'issue de nos essais, la variabilité intra-peuplement ne semble pas avoir d'effet sur le rendement par unité de surface. Dans une culture de tomate sous serre, il existe de fortes relations de compétition entre plantes. Le comportement d'une plante dépend donc de la structure du peuplement : la production des plantes les plus "vigoureuses" est augmentée par la présence de plantes "faibles" ; au contraire, celles-ci ont un rendement inférieur en peuplement hétérogène. Cependant, il semble que les relations entre plantes obéissent au modèle de compensation (De Wit, 1960, cité par Donald, 1963), selon lequel l'augmentation de rendement des plantes "vigoureuses" est exactement compensée par la perte de rendement des plantes "faibles".

Ce résultat a été observé sur des essais différant par le climat et le type d'hétérogénéité (lié à l'état végétatif en sortie de pépinière ou créé en faisant varier le stade de plantation), ce qui lui donne un caractère assez général. Il reste cependant à définir le domaine de validité avec plus de précisions, et à confirmer ce résultat dans une plus large gamme de situations, en particulier sous des climats différents (date de semis, lieux...) et sur d'autres types de peuplement, en faisant varier l'état des plantes (mélange de plus de deux types) et l'agencement des individus dans l'espace (regroupement des plantes faibles d'un côté, des plantes vigoureuses de l'autre...). Le phénomène de stricte compensation pourrait se révéler faux lorsque l'hétérogénéité est très forte.

**\* Puis, toujours par expérimentation, nous avons testé quelques règles d'actions définies plante par plante, pour voir s'il est possible de réduire la variabilité intra-peuplement, et analyser les conséquences sur la production.**

Dans une large gamme de situations climatiques, d'états du peuplement et de techniques, nous avons confirmé que l'adaptation des techniques plante par plante permet de réduire la variabilité intra-peuplement, en favorisant les plantes faibles aux dépens des plantes vigoureuses.

L'adaptation des techniques plante par plante améliore certains critères de qualité définis à l'échelle de la surface : régularisation des rythmes de production, homogénéisation des calibres, diminution du pourcentage de fruits non commercialisables. Par contre, aucune des règles d'action testées n'a d'effet sur le rendement du peuplement. Les plantes initialement "faibles", placées dans des conditions de croissance plus favorables (soit par augmentation du rayonnement incident, soit par réduction de la demande en assimilats de l'appareil

reproducteur) ont une croissance végétative et un rendement supérieur au témoin. Au contraire, les plantes initialement "vigoureuses" sont défavorisées. Les effets sur les deux types se compensent. Ce résultat doit être rapproché de celui observé dans l'étude de la variabilité, où tous les peuplements, quel que soit leur degré de variabilité, ont la même production par unité de surface. **Il semble donc que le potentiel de la parcelle, permis par le rayonnement incident dans des conditions de milieu fixées (notamment la nutrition minérale) soit atteint quel que soit l'état des plantes.**

Les techniques testées diffèrent dans leurs effets sur la production (rendement, qualité) et dans leur facilité d'emploi.

- **Les techniques de régulation de l'appareil reproducteur** (diminution du nombre de fruits sur les plantes faibles) ont un effet très positif sur le calibre des fruits et diminuent le pourcentage de fruits non commercialisables. Des indicateurs d'actions simples peuvent être utilisés pour l'éclaircissage (nombre de fruits, "allure" du bouquet...). Par contre, **l'ablation de bouquet** n'a un effet positif sur la production que pour certains états végétatifs, ce qui rend nécessaire l'utilisation de l'indicateur vigueur ; cette technique est donc d'emploi délicat.

- **Les techniques augmentant le rayonnement incident sur les plantes "faibles"** ont un effet très positif sur leur production, mais variable sur les plantes voisines : l'écartement des plantes sur le rang n'a pas d'effet sur les voisins immédiats mais pourrait diminuer la production des plantes suivantes ; l'effeuillage pénalise rendement et qualité des plantes "vigoureuses" s'il est trop sévère.

**Ces résultats doivent être nuancés.** D'une part, les techniques analysées n'ont pas été optimisées plante par plante mais **type par type**, parce que nous avons cherché à les normaliser pour construire les traitements expérimentaux. **Une seule technique a été testée à la fois.** Or, non seulement les maraîchers adaptent une technique à l'état réel de chaque plante (et non pas à un type moyen), mais aussi ils utilisent plusieurs techniques simultanément. **D'autre part**, la variabilité testée dans nos expérimentations est inférieure à celle que l'on peut rencontrer en exploitation (à cause de la variabilité spatiale du milieu, de la présence de plantes cassées, des maladies...). **Enfin**, il est possible que l'adaptation des techniques plante par plante joue peu sur le rendement tant qu'il est proche du potentiel mais **plus fortement dans le cas d'une mauvaise maîtrise du milieu.** Or, en station expérimentale, on peut faire sorte que, pendant la majeure partie du temps, la lumière soit le facteur limitant.

**Parmi les résultats précédents, certains doivent être confirmés, et leur domaine de validité précisé.**

**Pour les résultats acquis par expérimentation**, nous devons, **d'une part**, nous assurer que la variabilité aléatoire (celle qui existe dans les exploitations maraîchères) a des effets comparables à celle étudiée dans l'expérimentation, qui est structurée ; **d'autre part**, tester la stabilité des résultats sous d'autres conditions climatiques (notamment rayonnement, température, ferti-irrigation). **Enfin** il serait souhaitable de poursuivre l'étude des effets de la variabilité pour déterminer s'il existe un seuil (et le cas échéant le définir) à partir duquel l'hétérogénéité entraîne une diminution de rendement.

**Les résultats acquis par enquête en exploitation**, et notamment les déterminants du mode de conduite plante à plante devront être validés sur d'autres exploitations maraîchères.

En particulier, une étude fine des interactions avec la variété devrait être réalisée, pour

déterminer ce qui est spécifique à la variété Capello, variété de type indéterminée à gros fruits, et ce qui peut être généralisé à d'autres types de variété. Sur les variétés déterminées, bien que le cycle soit beaucoup plus court (donc le nombre d'interventions plus faible), il est nécessaire d'adapter certaines techniques plante par plante (par exemple l'ébourgeonnage). Sur des variétés indéterminées à petits fruits, l'éclaircissage des bouquets joue un rôle très important sur le calibre, donc sur le rendement commercialisable.

Les résultats précédents montrent qu'un même niveau de rendement peut être atteint de façon très différente (avec diverses structures du peuplement, avec ou sans adaptation des techniques plante par plante). Mais la qualité de la production, du moins en ce qui concerne le calibre, change fortement. Les déterminants sociaux de cette qualité (personnel, techniques) et les conséquences économiques varient fortement d'une situation à l'autre.

### **C'est pourquoi, la prise en compte du contexte économique est indispensable.**

Dans les conditions économiques actuelles, c'est le **rendement commercialisable** qui est le principal déterminant du chiffre d'affaire (Codron, 1986). Toute amélioration de la qualité doit donc se faire sans effet trop négatif sur le rendement commercialisable. Celui-ci dépend du **rendement biologique**, lié à l'utilisation des facteurs du milieu, et de la **proportion de fruits commercialisables**, qui dépend fortement des techniques manuelles (figure 17).

Cependant, le **chiffre d'affaire** dépend aussi du prix de vente. Il varie en fonction du calibre, et il est susceptible de devenir un facteur de plus en plus important dans le contexte actuel de production pléthorique à l'échelle de l'Europe. Les techniques plante par plante testées augmentent le chiffre d'affaire, car elles améliorent le prix de vente tout en maintenant le même niveau de rendement : l'amélioration du seul critère de calibre peut faire varier celui-ci de +/- 15%.

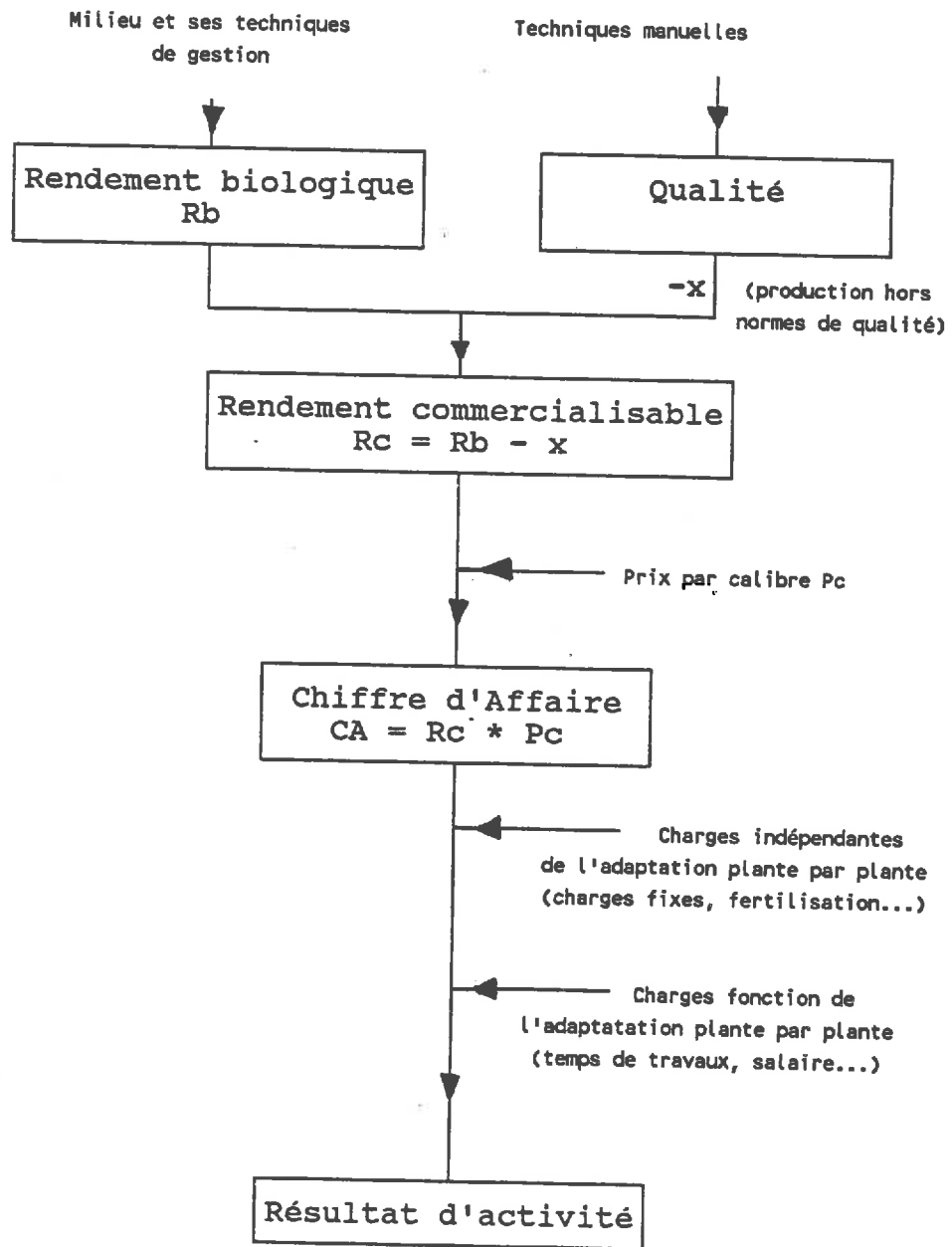
Cependant, la conduite plante à plante entraîne probablement une augmentation des charges (temps de travaux, niveau de qualification, salaires, primes). L'effet est difficile à chiffrer et varie probablement beaucoup d'une exploitation à l'autre.

**La prise en compte de tous ces facteurs permet d'expliquer la diversité de comportement des maraîchers vis à vis de l'adaptation des techniques plante à plante.**

- Dans ce système très intensif où les charges sont déjà très élevées (infrastructure de la serre, main d'oeuvre) et dans une situation économique instable, certains maraîchers cherchent à **diminuer les charges**. Ils ne souhaitent donc pas adapter les techniques à la variabilité du peuplement, bien qu'ils soient conscients qu'ainsi, ils n'optimisent pas les techniques.

- Par contre, l'adaptation plante par plante pourra convenir à d'autres maraîchers, qui disposent de créneaux de commercialisation spécifiques où la **qualité est bien valorisée**. Ce type de conduite entraîne un accroissement des charges de main d'oeuvre. De plus, il devient nécessaire d'accorder une place importante à la **formation du personnel**. Ce problème crucial se heurte aux caractéristiques de la main d'oeuvre : peu qualifiée, souvent immigrée (d'où des difficultés de compréhension) et à rotation rapide. Mais il est l'objet d'une attention particulière, comme en atteste la construction de supports vidéos par le CTIFL, pour former le personnel à la conduite de la tomate. Des systèmes experts ou des logiciels de simulation pourraient également accélérer l'acquisition des connaissances. Un tel choix suppose enfin

**FIGURE 17 : ADAPTATION DES TECHNIQUES PLANTE PAR PLANTE  
ET CONSEQUENCES SUR L'ELABORATION DU REVENU DES MARAICHERS**



d'améliorer les **indicateurs d'action**, et de les rendre d'emploi plus facile.

- Enfin, sur d'autres exploitations, il est possible qu'une voie d'amélioration ne consiste pas à adapter les opérations plante par plante, mais à **éviter l'apparition et le développement de la variabilité intra-peuplement**. Cependant, cette voie reste assez limitée : la variabilité spatiale du climat ne pourra guère être réduite même s'il existe des moyens d'amélioration (ventilateurs pour réduire les gradients de température...) ; celle créée par les techniques manuelles également. Mais il est possible qu'une meilleure gestion du milieu, tout en restant généralisée à l'ensemble de la serre, permette de réduire l'importance de la variabilité. Ce pourrait être le cas de la ferti-irrigation (de Tourdonnet, travaux en cours sur laitue).

**Dans un objectif d'aide à la décision, c'est l'ensemble de ces facteurs biologiques, sociaux et économiques qui doit être pris en compte pour proposer des techniques adaptées à différents objectifs de production et à différentes contraintes.**

**L'exposé des résultats ci-dessus fait apparaître deux modèles de fonctionnement du peuplement de tomate sous serre.**

**Le modèle de l'agriculteur** relie de façon empirique l'élaboration du rendement et de la qualité au climat et aux techniques culturales. Il s'inscrit dans un modèle plus large qui rend compte des processus décisionnels de l'agriculteur, comme le modèle d'action établi par Sebillotte & Servettaz (1989) en grande culture. Le fonctionnement de l'exploitation et l'organisation du travail, le contexte économique et la notion de risque, y sont parties prenantes et définissent les objectifs et les contraintes de l'agriculteur.

**Le modèle de l'agronome** relie l'élaboration du rendement et de la qualité au fonctionnement du couvert. Il s'appuie sur des connaissances écophysologiques déjà établies sur tomate et d'autres espèces, et les confirme.

**Les phénomènes de compétition** jouent un rôle très important dans le peuplement de tomate. Ils interviennent aussi bien entre plantes vis à vis de la lumière qu'au sein d'une plante, entre appareils végétatif et reproducteur, entre bouquets voire entre fruits d'un même bouquet. A l'échelle de la plante, il existe une attribution préférentielle des assimilats produits par une source aux puits voisins, mais ce schéma de répartition peut être modifié lorsque certains organes disparaissent (qu'ils s'agisse de puits ou de sources).

Nous disposons actuellement d'éléments de construction d'un modèle de fonctionnement de la culture de tomate sous serre prenant en compte la variabilité intra-peuplement. Cependant, sa construction se heurte encore à l'insuffisance des connaissances concernant les interactions entre état de la plante, climat, techniques (et notamment celles gérant le milieu, que nous n'avons pas étudiées). De plus, les modèles actuels de fonctionnement du peuplement végétal, qu'il s'agisse de la tomate ou d'autres espèces, ne permettent pas (ou difficilement) de prendre en compte l'hétérogénéité du peuplement et les individus : TOMGRO, par exemple, gère une plante moyenne (Jones et al., 1991). Or, modéliser une production moyenne paraît raisonnable, si toutefois on confirme que la variabilité intra-peuplement, dans la gamme rencontrée chez les maraîchers, n'affecte pas le rendement par unité de surface. **Par contre, la modélisation d'une plante moyenne ne permet pas de raisonner des conduites adaptées plante par plante en fonction d'objectifs de qualité, puisqu'un critère de qualité important, le calibre, s'élabore notamment à partir des distributions (variabilité, valeur seuil de calibre...).**

**La tomate apparaît comme une espèce disposant de capacités d'adaptation très importantes.** De ce fait, un même niveau de rendement (par unité de surface, par plante) peut être atteint de façon très différente, suivant la valeur prise par chacun des termes du modèle d'élaboration du rendement (poids d'un bouquet, nombre et poids d'un fruit).

**Les deux modèles, celui de l'agronome et celui de l'agriculteur, sont étroitement imbriqués et complémentaires.** Le modèle de l'agronome permet de juger le discours des serristes d'un point de vue biologique et non pas avec une démarche de sociologue. Il permet de définir des indicateurs de l'état des plantes objectifs, de tester les règles d'action identifiées chez les agriculteurs et d'en proposer de nouvelles. Comprendre le modèle de l'agriculteur est indispensable dans un objectif d'aide à la décision pour intégrer les objectifs et les contraintes de l'exploitation, et définir des variables de pilotage utilisables par le personnel. Ces résultats confirment donc l'intérêt d'un aller-retour entre le discours de l'agronome et celui du maraîcher, et justifient le caractère pluridisciplinaire de l'étude, qui intègre à la fois des aspects biologiques et sociaux.

**L'étude de la variabilité à l'intérieur d'un peuplement de tomate sous serre pose des problèmes méthodologiques, auxquels nous avons apporté un certain nombre de réponses.**

Nous avons privilégié une démarche d'expérimentation, ce qui suppose de ne faire varier simultanément qu'un petit nombre de facteurs. Or, dans le cas d'une culture sous serre, il est impossible de contrôler a priori tous les paramètres, pour diverses raisons : variabilité spatiale du climat, surface d'expérimentation limitée, nombreuses interventions manuelles. Il apparaît donc une variabilité "parasite", qui se superpose à la variabilité structurée que l'on étudie. Les statistiques, qui raisonnent en "tout ou rien" (dispositif analysable ou non, résultat significatif ou pas) sont un frein considérable à cette étude. Comme la variabilité intra-traitement est forte, les différences entre traitements sont souvent du même ordre de grandeur ; dans les analyses de variances, les différences sont fréquemment non significatives. C'est pourquoi, même dans une expérimentation, nous avons été conduits à utiliser une démarche d'enquête, qui a pris principalement deux formes :

- Un phénomène est considéré comme relativement sûr lorsque plusieurs résultats convergent, même si individuellement, aucune différence n'est significative (on estime que la probabilité que cette convergence soit due au hasard est très faible).

- Nous avons parfois utilisé des "connaissances d'experts" pour compenser les lacunes des plans expérimentaux (par exemple le comportement des plantes suivant leur position dans la serre).

**Il serait souhaitable d'éviter l'apparition d'hétérogénéités,** notamment par une meilleure prise en compte des gradients climatiques (augmentation du nombre de répétitions, utilisation de plans expérimentaux plus performants). Toutefois, cette amélioration ne peut être que limitée, du fait de la faible surface disponible sous serre.

**Un autre moyen d'action consiste à prendre en compte cette variabilité, par exemple dans des analyses de covariance.** Cela suppose que l'on soit capable de caractériser les individus, donc de déterminer un indicateur fiable, précis et facile à recueillir, permettant de

caractériser l'état végétatif de chaque individu. Nous avons utilisé jusqu'à présent la mesure de **diamètre de tige après arrêt de croissance**. Cet indicateur, inspiré des pratiques des maraîchers, se révèle un bon estimateur de la masse foliaire, et donc indirectement du rendement. Mais comme la mesure se fait a posteriori, il ne peut servir, actuellement, d'indicateur d'action. La mesure du diamètre sur une tige en croissance n'a pas été testée. Bien qu'elle pose des problèmes pratiques (stress d'une tige en croissance), elle pourrait se révéler intéressante. Il en est de même d'autres indicateurs utilisés par les maraîchers (couleur du feuillage...). **Dans la recherche d'un indicateur d'état des plantes, un aller-retour doit s'instaurer entre l'expérimentation et les enquêtes auprès des maraîchers.**

### **Plusieurs perspectives peuvent être envisagées à cette étude.**

Dans ce travail, nous avons étudié quelques techniques de façon isolée, faute de connaissances pour prendre en compte les interactions entre techniques. **Il faut maintenant chercher à raisonner, comme le font les agriculteurs, l'ensemble de l'itinéraire technique en fonction d'objectifs de productions variées (Meynard, 1985).** Compte tenu du nombre élevé d'interactions, et de la place disponible très limitée sous serre, il est impossible d'envisager une démarche expérimentale. C'est donc vers la modélisation qu'il faut se diriger.

Nous avons déjà signalé l'importance de **rechercher des indicateurs performants pour caractériser l'état des plantes.** Etant donné le caractère complexe de la "vigueur", ces indicateurs seront probablement variables suivant l'usage recherché (indicateur de diagnostic, indicateur d'action pour différentes techniques, covariable dans une analyse statistique...).

Pour cette modélisation, **l'observation des itinéraires techniques déjà existants, par enquête auprès des maraîchers, est une source d'information fondamentale.** D'une part, elle fournit des connaissances d'expert sur les indicateurs d'action, la hiérarchie des facteurs intervenant dans la production..., connaissances empiriques qu'il faut ensuite tester. D'autre part, elle oriente la modélisation dans le choix des variables d'entrée et de sortie du modèle, du pas de temps et de l'échelle spatiale.

Enfin, nous disposons maintenant de certains indicateurs pour caractériser le travail de chaque ouvrier, ce qui nous faisait défaut au démarrage du travail. Il pourrait donc être intéressant d'étudier, dans leur travail, **les poids relatifs de la consigne et de leurs propres connaissances, pour pouvoir, ainsi, contribuer à une meilleure formation du personnel.**

**L'analyse de la prise de décision dans une exploitation maraîchère, qui constitue un système pluri-acteurs très hiérarchisé, pourrait aider à comprendre le raisonnement des agriculteurs dans d'autres systèmes de production, notamment en grande culture, où les décisions sont moins facilement explicitées par les agriculteurs parce que la main d'oeuvre est peu nombreuse et que le chef d'exploitation est à la fois le décideur et l'acteur.**



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABD EL RAHMAN N., BOURDU R. 1986 - Effet de la taille et de la forme des grains sur quelques caractéristiques du développement du Maïs au stade jeune. *Agronomie*, 6(2), 181-186
- ACOCK B., CHARLES-EDWARDS D.A., FITTER D.J., HAND D.W., LUDWIG L.J., WARREN WILSON J., WITHERS A.C. 1978 - The contribution of leaves from different levels within a tomato crop to canopy net photosynthesis : an experimental examination of two canopy models. *J. exp. Bot.*, 29(111), 815-827
- ALDERFER R.G., EAGLES C.F. 1976 - The effect of partial defoliation on the growth and photosynthetic efficiency of bean leaves. *Bot. Gaz.*, 137, 351-355
- ALESSI J., POWER J.F. 1971 - Corn emergence in relation to soil temperature and seedling depth. *Agron. J.*, 63, 717-719
- ATHERTON J.G., HARRIS G.P. 1986 - Flowering. In *The tomato crop. A scientific basis for improvement*. Atherton & Rudich eds., Chapman & Hall, London & New-York, 167-200
- ATHERTON J.G., RUDICH J. 1986 - The tomato crop. A scientific basis for improvement. Chapman & Hall, 661p
- AUNG L.H., KELLY W.C. 1966 - Influence of defoliation on vegetative, floral and fruit development in tomatoes. *Proc. am. Soc. hortic. Sci.*, 89, 563-570
- BAILLE A. 1991 - L'aide à la décision dans la gestion du climat sous serre : De nouvelles perspectives. *PHM Revue Horticole*, 315, 51-57
- BAILLE A., BOULARD T., GARY C. 1990 - Les critères d'optimisation dans la gestion du climat et de la production sous-serre. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 76(5), 25-36
- BAILLE A., TCHAMITCHIAN M. 1991 - Solar radiation in greenhouses. Séminaire "Crop structure and light environment". 23-27 Sept. 1991, Saumane.
- BALDY C. 1975 - Importance de l'extinction de l'énergie lumineuse pour l'évolution des relations mutuelles des peuplements intraspécifiques de plantes fourragères. *Ann. Amélior. Plant.*, 25(1), 25-27
- BANGERTH F., HO L.C. 1984 - Fruit position and fruit set sequence in a truss as factors determining final size of tomato fruits. *Ann. Bot.*, 53, 315-319
- BELTRAME G., HIGELE P., SALMONA M. 1980 - Jardins maraîchers. Travail de maraîchage sur le littoral Est et Ouest Varois. CORDES Juin 1980
- BERTIN N., GARY C. 1991 - Tomato fruit-set : a tentative validation of the model TOMGRO. *Acta Hort.* Sous presse
- BLACKLOW W.M. 1972 - Mathematical description of the influence of temperature and seed quality on imbibition by seeds of corn (*Zea mays* L.). *Crop Sci.*, 12, 643-646
- BOIFFIN J., BRUCKLER L., AUBRY C. 1983 - Rôle des propriétés physiques du lit de semence sur l'imbibition et la germination. III. Valeur prévisionnelle d'un modèle d'imbibition au champ et caractérisation des lits de semences. *Agronomie*, 3, 291-302
- BOIFFIN J., DURR C., FLEURY A., MARIN-LAFLECHE A., MAILLET I. 1992 - Analysis of the variability of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) growth during the early stages. 1. Influence of various conditions on crop establishment. *Agronomie*, 12, 515-525
- BONNEMAIN J.L. 1975 - Transport et distribution des produits de la photosynthèse. In *Photosynthèse et Production Végétale*. Costes ed., Gauthiers-Villars, 238p

- BROUWER R. 1962 - Distribution of dry matter in the plant. *Neth. J. agric. Sci.*, 10, 361-376
- BRUCKLER L. 1979 - L'imbibition et la germination des semences en conditions sèches : influence des caractéristiques physiques du lit de semence. *Thèse Doct. Ing. INA-PG*, Paris, 119p
- BRUN R., CODRON J.M., FRISSANT N., MARLE D., JEANNEQUIN B., REMY J., 1986 - Les jardiniers du hors-sol. Innovation et production de tomates dans le Roussillon. INRA 1986. 189p
- BUITELAAR K. 1973 - Effect of pruning flower trusses of tomatoes. *Naaldwijk Ann. Rep.*, 63-65
- BUITELAAR K. 1978 - The effects of timing of truss pruning on the yield of beefsteak tomatoes. *Naaldwijk Ann. Rep.*, 48
- BUITELAAR K. 1979 - Effect of truss pruning on yield and fruit size of beefsteak tomatoes in heated crops. *Naaldwijk Ann. Rep.*, 42
- BUITELAAR K. 1984 - Truss pruning in heated tomatoes. *Naaldwijk Ann. Rep.*, 38
- BUITELAAR K. 1988 - Are your tomatoes a little shaky? *Grower* 04/02/88
- CALVERT A, SLACK G. 1972 - Selected fruit truss removal with early sown tomatoes. *GCRI Ann. Rep.*, 39
- CAPILLON A. 1986 - Comment extrapoler les solutions en matière d'organisation du travail. *Bull. Tech. Inf.*, 412-413, 791-801
- CAPILLON A. 1988 - Jugement des pratiques et fonctionnement des exploitations. In *Pour une agriculture diversifiée* Jollivet ed., L'Harmattan, 124-133
- CARVER M.F. 1977 - The influence of seed size on the performance of cereals in variety trials. *J. agric. Sci. Camb.*, 89, 247-249
- CHARLES-EDWARDS D.A., THORPE M.R. 1976 - Interception of diffuse and direct beam radiation by a hedgerow apple orchard. *Ann. Bot.*, 40, 603-613
- CODRON J.M. 1986 - Le chiffre d'affaire Tomato hors-sol en Roussillon. Principaux facteurs d'influence. *INRA-ESR Montpellier*, 76, 33p
- COOPER A.J. 1958 - Observations on growth trends of the tomato plant throughout the whole of the growing season. *J. hortic. Sci.*, 33, 43-48
- COOPER A.J. 1959 - Observations on the growth of the leaves of glasshouse tomato plants between March and August. *J. hortic. Sci.*, 34, 104-110
- COOPER A.J. 1964 - Relations between growth of leaves, fruit and shoot of glasshouse tomato plants. *J. hortic. Sci.*, 39, 173-181
- COOPER A.J., HURD R.G. 1968a - Effects of planting stage on fruiting of glasshouse tomatoes. *J. hortic. Sci.*, 43, 167-173
- COOPER A.J., HURD R.G. 1968b - Effects of planting stage on the flowering of glasshouse tomatoes. *J. hortic. Sci.*, 43, 385-390
- DEMARLY Y., GUY P., CHESNEAUX M.T. 1964 - Analyses préliminaires de la compétition chez les luzernes. *Ann. Amélior. Plant.*, 14(2), 131-155
- DONALD C.M. 1963 - Competition among crop and pasture plants. *Adv. Agron.*, 15, 1-118

- DUNCAN W.G., HAMMOND L.C., ROBERTSON W.K., LUNDY H.M. 1973 - Effects of environmental stress and planting accuracy on plant to plant variability in Corn. *Soil Crop Sci. Soc. Flo.*, 32, 1-4
- DURU M., PAPY F., SOLER L.G. 1988 - Le concept de modèle général et l'analyse du fonctionnement de l'exploitation agricole. *CR Acad. agric. Fr.*, 74(4), 81-93
- DUYN P. VAN 1983 - Truss pruning and truss removal. *Gr. en Fr.*, 38(33), 32-33
- EDMEADES G.O., DAYNARD T.B. 1979 - The development of plant-to-plant variability in maize at different planting densities. *Can. J. Plant Sci.*, 59(3), 561-576
- FISHER K.J. 1974 - Effect of the amount and position of leaf tissue on the yield of single-truss tomatoes. *Scientia Hortic.*, 3, 303-308
- FISHER K.J. 1975 - Effect of the amount and position of leaf tissue on the yield of single-truss tomatoes. *Scientia Hortic.*, 3, 303-308
- FISHER K.J. 1977 - Competition effects between trusses of the tomato plant. *Scientia Hortic.*, 7, 37-42
- FLEURY A. 1971 - Irrégularités de semis et composantes du rendement de la betterave sucrière. Essai de méthodologie. *Ann. agron.*, 22(3), 291-307
- FLEURY A. 1975 - Principes fondamentaux de l'étude des semis. *Bull. Tech. Inf.*, 302-303, 579-596
- FLEURY A. 1990 - Méthodologie de l'analyse de l'élaboration du rendement. In *La vie du maïs. Application à la production*. Pau, 13-15 novembre 1990. 193-204
- FLEURY A., CANEILL J. 1984 - Croissance et développement de la betterave sucrière. Analyse de l'hétérogénéité du peuplement. In *Physiologie de la plante entière*. INRA Agronomie 201-212
- FLEURY A., BERTRAND M., RONSIN T. 1986 - Essai d'analyse climatique de la croissance précoce du maïs. *CR Acad. agric. Fr.*, 72(7), 591-602
- GARY C., JONES J.W., LONGUENESSE J.J. 1991 - Modelling daily changes in specific leaf area of tomato : the contribution of the leaf assimilate pool. *Acta Hort.* Sous presse
- GIFFORD R.M., EVANS L.T. 1981 - Photosynthesis, carbon partitioning and yield. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 32, 485-509
- GLENN F.B., DAYNARD T.B. 1974 - Effect of genotype, planting pattern, and plant density on plant-to-plant variability and grain yield of corn. *Can. J. Plant Sci.*, 54, 323-330
- GRAHAM M.E.D., DUBE P.A., PHENIX M. 1990 - Measurement of natural irradiance in greenhouses : the effect of averaging period and number of sensors on measurement reliability. *Biotronics*, 19, 83-91
- GRAS R. 1961 - Relation entre les propriétés physiques du sol et la croissance du Pommier dans la Sarthe. *Ann. agron.*, 12(2), 207-248
- HAMID A., AGATA W. 1989 - Estimating leaf area in mungbean (*Vigna radiata*) *J. agric. Sci.*, 113, 165-167
- HEUVELINK E., MARCELIS L.F.M. 1989 - Dry matter distribution in tomato and cucumber. *Acta Hortic.*, 260, 149-150
- HO L.C., HEWITT J.D. 1986 - Fruit development. In *The tomato crop. A scientific basis for improvement*. Atherton & Rudich eds., Chapman & Hall, London & New-York, p201-240
- HURD R.G., GAY A.P., MOUNTIFIELD A.C. 1979 - The effect of partial flower removal on the relation between root, shoot and fruit growth in the indeterminate tomato. *Ann. appl. Biol.*, 93, 77-89

- JACQUARD P. 1975 - Concurrence intra-spécifique et potentialités de rendement. *Ann. Amélior. Plant.*, 25(1), 3-24
- JEANNEQUIN B. 1987 - Conduite de la fertilisation des cultures hors-sol en maraîchage. *PHM Revue horticole*, 275, 19-28
- JEUFFROY M.H. 1991 - Rôle de la vitesse de croissance, de la répartition des assimilats et de la nutrition azotée dans l'élaboration du nombre de graines du pois protéagineux de printemps (*Pisum sativum* L.). *Thèse Doct. Ing. INA-PG*, Paris, 208p
- JONES J.W., DAYAN E., ALLEN L.H., VAN KEULEN H., CHALLA H. 1991 - A dynamic tomato growth and yield model (TOMGRO). *Trans. ASAE*, 34(2) 663-672
- KEMP D.R., AULD B.A., MEDD R.W. 1983 - Does optimizing plant arrangement reduce interference or improve the utilisation of space ? *Agric. Syst.*, 12, 31-36
- KHAN A., SAGAR G.R. 1967 - Translocation in the Tomato : The distribution of the products of photosynthesis of the leaves of a tomato plant during the phase of fruit production. *Hortic. Res.*, 7, 61-69
- KLAPWIJK D., WUBBEN C.F.M. 1984 - Light, temperature and the first three inflorescence in greenhouse tomatoes. *Acta Hortic.*, 148, 925-931
- KOLLER H. 1972 - Leaf area-leaf weight relationships in the soybean canopy. *Crop Sci.*, 12, 180-183
- LANDAIS E., DEFFONTAINES J.P. 1990 - Les pratiques des agriculteurs. Point de vue sur un courant nouveau de la recherche agronomique. In *Modélisation systémique et système agraire. Décision et organisation*. Brossier, Vissac & Lemoigne Eds, INRA, Paris, 31-64
- LONGUENESSE J.J., TCHAMITCHIAN M. 1990 - Greenhouse tomato leaf photosynthesis as affected by leaf age and leaf position. 23d International Horticultural Congress, Firenze, Italy, 27/08 - 01/10 1990
- MA L., GARDNER F.P., SELAMAT A. 1992 - Estimation of leaf area from leaf and total mass measurements in Peanut. *Crop Sci.*, 32, 467-471
- MASLE J. 1981 - Relations entre croissance et développement pendant la montaison d'un peuplement de blé d'hiver. Influence des conditions de nutrition. *Agronomie*, 1(5), 365-374
- MASLE J., SEBILLOTTE M. 1981a - Etude de l'hétérogénéité d'un peuplement de blé d'hiver. I. Notion de structure du peuplement. *Agronomie*, 1(3), 207-216
- MASLE J., SEBILLOTTE M. 1981b - Etude de l'hétérogénéité d'un peuplement de blé d'hiver. II. Origine des différentes catégories d'individus du peuplement ; éléments de description de sa structure. *Agronomie*, 1(3), 217-224
- MEYNARD J.M. 1985 - Construction d'Itinéraires Techniques pour la conduite du Blé d'hiver. *Thèse Doct. Ing. INA-PG*, Paris, 297p
- MEYNARD J.M., DAVID G. 1992 - Diagnostic de l'élaboration du rendement des cultures. *Cahiers Agricultures*, 1, 9-19
- MONTEITH J.L. 1972 - Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *J. Appl. Ecol.*, 9, 747-766
- MORGAN J.V., CLARKE E.L. 1975 - Influence of stage of development at planting on flowering and fruiting in tomato. *Acta Hortic.*, 51, 131-145

- MORISOT A., BALLINO N. 1987 - Réponse des plants de tomate chargés de fruits à une interruption de leur nutrition minérale pendant 2 à 4 jours. *C. R. d'essai, INRA, Antibes*
- MURNEEK A.E. 1926 - Effects of correlation between vegetative and reproductive functions in tomato. *Plant Physiol.*, 1, 3-56
- NAVARRETE M. 1989 - Etude de deux techniques culturales relevant du savoir-faire sur la culture de tomate à croissance indéterminée: le palissage et l'ablation de bouquets floraux. *Mémoire de DEA INA-PG / Université d'Orsay*, 22p
- NAVARRETE M., SEBILLOTTE M. 1992 - Heterogeneity of a glasshouse tomato crop at the nursery stage. *Soumis à publication (Agronomie)*
- OSTY P.L. 1978 - L'exploitation agricole vue comme un système: Diffusion de l'information et contribution au développement. *Bull. Tech. Inf.*, 326, 43-49
- PENDLETON J.W., SEIF R.D. 1962 - Role of height in corn competition. *Crop Sci.*, 2, 154-156
- PICKEN A.J.F., STEWARD K., KLAPWIJK D. 1986 - Germination and vegetative development. In *The tomato crop. A scientific basis for improvement*. Atherton & Rudich eds., Chapman & Hall, London & New-York, p111-166
- PIGEAIRE A. 1984 - Elaboration des composantes du rendement chez le soja de type indéterminé. *Thèse Doct. Ing. INP, Toulouse*, 163p
- PIGEAIRE A., REPONTY H., DUTHION C. 1985 - Construction de la plante de lupin blanc : relations entre la quantité de matière sèche formée et son mode de répartition. *Agronomie*, 5(10), 939-947
- REDDY V.R., ACOCK B., BAKER D.N., ACOCK M. 1989 - Seasonal leaf area-leaf weight relationships in the cotton canopy. *Agronomy J.*, 81, 1-4
- RICHARD G. 1988 - La germination des semences de betterave sucrière (*Beta vulgaris* L.) en conditions d'hypoxie : Modélisation, contribution à un diagnostic au champ. *Thèse Doct. Ing. INA-PG, Paris*, 102p
- SALMONA M. 1976 - Psychologie du travail de l'éleveur et du maraîcher. *Communication au 1er colloque d'ethnoscience, CNRS, Paris, Novembre 1976*
- SCHAPENDONK A., BROUWER P. 1984 - Fruit growth of cucumber in relation to assimilates supply and sink activity. *Scientia Hortic.*, 23, 21-33
- SHINOZAKI K., KIRA T. 1956 - Intraspecific competition among higher plants. VII. Logistic theory of the C-D effect. *J. Inst. Polytech. Osaka*, 7, 35-72
- SCHOCH P.G., KATERJI N., RIMGOTO P., TCHAMITCHIAN M., MALET P., L'HOTEL J.C., DAUNAY M.C. 1987 - Influence du niveau d'alimentation hydrique sur les variations du diamètre des tiges, du potentiel hydrique, de la résistance stomatique, de la transpiration et de la photosynthèse de l'aubergine. *Agric. Forest meteorol.*, 40, 89-104
- SCOTT R.K., HARPER F., WOOD D.W., JAGGARD K.W. 1974 - Effects of seed size on growth, development, and yield of monogerm sugar beet. *J. agric. Sci. Camb.*, 82, 517-530
- SEBILLOTTE M. 1964 - Action de la structure sur une culture de luzerne. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 50, 762-770
- SEBILLOTTE M. 1978a - Itinéraire technique et évolution de la pensée agronomique. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 11, 906-913

- SEBILLOTTE M. 1978b** - La collecte des références et les progrès de la connaissance agronomique. In *Exigences nouvelles pour l'agriculture. Les systèmes de culture pourront-ils s'adapter?* Boiffin J., Huet P., Sebillotte M., Eds, INAPG, 466-496
- SEBILLOTTE M. 1979** - Analyse du fonctionnement des exploitations agricoles. Trajectoire et typologie. In *Eléments pour une problématique de recherche sur les systèmes agraires et le développement. Assemblée constitutive du département SAD.* INRA, Paris, 20-30
- SEBILLOTTE M. 1980** - An analysis of yield elaboration of wheat. In *Wheat Technical Monograph.* CIBA GEIGY Ltd, Bâle, Suisse, 25-32
- SEBILLOTTE M. 1989** - Fertilité et système de production. Essai de problématique générale. In *Fertilité et systèmes de production*, ed. Sebillotte, INRA, Paris, 13-57
- SEBILLOTTE M. 1990** - Les processus de décision des agriculteurs. Deuxième partie : conséquences pour les démarches d'aide à la décision. In *modélisation systémique et système agraire. Décision et organisation.* Brossier, Vissac & Lemoigne eds., INRA, Paris, 103-117
- SEBILLOTTE M., SOLER L.G. 1988** - Le concept de modèle général et la compréhension du comportement de l'agriculteur. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 74, 59-70
- SEBILLOTTE M., SERVETTAZ L. 1989** - Localisation et conduite de la betterave sucrière. L'analyse des décisions techniques. In *Fertilité et systèmes de production*, Ed. Sebillotte, INRA, Paris, 308-344
- SEBILLOTTE M., SOLER L.G. 1990** - Les processus de décision des agriculteurs. Première partie : acquis et questions vives. In *modélisation systémique et système agraire. Décision et organisation.* Brossier, Vissac & Lemoigne Eds, INRA, Paris, 93-101
- SINOQUET H. 1989** - Modélisation de l'interception des rayonnements solaires dans une culture en rang. 1. Aspects théoriques. *Agronomie*, 9, 125-135
- SINOQUET H., BONHOMME R. 1989** - Modélisation de l'interception des rayonnements solaires dans une culture en rang. 2. Structure géométrique du couvert et validation du modèle. *Agronomie*, 9, 619-628
- SLACK G. 1980** - The effect of leaf removal on fruit yield. *GCRI Ann. Rep.*, 91-92
- SLACK G., CALVERT A. 1977** - The effect of truss removal on the yield of early sown tomatoes; *J. hortic. Sci.*, 52(2), 309-315
- SLACK G., BEZER J.L. 1984** - Deleafing and spacing requirements for tomato production. *GCRI Ann. Rep.* 45
- SPITHOST L.S. 1975** - The relationship between plant quality and yield in glasshouse tomatoes. *Neth. J. agric. Sci.*, 23, 248-258
- TAMET V. 1992** - Etude de la croissance hétérotrophe des plantules de carotte (*Daucus Carota L.*). Conséquences sur l'implantation de la culture. *Thèse Doct. INA-PG*, Paris, 87p + annexes
- TARDIEU F. 1984** - Etude au champ de l'enracinement du maïs. Influence de l'état structural sur la répartition des racines, conséquences sur l'alimentation hydrique. *Thèse Doct. Ing. INA-PG*, Paris, 232p + annexes
- TCHAMITCHIAN M. 1990** - Photosynthèse d'une culture de tomate sous serre : mise au point et validation d'un modèle analytique. *Thèse Doct. Ing. INP*, Toulouse, 97p
- TCHAMITCHIAN M., LONGUENESSE J.J. 1991** - Photosynthèse d'une culture en rangs de tomates sous serre. Modélisation analytique et cartographie de l'activité du feuillage. *Agronomie*, 11, 17-26

- THORNLEY J.H.M., HURD R.G. 1974 - An analysis of the growth of young tomato plants in water culture at different light integrals and CO<sub>2</sub> concentrations. 1. Physiological aspects. *Ann. Bot.*, 38, 375-388
- THORPE M.R., SAUGIER B., AUGER S., BERGER A., METHY M. 1978 - Photosynthesis and transpiration of an isolated tree : model and validation. *Plant, cell and Environment*, 1, 269-277
- TRENBATH B.R. 1974 - Biomass productivity of mixtures. *Adv. Agron.*, 26, 177-210
- TURC O. 1988 - Elaboration du nombre de graines chez le pois protéagineux (*Pisum sativum* L.) : influence du rayonnement intercepté et application au diagnostic cultural. *Thèse Doct. Ing. USTL*, Montpellier, 95p
- VAN DE VOOREN J., WELLES G.W.H., HAYMAN G. 1986 - Glasshouse crop production. In *The tomato crop. A scientific basis for improvement*. Atherton & Rudich eds., Chapman & Hall, London & New-York, p581-624
- VAN DER POST C.J. 1968 - Simultaneous observations on root and top growth. *Acta Hortic.*, 7, 138-143
- VARLET-GRANCHER C., BONHOMME R. 1979 - Application aux couverts végétaux des lois de rayonnement en milieu diffusant. II. Interception de l'énergie solaire par une culture. *Ann. agron.*, 30(1), 1-26
- VELIATH J.A., FERGUSON A.C. 1972: The effect of deblossoming on fruit size, yield and earliness in tomato. *Hortic. Sci.*, 7, 278-9
- VERKERK K. 1966 - Temperature response in early tomato production. *Techn. Comm. Int. Soc. hortic. Sci.*, 4,26-31
- WAREING P.F., KHALIFA M.M., TREHARNE K.J. 1968 - Rate limiting processes in photosynthesis at saturating light intensities. *Nature*, 220, 453-457
- WATSON D.J. 1937 - The estimation of leaf area in field crops. *J. agric. Sci.*, 27, 474-483
- WATSON D.J. 1971 - Size, structure and activity of the productive system of crops. In *Potential crop production*, Wareing P.F., Cooper J.P. Eds., Heinemann, London, p76-88
- WHISLER F.D., ACOCK B., BAKER D.N., FYE R.E., HODGES H.F., LAMBERT J.R., LEMMON H.E., Mc KINION J.M., REDDY V.R. 1986 - Crop simulation models in agronomic systems. *Adv. Agron.* 141-208
- WHITFIELD D.M., CONNOR D.J. 1980 - Architecture of individual plants in field grown tobacco crops. *Aust. J. Plant Physiol.*, 7, 415-433
- WIEBE J. 1969 - Foliage canopy effects in greenhouse tomatoes. *Rep. Hortic. Res. Inst. Ont.*, 108-113
- WOLK J.O., KRETCHMAN D.W., ORTEGA D.G. 1983 - Response of tomato to defoliation. *J. Am. Soc. hortic. Sci.*, 108, 536-40



**ANNEXES**

**Annexe 1 : Cours de la tomate : Evolution au cours du temps et en fonction du calibre des fruits**

**Annexe 2 : Composition de la solution nutritive**

**Annexe 3 : La qualité de la tomate : Critères et mode d'élaboration**

**Annexe 4 : Guide d'enquête**

**Annexe 5 : Les consignes d'ébourgeonnage et de palissage**

**Annexe 6 : Dispositif expérimental de l'essai *Elevage***

**Annexe 7 : le climat de la serre**

a) Caractérisation du climat de la serre

b) Variabilité spatiale du climat dans la serre et conséquences pour l'expérimentation

**Annexe 8 : Dispositifs expérimentaux des essais en serre**

**Annexe 9 : Mesures du diamètre de tige**

**Annexe 10 : Estimation de l'appareil végétatif par des mesures non destructives**

a) Estimation de la surface foliaire par la longueur et la largeur des feuilles

b) Estimation de la surface et de la masse foliaire par le diamètre

**Annexe 11 : Variabilité de la masse surfacique d'une plante à l'autre**

**Annexe 12 : Résultats d'analyses de variance**

**Annexe 13 : Relation entre intensité de la variabilité et rendement**

**Annexe 14 : Analyse critique de la typologie par Analyse Factorielle Discriminante**

**Annexe 15 : Analyse de la variabilité intra-peuplement par voie d'enquête**

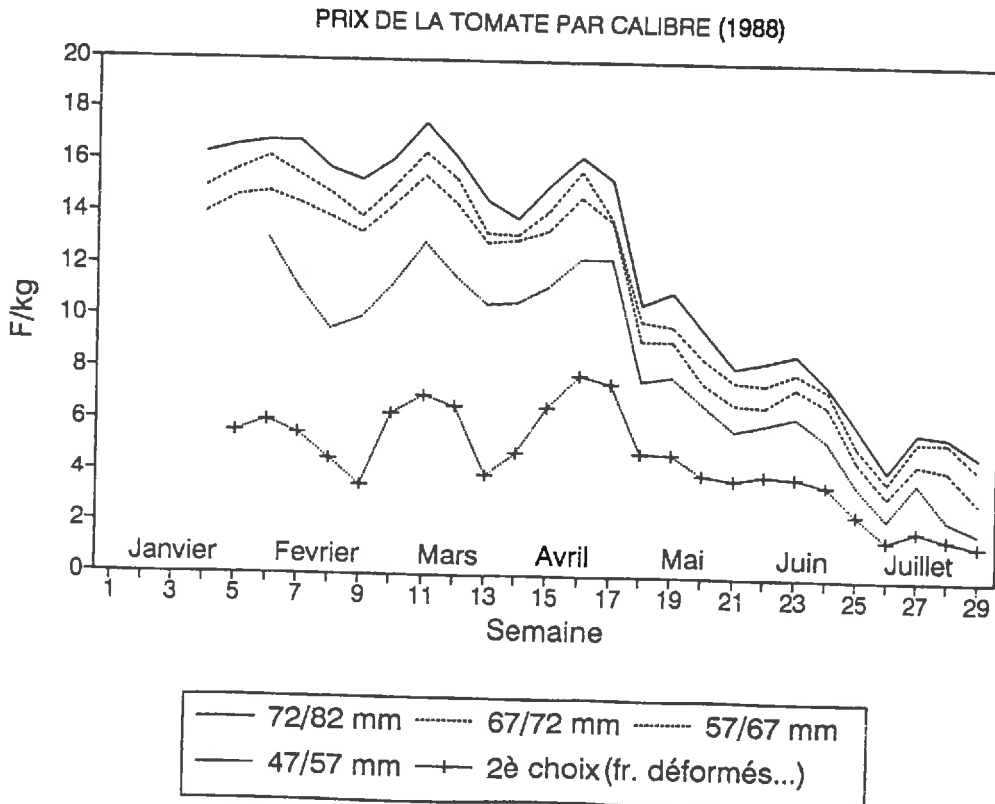
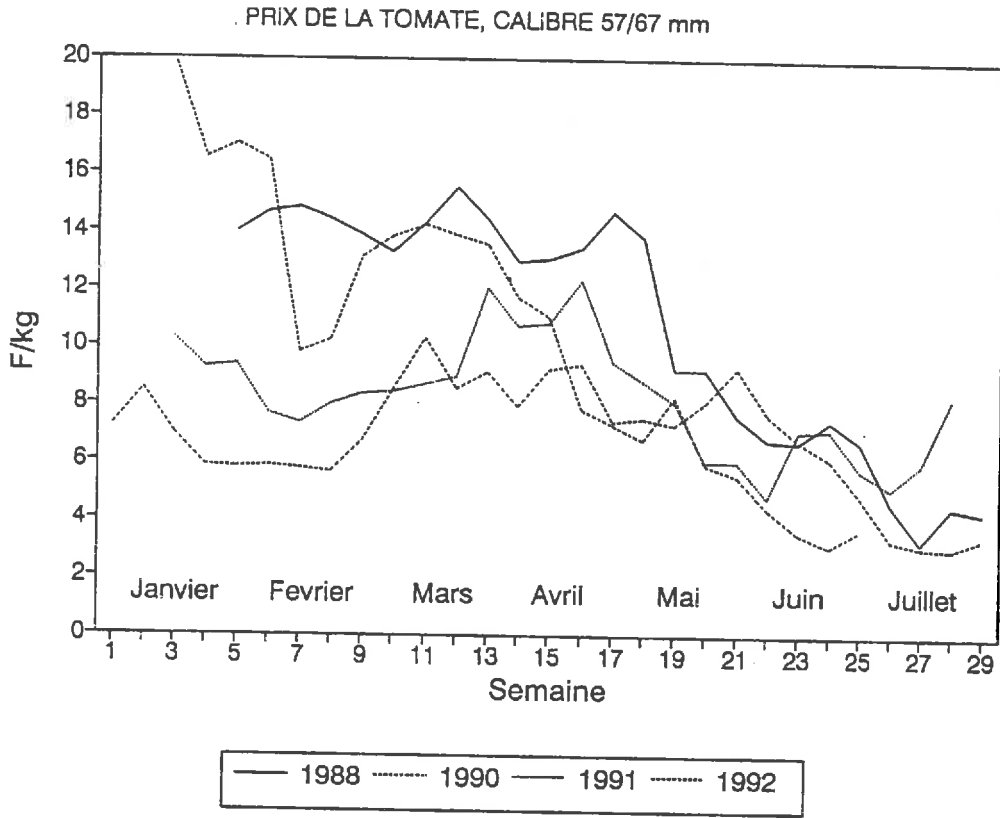
**Annexe 16 : Caractérisation du traitement Effeillage :**

orientation des feuilles supprimées sur les plantes No par rapport à la plante Ro

**Annexe 17 : Caractérisation du traitement Distance**

ANNEXE 1 : DONNEES ECONOMIQUES

a) Evolution du cours de la tomate dans la saison et en fonction du calibre



**b) Coûts de production**

Exemple :

Culture de tomate sous serre, semis le 10/10

Rendement : 18 kg/m<sup>2</sup>

Charges d'approvisionnements dont frais de chauffage	338 541 F	33.9% 16.2%
Frais de personnel	257 849 F	25.9%
Autres charges	152 613 F	15.3
Amortissements (serre...)	248 230 F	24.9%
<b>Total</b>	<b>997 233 F</b>	

Sources : Chambre d'Agriculture des Pyrénées-Orientales

**ANNEXE 2 : COMPOSITION DE LA SOLUTION NUTRITIVE**

Composition de la solution nutritive pour une variété indéterminée, en fonction du stade de la culture :

Stade de la culture	N (mg/l)	EQUILIBRE					Ec (mS)
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	
Elevage - Feuille 2	220-200	1	0,6	1,3	1,3	0,35	2,6-2,4
Feuille 2 - Feuille 6	190-170	1	0,6	1,6	1,2	0,25	2,2-2,0
Feuille 6 - Récolte B2	160-140	1	0,6	2,0	1,0	0,2	1,9-1,7
Récolte B2 - Fin culture	150-100	1	0,6	1,8	1,2	0,25	1,8-1,4

Sources : Jeannequin (1987)

**Gestion de l'irrigation :**

Sur la station d'Alénia, la quantité d'eau et la fréquence des apports sont gérées par un micro-ordinateur (AGRO 2000 ELECTROSUD), en fonction de l'heure de la journée et de l'ensoleillement.

**Contrôles de la ferti-irrigation :**

Contrôle de la conductivité et du pH de la solution drainante quotidiennement.  
Contrôle de la solution d'irrigation une fois par semaine.

## ANNEXE 3 : LA QUALITE DE LA TOMATE : CRITERES ET MODE D'ELABORATION

## a) Normes de qualité (CTIFL, 1990)

cat. Extra	cat. I	cat. II
<b>FORME</b>		
On distingue trois types de tomates :		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rondes,</li> <li>• Plates,</li> <li>• Allongées.</li> </ul>		
<b>CHAIR</b>		
Ferme.	Suffisamment ferme.	Assez ferme.
<b>DÉFAUTS</b>		
Exempt de tout défaut, les "dos verts" sont exclus.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De légères meurtrissures sont admises.</li> <li>Son exclus : les crevasses fraîches et les "dos verts" apparents.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Des crevasses cicatrisées de 3 cm de long sont admises.</li> <li>Sont exclus les crevasses fraîches.</li> </ul>
<b>TOLÉRANCE DE QUALITÉ</b>		
5%	10%	10%
<b>CALIBRE</b>		
Calibre minimum :		
Tomate ronde et plate :		
35 mm	35 mm	35 mm
Tomate allongée :		
30 mm	30 mm	30 mm
<b>HOMOGÉNÉITÉ DE CALIBRE</b>		
Echelle de calibrage		
30 mm à 35 mm exclus uniquement pour les tomates allongées.		
35 mm à 40 mm exclus.		
40 mm à 47 mm exclus.		
47 mm à 57 mm exclus.		
57 mm à 67 mm exclus.		
67 mm à 82 mm exclus.		
82 mm à 102 mm exclus.		
102 mm et plus.		
Le respect de l'échelle est obligatoire pour la cat. Extra et I.		
<b>TOLÉRANCE DE CALIBRAGE</b>		
10%	10%	10%
Toutefois, pour les tomates classées dans le plus petit calibre ainsi que pour les tomates non calibrées de la cat. II, cette tolérance ne peut porter que sur des produits dont le calibre n'est pas inférieur à 28 mm pour les tomates "allongées" et 33 mm pour les tomates "rondes" ou "plates".		

## b) Les principaux déterminants

Critères de qualité Facteurs climatiques	S	Aspect					Goût		T
	Date de disponibilité	Calibre	Fermeté	Forme	Craquelures	Couleur	Acidité	% Sucres	% MS
Rayonnement	x			x				x	x
Température	x		x			x			
Teneur CO2		x							
Humidité air					x				
Irrigation		x							x
Elément min.				x		x	x		
Conductivité		x					x	x	
Date début réc.	x		x			x	x	x	x

S = Service ; T = Technologique

(D'après Atherton & Rudich, 1986 et Zuang, 1984)

## ANNEXE 4 : GUIDE D'ENQUETE

L'enquête étant très ouverte, ce guide rassemble de façon synthétique les principaux points abordés.

### A - LE FONCTIONNEMENT D'ENSEMBLE DE L'EXPLOITATION

#### 1) Caractérisation du système de production

- Description de la SAU : plein champ et différents types d'abris  
Surfaces, caractéristiques des abris (mode de chauffage, d'irrigation...)
- Description des productions et de leur mode de conduite (objectifs, cycle cultural, débouchés, rendement)

#### 2) Statut de l'exploitation ; situation familiale ; objectifs ; historique et évolution recherchée

#### 3) L'environnement socio-économique de l'exploitation mode de commercialisation des produits...

#### 4) La main d'oeuvre

- Nombre, qualité (famille, salariés permanents, temporaires), formation, expérience, années de présence sur l'exploitation
- Répartition sur les différentes activités de l'exploitation
- Mode de rémunération ; primes (% salaire)

### B - LA CULTURE DE TOMATE SOUS SERRE

#### 1) Définition d'unités conduites de façon homogène

Variétés déterminée et indéterminée ; groupes de précocité

#### 2) Caractérisation de la production

- Objectifs (rendement, qualité, précocité)
- Type de commercialisation (directe, expéditeur, coopérative)
- Mode de commercialisation (vrac, calibré...)

#### 3) Caractérisation du matériel (Serre, hors-sol)

- Matériel de chauffage, de ferti-irrigation
- Ordinateurs de contrôle

#### 4) Partage des décisions entre l'exploitant et d'autres décideurs (chef de culture, chef d'équipe)

#### 5) Organisation du travail dans la serre

- Répartition des ouvriers dans la serre : quelles tâches, quels lieux : 1 ouvrier affecté à 1 tâche ou à 1 compartiment de serre ; plusieurs ouvriers affectés à plusieurs compartiments
- Travail opération par opération, compartiment de serre par compartiment
- Distinction entre main d'oeuvre familiale, salariés permanents et temporaires

#### 6) Relations entre le chef d'exploitation/de culture (serriste) et les ouvriers

- Niveau de décision ; niveau d'action
- Transferts d'informations des ouvriers au serriste (observations de l'état de la culture, de maladies...)
- Discussion sur le choix d'une consigne, sur son application

#### 7) L'itinéraire technique

- Nature des consignes (techniques automatisées et manuelles)
- Qui les fixe ?
- Surface concernée par une même consigne ; Adaptation en fonction de l'observation des plantes. Par qui ? chef de culture, tous les ouvriers ou certains

**C - ETUDE DE LA VARIABILITE DU PEUPEMENT****1) Critères d'hétérogénéité**

La vigueur des plantes : définition, mode d'évaluation

**2) Intensité ; période d'apparition ; évolution au cours du cycle ; fréquence/reproductibilité d'une année sur l'autre ; répartition dans la serre****3) Conséquence sur le choix des techniques**

Relation entre vigueur et choix d'une consigne

**4) Conséquences sur la conduite des plantes**

Part de l'exploitant, du chef de culture, de l'ouvrier dans la réalisation de l'opération

Prise en compte ou non de l'hétérogénéité : quelles techniques ; quelle marge de manoeuvre ; quelle échelle d'action (compartiment, zones dans le compartiment, plante)

**5) Prise en compte du temps**

période d'observation de l'hétérogénéité, d'action par rapport au cycle cultural, à la saison...

**D - ETUDE DE QUELQUES TECHNIQUES CULTURALES**

Objectifs, fréquences, critères de choix, mode de conduite (par serre, compartiment, plante), résultats, risques

**ANNEXE 5 : LES CONSIGNES D'ÉBOURGEONNAGE ET DE PALISSAGE**

Technique	Consignes
<b>Ebourgeonnage</b>	{supprimer les bourgeons dès leur apparition} {supprimer les bourgeons tous les ... jours} {supprimer les bourgeons et appliquer un antiseptique sur les grosses cassures}
<b>Palissage</b>	{palisser en enroulant la ficelle autour de la tige} {palisser avec des clips} {choix de la méthode laissé à l'appréciation de l'ouvrier}



ANNEXE 6 : DISPOSITIF EXPERIMENTAL DE L'ESSAI *Elevage*

## a) Calendrier

Semis : 30 mars 1990  
 Levée : 2 au 7 avril (j<sub>2</sub> à j<sub>7</sub>)  
 Repiquage : 11 avril (j<sub>11</sub>)  
 Fin de l'essai : 2 mai (j<sub>33</sub>)

## b) Caractéristiques de la culture

## \* Période en couche chauffante

240 graines ; Densité: 1000 graines/m<sup>2</sup>  
 Consignes climatiques : hygrométrie: de 50 à 100% ; Température : 25°C

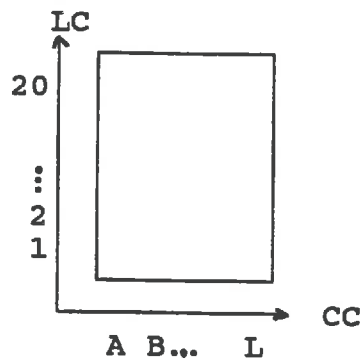
## \* Période en pépinière

160 plants ; Densité: 20 plants/m<sup>2</sup>  
 Consignes climatiques : 24°C les 3 premiers jours ; 20°C les jours suivants

c) Solution fertilisante : Ec = 2 ; pH = 5,5 - 6,5

## d) Plan du dispositif

## Couche chauffante

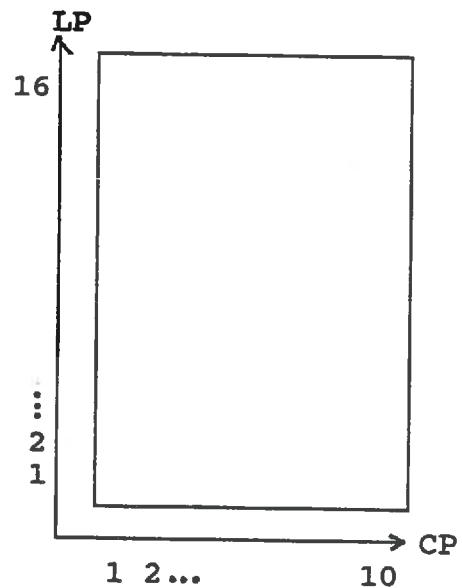


Faîtage de la serre :  $\updownarrow$

Orientation :



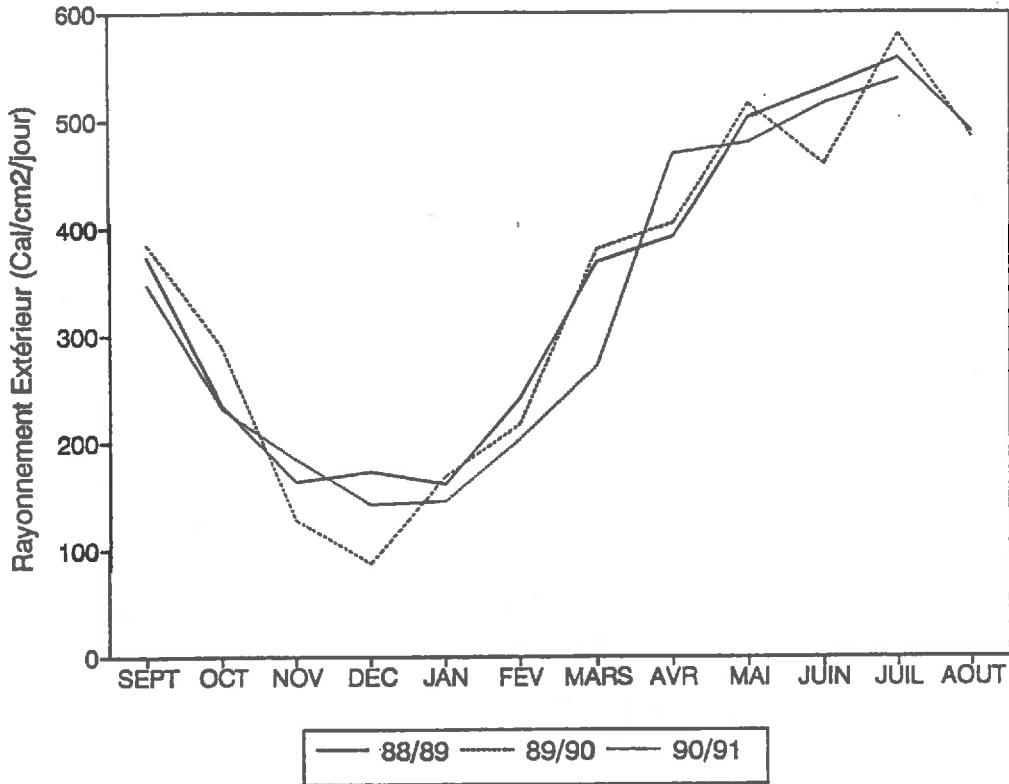
## Pépinière



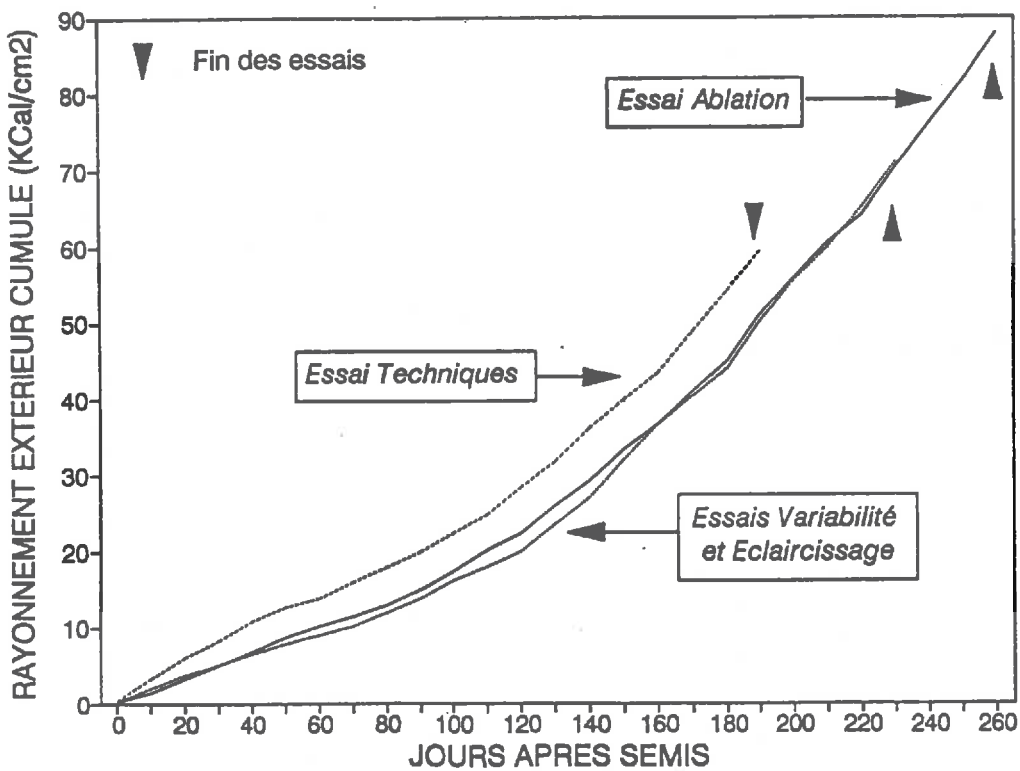
LC et CC : Numéros de Ligne et de Colonne en Couche chauffante  
 LP et CP : Numéros de Ligne et de Colonne en Pépinière

ANNEXE 7A : CARACTERISATION DU CLIMAT DE LA SERRE

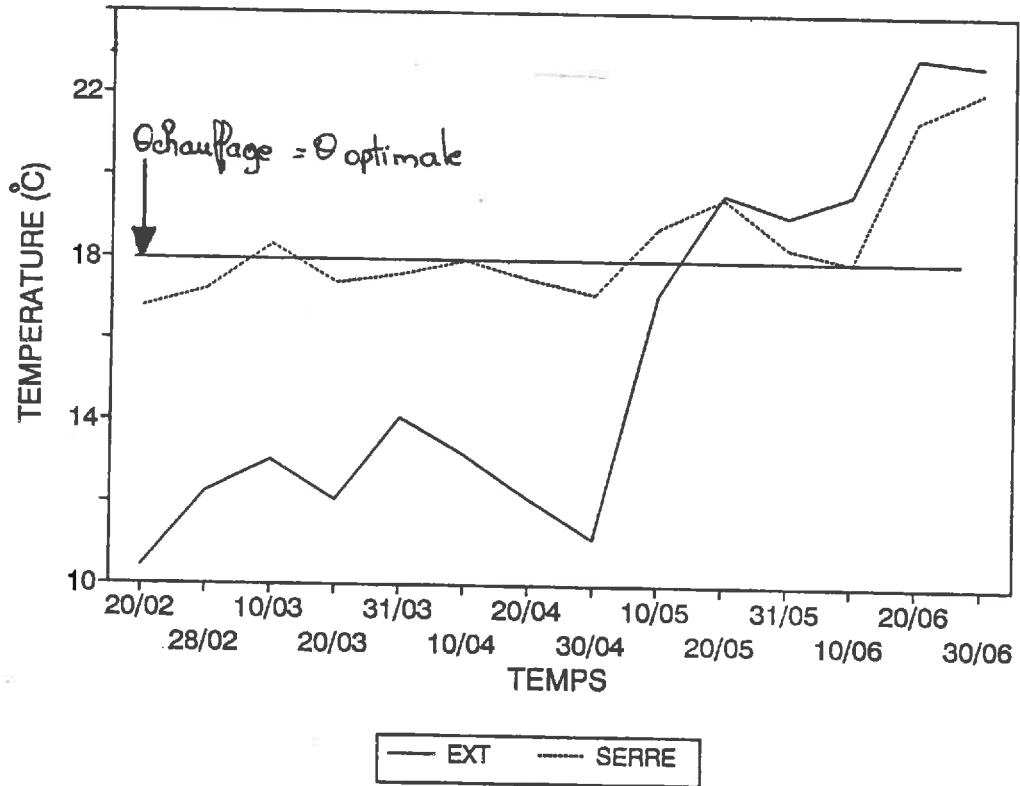
1) Evolution du rayonnement extérieur au cours du cycle



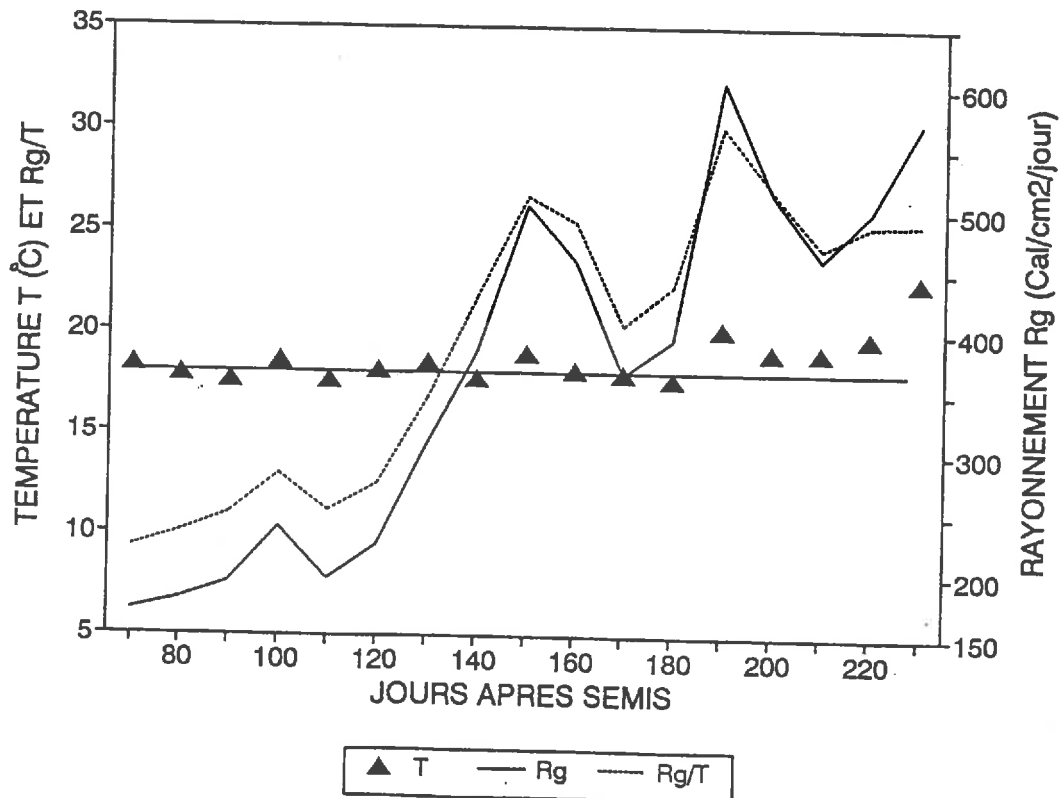
2) Variabilité du rayonnement extérieur entre les différents essais



## 3) Relation entre température extérieure et dans la serre

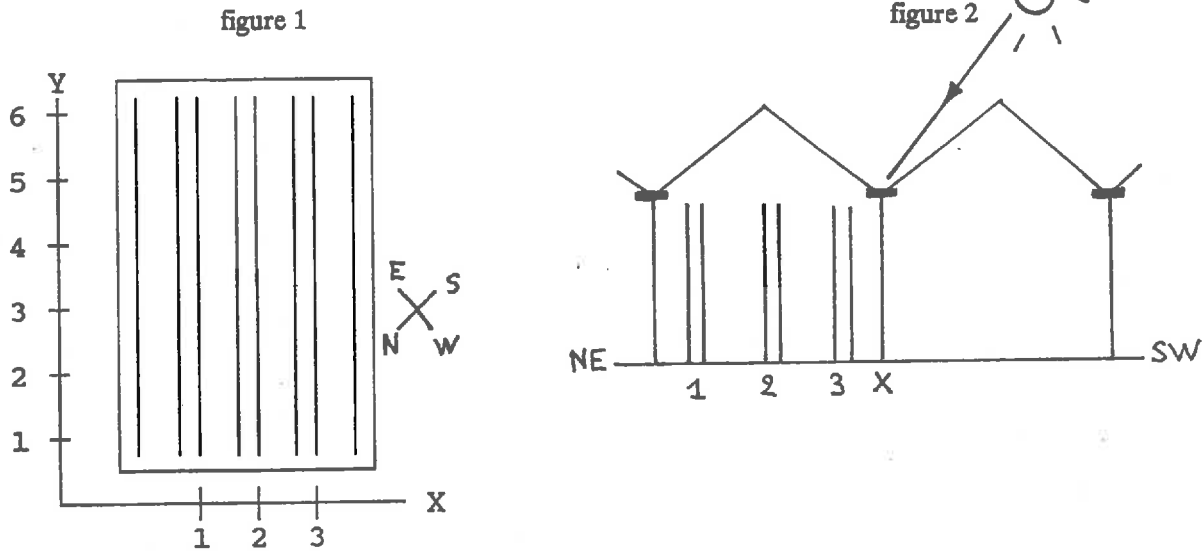


## 4) Relation entre température dans la serre et rayonnement



## ANNEXE 7B : VARIABILITE SPATIALE DU CLIMAT DANS LA SERRE ET CONSEQUENCES POUR L'EXPERIMENTATION

La variabilité du climat dans la serre est étudiée suivant deux axes X et Y, respectivement perpendiculaire et parallèle à l'axe de la serre (figure 1).



Les chiffres indiquent le repérage de la position des parcelles dans les analyses de variance.

#### a) Variabilité suivant l'axe X :

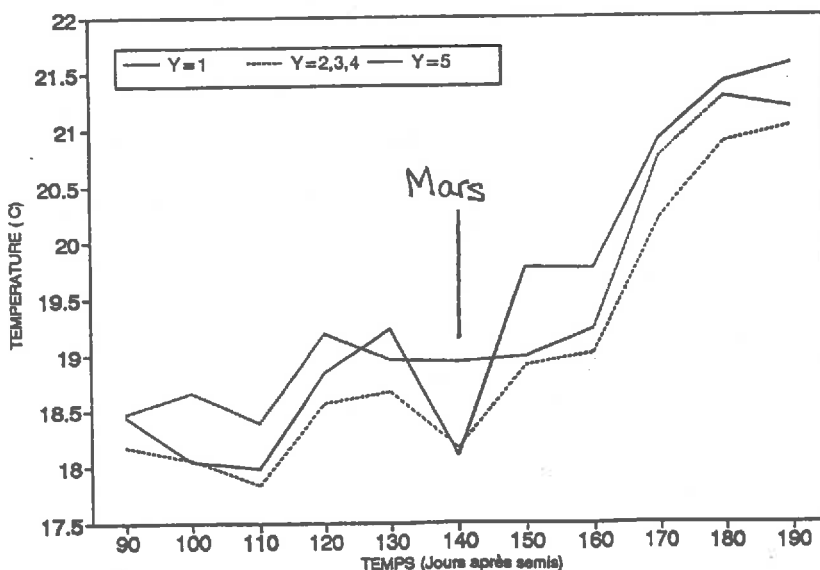
Selon les chercheurs de la station, il existe une variabilité de rayonnement suivant l'axe X, qui n'a pu être chiffrée. Elle provient de l'ombre portée du chéneau sur le double-rang X=3 en fin de journée (figure 2). Il semble que les 2 autres doubles-rangs reçoivent sensiblement le même rayonnement. Ces faits sont corroborés par les mesures de rendement, les parcelles X=3 ayant toujours un rendement inférieur aux deux autres.

L'ombre portée de la charpente entraîne probablement une variabilité de température, mais qui reste limitée sur la température moyenne au cours du cycle cultural (Cf tableau).

#### b) Variabilité suivant l'axe Y :

Elle provient surtout de la température et elle évolue en cours de saison (figure 3). En hiver, c'est la position des collecteurs de chauffage, en fond de serre (Y=5), qui est à l'origine de différences de température. Au printemps, lorsque la serre est moins chauffée du fait de l'augmentation de la température extérieure, c'est l'entrée de la serre (Y=1) qui est la plus chaude, l'allée centrale servant d'isolant.

figure 3



Position		T* (°C)
X	1	19.3
	2	19.2
	3	19.2
Y	1	19.5
	2	19.2
	3	18.9
	4	19.0
	5	19.5

\* Température moyenne journalière sur l'ensemble du cycle cultural

ANNEXE 8 : DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX DES ESSAIS EN SERRE

a) Calendriers culturaux

Essai	dens. pl/m <sup>2</sup>	Semis	Plantation		Début	Récolte	
			No	Ro		Fin	Fin
<i>Variabilité Eclaircissage</i>	2.2	14/11/90	10/01 j57	28/01 j75	18/03 j124	10/07 j238	
<i>Ablation</i>	2.2	02/11/88	22/12 j50	09/01 j68	23/02 j112	26/07 j125	
<i>Techniques</i>	1.9	14/11/89	15/01 j62	29/01 j76	19/03 j125	30/05 j197	

b) Dispositifs expérimentaux

Essai *Variabilité* :

	Peuplements	Techniques
<b>Types de plantes</b>	N-, No, N+, Ro Durée entre la plantation de No et Ro : 18 jours	
<b>Traitements</b>	T1N+ T1No T1N- T1Ro T2 (N+ / N-) T3 (No / Ro)	- - - - -
<b>Parcelle élémentaire Plantes de bordure</b>	8 plantes sur 2 rangées 2 + 2 plantes, même schéma que la parcelle	
<b>Dispositif</b>	2 carrés latins juxtaposés (3 répétitions)	

Essai *Ablation* :

	Peuplements	Techniques
<b>Types de plantes</b>	No, Ro Durée entre la plantation de No et Ro : 18 jours	
<b>Traitements</b>	T1No T1Ro	T1No/ABL: T1No avec ablation des bouquets 4 et 17 T1Ro/ABL: T1Ro avec ablation des bouquets 4 et 17
<b>Parcelle élémentaire Plantes de bordure</b>	12 plantes sur 2 rangées	
<b>Dispositif</b>	Blocs Complets (3 répétitions)	

## Essai Techniques :

	Peuplements	Techniques
Types de plantes	No, Ro Durée entre la plantation de No et Ro : 14 jours	
Traitements	T1Ro T3 (No / Ro)	ABL : Ablation du quatrième bouquet sur la plante Ro EFF1 : Suppression partielle de 2 feuilles sur les plantes No EFF2 : Suppression partielle de 4 feuilles sur les plantes No DIST : augmentation de la distance entre la plante Ro et ses voisines
Parcelle élémentaire Plantes de bordure	3 plantes sur 1 rangée (rangée opposée: No) 2 + 2 plantes No	
Dispositif	Blocs Incomplets (5 répétitions)	

## Essai Eclaircissage :

	Peuplements	Techniques
Types de plantes	No, Ro Durée entre la plantation de No et Ro : 18 jours	
Traitements	T3 (No / Ro) (éclaircissage à 5 fleurs)	ECL: 1 consigne d'éclaircissage/type (No: 6 fleurs; Ro: 4 fleurs) EXP: éclaircissage par un expert
Parcelle élémentaire Plantes de bordure	8 plantes sur 2 rangées 2 + 2 plantes, même schéma que la parcelle	
Dispositif	Blocs Complets (4 répétitions)	

Remarque : A l'exception de l'essai *Variabilité*, les plantes sont abusivement notées No et Ro. En effet, sur tous les essais, un tri a été réalisé au moment de disposer les plantes dans la serre pour éliminer quelques plantes aberrantes, mais ces tris reposaient seulement sur une appréciation visuelle. Ce n'est que pour l'essai *Variabilité* que la population a été triée objectivement (longueur de la feuille 3) et que l'on peut rigoureusement parler de type No. Cependant, nous avons conservé cette notation pour ne pas multiplier le nombre de symboles.

Mesures destructives sur quelques plantes, pour les essais *Variabilité* et *Techniques*

**Longueur des feuilles :** Longueur totale, pétiole compris ; largeur maximale de la feuille

**Surface foliaire :** Mesures au planimètre vidéo des photocopies de feuilles

**Poids sec :** Pesée après passage à l'étuve 48 h à 105 °C

**Diamètre de la tige :** 1 cm au dessus de la troisième feuille du sympode, perpendiculairement au pétiole

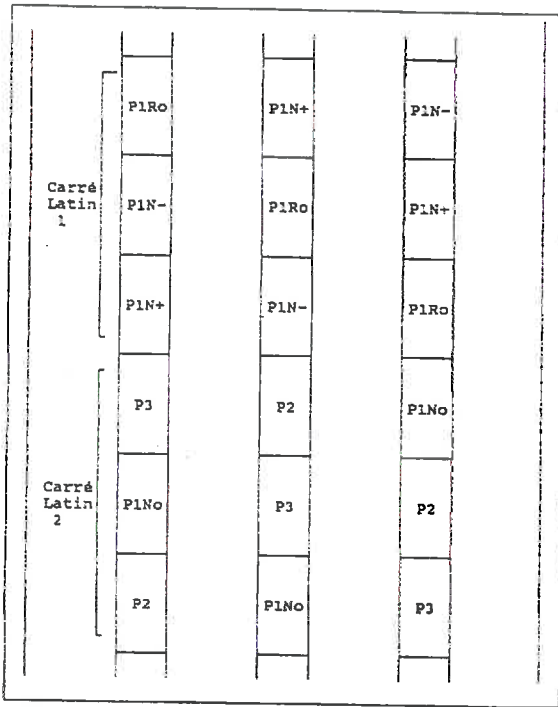
(Cf annexe 9)

**Masse des racines :**

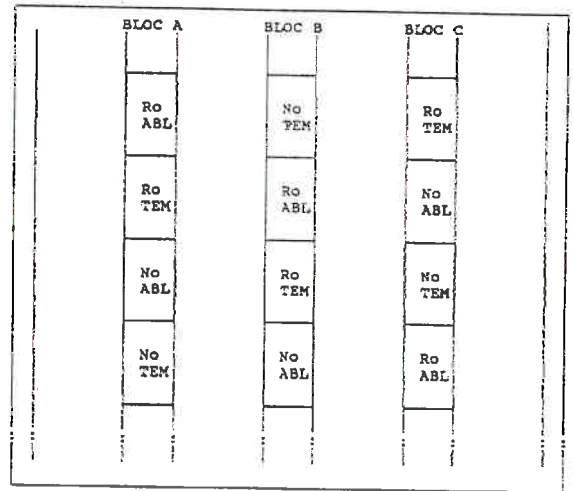
- Récupération du maximum de racines dans le substrat (pouzzolane) par lavage
- Récupération des racines contenues dans le cube par dissolution de la laine de roche (acide phosphorique, pH = 2.3-2.5)

c) Disposition des traitements dans les serres

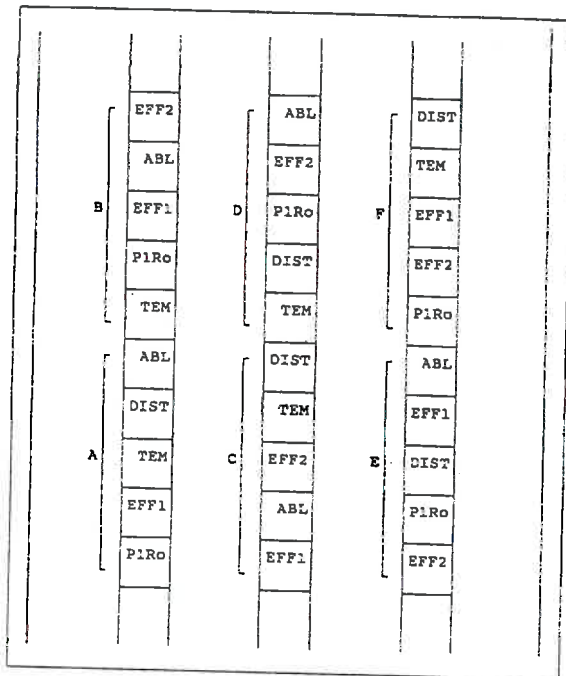
Essai Variabilité



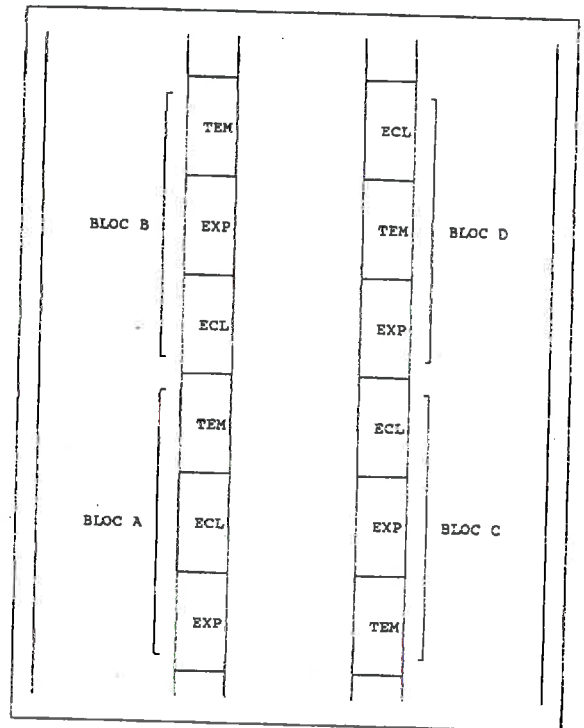
Essai Ablation



Essai Techniques

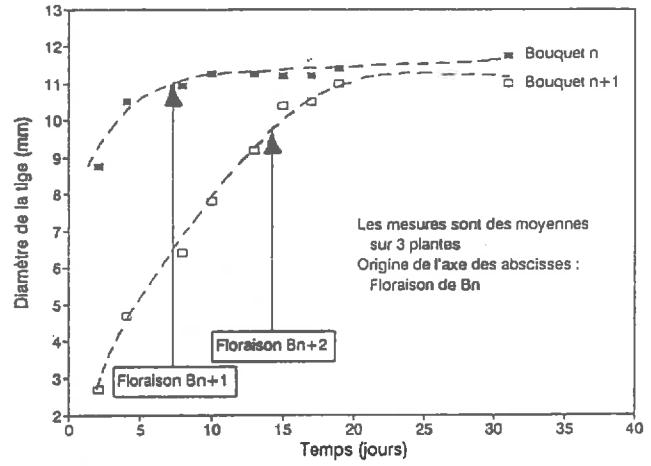
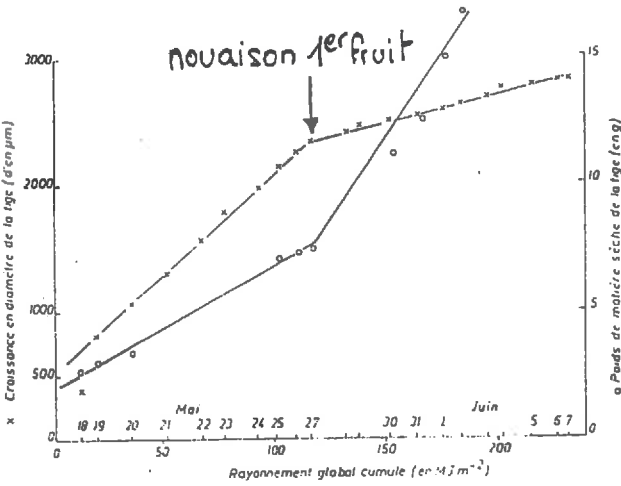


Essai Eclaircissage



ANNEXE 9 : MESURES DU DIAMETRE DE TIGE

a) Courbe de croissance du diamètre en fonction du temps

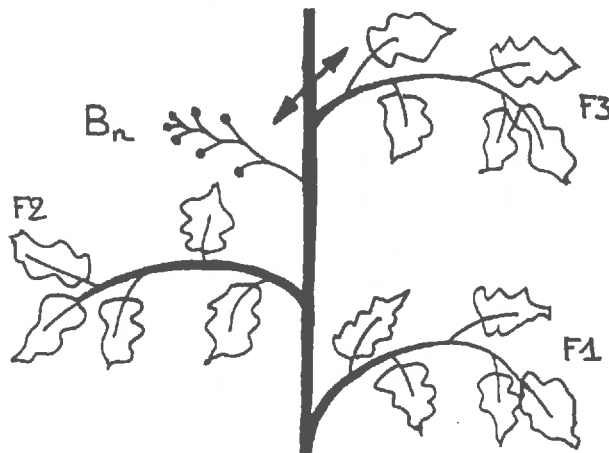


Données : Schoch et al. (1990)

Essai Variabilité, bouquets 12 et 13

b) Protocole de mesure du diamètre de la tige

Les mesures sont réalisées sur chaque sympode à 1 cm au dessus de la troisième feuille, perpendiculairement à l'axe du pétiole, après arrêt de croissance en diamètre





**ANNEXE 10 : ESTIMATION DE L'APPAREIL VEGETATIF PAR DES MESURES NON DESTRUCTIVES**

**a) Estimation de la surface foliaire par la longueur et la largeur des feuilles**

Données : *EchT/1*

16 plantes; 17 feuilles par plante (feuilles 4 à 20) ; N = 272

Analyse de covariance à 2 facteurs et 1 covariable ;

Facteur TYPE (T) : No ; Ro

Facteur NUMERO DE FEUILLE (NF) : 4 à 20

Covariable LONGUEUR\*LARGEUR (X)

Résultats :

Source de Variation	proba (%)	S	SC%
X	0.00	***	78.2
T.X	0.02	***	0.9
NF.X	0.00	***	7.6
T	20.48		0.0
NF	0.92	**	1.8

Variance expliquée par le modèle  $R^2 = 89\%$

Equations de régression (X et SF exprimés en  $cm^2$ )

Feuille	Plantes No	Plantes Ro
4	107 + 0.24 * X	54 + 0.29 * X
5	208 + 0.19 * X	154 + 0.24 * X
6	272 + 0.22 * X	218 + 0.27 * X
7	247 + 0.33 * X	193 + 0.38 * X
8	726 + 0.03 * X	672 + 0.08 * X
9	358 + 0.30 * X	305 + 0.35 * X
10	468 + 0.22 * X	414 + 0.27 * X
11	375 + 0.33 * X	321 + 0.38 * X
12	357 + 0.40 * X	303 + 0.45 * X
13	485 + 0.23 * X	431 + 0.28 * X
14	202 + 0.48 * X	148 + 0.53 * X
15	93 + 0.59 * X	40 + 0.64 * X
16	307 + 0.33 * X	254 + 0.38 * X
17	11 + 0.57 * X	-43 + 0.62 * X
18	-12 + 0.55 * X	-66 + 0.60 * X
19	107 + 0.41 * X	53 + 0.46 * X
20	100 + 0.44 * X	46 + 0.49 * X

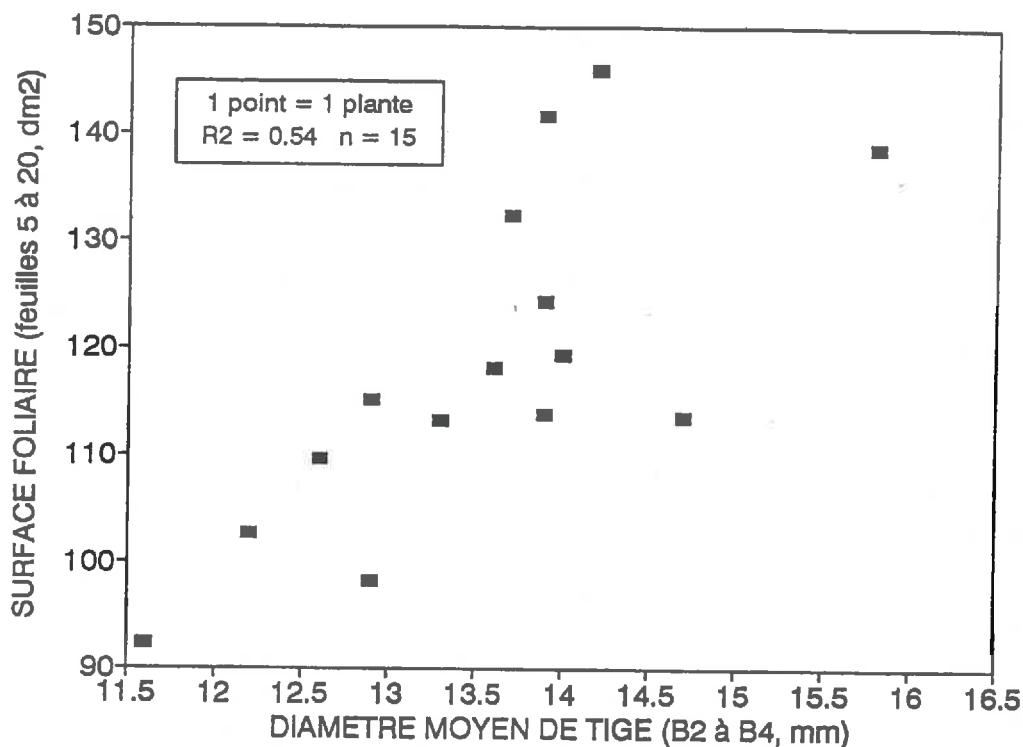
Les facteurs pris en compte dans l'analyse de covariance permettent d'expliquer 89% de la variabilité initiale. La position de la feuille sur la plante joue sur l'ordonnée à l'origine et la pente et explique 9.4% de la variabilité. Par contre, le traitement date de plantation ne joue que sur la pente.

Pour estimer la surface foliaire par plante, il est donc souhaitable de mesurer la longueur et la largeur de toutes les feuilles.

### b) Estimation de la surface et de la masse foliaire par le diamètre

Exemple : Relation entre surface foliaire par plante et diamètre de la tige

Données : EchT/1



### ANNEXE 11 : VARIABILITE DE LA MASSE SURFACIQUE D'UNE PLANTE A L'AUTRE

Données : Communication personnelle N. Bertin, 1991

Tomate sous serre, février 1991

10 plantes \* 10 étages

La corrélation entre la masse et la surface foliaires est élevée pour tous les étages :  $R^2$  varie de 0.81 à 0.98 ; la variabilité de masse surfacique d'une plante à l'autre à l'intérieur d'une même parcelle est donc très faible.

Etage	Droite de régression	$R^2$
1	$MSF = 0,30 + 3,2 \cdot 10^{-3} \cdot SF$	0.96
2	$MSF = -0,83 + 3,9 \cdot 10^{-3} \cdot SF$	0.95
3	$MSF = -0,20 + 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot SF$	0.98
4	$MSF = 0,88 + 2,9 \cdot 10^{-3} \cdot SF$	0.53*
5	$MSF = -0,16 + 3,2 \cdot 10^{-3} \cdot SF$	0.89
6	$MSF = 0,34 + 2,6 \cdot 10^{-3} \cdot SF$	0.81
7	$MSF = -0,28 + 3,1 \cdot 10^{-3} \cdot SF$	0.95
8	$MSF = 0,25 + 2,8 \cdot 10^{-3} \cdot SF$	0.94
9	$MSF = 0,03 + 3,3 \cdot 10^{-3} \cdot SF$	0.94
10	$MSF = 0,08 + 3,4 \cdot 10^{-3} \cdot SF$	0.93

\* Ce coefficient de corrélation très faible semble être dû à une erreur expérimentale

MSF exprimé en grammes, SF en  $cm^2$

## ANNEXE 12 : RESULTATS D'ANALYSES DE VARIANCE

a) Comparaison des traitements T1N+ et T1N- de l'essai *Variabilité*

Méthode : Analyse de variance dans le carré latin 2

Facteur étudié :

Traitement T= 1..3 (T1N+ ; T1N- ; T1Ro)

Variable	Probabilité des facteurs			Proba contraste T1N+ /T1N-
	X	Y	T	
<b>Nb bouquets fleuris à</b>				
j <sub>75</sub> (fin Janvier)	42.61	14.60	3.25 **	1.39 **
J <sub>111</sub> (fin Février)	60.43	15.70	8.85 *	4.67 **
J <sub>135</sub> (fin Mars)	31.65	10.94	4.23 **	3.61 **
J <sub>168</sub> (fin Avril)	38.69	15.29	19.75	15.44
J <sub>193</sub> (fin Mai)	98.20	53.27	21.94	47.49
<b>Diamètre de tige Dn</b> Moyenne B2 à B10	1.90 **	1.74 **	0.39 ***	0.34 ****
<b>Nb fruits récoltés NFR(t)</b>				
j <sub>140</sub> (fin Mars)	17.10	15.73	12.42	6.33 *
J <sub>170</sub> (fin Avril)	11.93	27.99	17.48	30.47
J <sub>202</sub> (fin Mai)	3.93 **	27.96	25.04	18.89
J <sub>230</sub> (fin Juin)	2.67 **	12.40	14.67	8.24 *
J <sub>237</sub> (fin cult.)	1.07 **	9.53 *	8.05 *	8.34 *
<b>Rendement RDT(t)</b>				
j <sub>140</sub> (fin Mars)	12.59	17.48	8.54 *	4.78 **
J <sub>170</sub> (fin Avril)	16.34	76.42	26.56	36.13
J <sub>202</sub> (fin Mai)	6.51 *	5.98 *	14.09	8.24 *
J <sub>230</sub> (fin Juin)	14.87	12.59	12.59	6.32 *
J <sub>237</sub> (fin cult.)	23.71	19.70	17.12	9.05 *

b) Comparaison des peuplements T1, T2 et T3 de l'essai *Variabilité*

Méthode : Analyse de variance ; dispositif en carré latin

Facteur étudié :

Type de plantes T=1..3 : T1 ; T2 ; T3

## \* Résultat des analyses de variance

Variable	Probabilités			Moyennes		
	T	X	Y	T1	T2	T3
<b>Diamètre de tige Dn (mm)</b> Moyenne B2 à B10	12.93	4.48	6.99	14.4	14.2	14.1
<b>Masse d'1 feuille MS1F (g)</b> Moyenne E1 à E7	75.42	85.69	66.30	3.17	3.11	3.08
<b>Nb fruits NFR(t)</b>						
j <sub>140</sub> (fin mars)	66.09	3.94	9.06	2.3	2.3	2.2
j <sub>170</sub> (fin avril)	83.00	40.57	90.76	16.6	16.3	15.8
j <sub>202</sub> (fin mai)	54.06	25.27	86.50	38.0	37.0	35.9
j <sub>237</sub> (fin cult.)	34.62	12.23	63.69	59.4	58.1	55.7
<b>Rendement RDT(t) (kg)</b>						
j <sub>140</sub> (fin mars)	79.93	2.19	9.58	0.48	0.46	0.48
j <sub>170</sub> (fin avril)	87.41	36.98	91.66	3.08	2.96	2.97
j <sub>202</sub> (fin mai)	60.42	30.27	78.40	6.90	6.65	6.61
j <sub>237</sub> (fin cult.)	93.79	37.22	82.26	10.42	10.52	10.29

Les Coefficients de Variation résiduels sont compris entre 1 et 10%

\* Analyse de variance détaillée du rendement total (j<sub>237</sub>)Hypothèse de normalité des résidus

Indices de normalité (coefficients de Pearson)

Symétrie (valeur théorique = 0) :  $b_1 = 0.20$  proba = 53.73Aplatissement (valeur théorique = 3) :  $b_2 = 1.50$  proba = 28.39Hypothèse d'égalité des variances résiduelles

Ecart-type intra-traitement (T)

Test  $X^2$ 

proba = 99.00

Ecart-type intra-ligne (X)

Test  $X^2$ 

proba = 99.00

Ecart-type intra-colonne (Y)

Test  $X^2$ 

proba = 99.00

Hypothèse d'indépendance des résidus

La cartographie des résidus montre qu'ils sont répartis aléatoirement dans l'espace.

Puissance de l'essai

Ecart		Risque de première espèce		
		5%	10%	20%
en %	V. absolue	Puissance a priori		
5.00%	0.52	8%	14%	27%
10.00%	1.04	16%	27%	43%
		Puissance a posteriori		
Moyennes observées		5%	11%	21%

## ANNEXE 13 : RELATION ENTRE INTENSITE DE LA VARIABILITE ET RENDEMENT

Données : Essai conduit en 1992 à la station d'Alénya, en cours de traitement.

Objectif : Former des parcelles présentant différents degrés d'hétérogénéité, pour tester l'hypothèse que l'effet de la variabilité sur le rendement est en interaction avec le degré d'hétérogénéité.

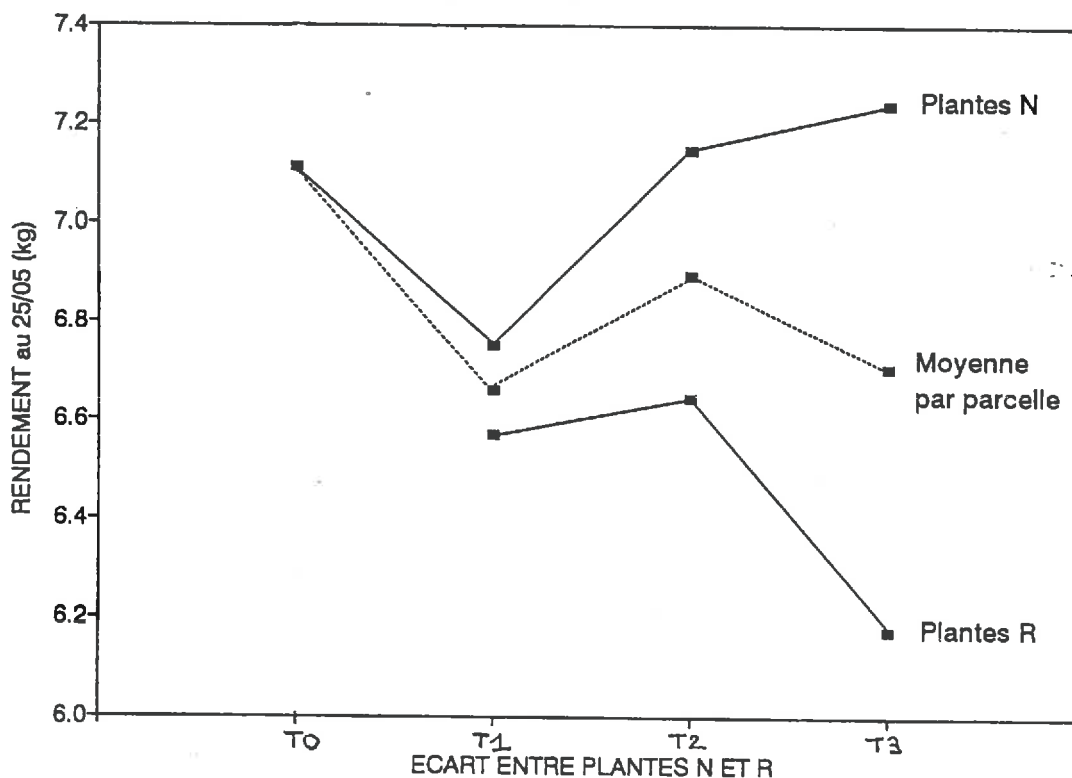
Protocole : Les peuplements sont formés, comme dans les essais de la thèse, de l'alternance 1/1 de plantes N (plantées à la date Normale) et R (dont la plantation est Retardée). Les différents degrés d'hétérogénéité sont obtenus en faisant varier la date de plantation des plantes R, donc la durée de plantation entre N et R au sein d'une parcelle

4 traitements :

- T0 = peuplement Homogène ; plantes N
- T1 = peuplement Hétérogène ; plantes N et R1
- T2 = peuplement Hétérogène ; plantes N et R2
- T3 = peuplement Hétérogène ; plantes N et R3

Stades de plantation :

- Plantes N : Floraison de B1
- Plantes R1 : Floraison de B2
- Plantes R2 : Floraison de B3
- Plantes R3 : Floraison de B4



Résultats : A l'exception du traitement T1, plus la plantation des plantes R est retardée (de R1 à R3), plus elles ont une production faible. Les plantes N initialement identiques sur les 4 traitements se comportent différemment : plus les plantes R sont faibles, plus les plantes voisines N sont vigoureuses et ont une production élevée. De ce fait, les parcelles Hétérogènes (T1, T2 et T3) ont un rendement inférieur au peuplement Homogène.

## ANNEXE 14 : ANALYSE CRITIQUE DE LA TYPOLOGIE PAR ANALYSE FACTORIELLE DISCRIMINANTE

Méthode : AFD à 4 groupes : N-, No, N+ et Ro, dans l'essai *Variabilité*

## Variables étudiés :

- FL3 = Date de floraison du bouquet 3  
 FL10 = Date de floraison du bouquet 10  
 MSF = Masse de feuilles totale  
 NN3 = Nombre de Fruits noués sur les bouquets 1 à 3  
 NN10 = Nombre de Fruits noués sur les bouquets 1 à 10  
 NFR1 = Nombre de Fruits récoltés fin mars  
 NFR2 = Nombre de Fruits récoltés fin avril  
 NFR3 = Nombre de Fruits récoltés en fin de culture  
 RDT1 = Rendement fin mai  
 RDT2 = Rendement en fin de culture

## Résultats :

Variables	FL3	FL10	MSF	NN3	NN10	NFR1	NFR2	NFR3	RDT1	RDT2
Proba (%) de la variance résiduelle	0.00	0.08	45.53	4.55	0.16	3.87	0.21	1.07	3.32	0.44
(Corrélation) <sup>2</sup> Axe 1	0.99	0.29	0.01	0.37	0.04	0.95	0.59	0.21	0.31	0.10
(Corrélation) <sup>2</sup> Axe 2	0.01	0.65	0.98	0.18	0.95	0.01	0.38	0.74	0.61	0.90

Axe 1 : caractérisé par des variables de précocité (de floraison : FL3 et de récolte : NFR fin mars et fin avril); distingue les types T2N+ et T2N-.

Axe 2 : caractérisé par des variables mesurées en fin de culture ; distingue les types T3No et T3Ro.

## Tableau d'appartenance des individus :

En ligne : groupe d'appartenance initial ; en colonne : groupe d'affectation  
 Intersection ligne\*colonne : Nombre d'individus

Groupes	N-	N+	No	Ro
N-	9	0	2	1
N+	0	8	2	2
No	2	4	25	5
Ro	0	0	2	10

## Pourcentage d'individus bien classés :

Total	N+	N-	No	Ro
72%	66%	75%	69%	83%

### ANNEXE 15 : ANALYSE DE LA VARIABILITE INTRA-PEUPELEMENT PAR VOIE D'ENQUETE

**Objectif :** Etudier avec une démarche d'enquête la variabilité intra-peuplement dans l'essai *Ablation*, car c'est celui qui est le plus proche de la pratique des maraîchers : distribution continue d'états végétatifs (le tri n'a pas été plus sévère que chez les maraîchers), répartition aléatoire des individus dans la serre.

**Méthode :** L'analyse a lieu sur le dernier mois de récolte (du 23/06 au 26/07), pour 2 raisons :

- à cette date, il n'y a plus d'effet de la date de plantation, ce qui augmente le nombre de plantes disponibles, donc le nombre de degrés de liberté,
- il existe une grande variabilité dans le peuplement, à la fois d'état végétatif et de distance entre plantes (du fait des plantes cassées, arrachées...).

L'analyse de la production sur le dernier mois de récolte seulement permet de gommer les différences de vitesse de développement, qui résultent du passé de la plante. En effet, elles expliquent une part importante de la variabilité de rendement et constitueraient un biais.

#### Resultats :

On cherche par une analyse de covariance à expliquer la variabilité du nombre de fruits récoltés (NFR) et du rendement (RDT). Plusieurs variables explicatives sont donc choisies :

- la production potentielle de l'individu est le rendement produit dans des conditions de milieu optimales, et en particulier en l'absence de compétition entre plantes. En l'absence de cette donnée, nous estimons que c'est le diamètre de la tige (D), estimateur de l'indice foliaire, qui est l'indicateur le plus proche, même s'il est aussi le résultat de la compétition antérieure des plantes voisines. C'est donc un potentiel qui a un statut particulier, puisqu'il ne concerne que la production ultérieure à sa fixation. Parmi les valeurs testées, c'est la moyenne entre B5 et B15 qui a été choisie, car elle est la plus explicative.

- le degré de compétition des plantes voisines est évalué par deux critères : le diamètre moyen des deux plantes voisines ( $D_v$ ) et la longueur moyenne entre ces deux plantes et la plante étudiée ( $L_v$ ). Le rapport  $V = D_v/L_v$  maximise les différences de compétition : les plantes voisines sont d'autant plus compétitives qu'elles sont simultanément plus proches de la plante étudiée et plus "vigoureuses". Le rapport  $V$  est plus explicatif que le modèle additif  $D_v + L_v$ , ce qui justifie notre choix.

Le milieu est caractérisé par la position de la plante dans le dispositif, le long des axes X et Y. Le facteur rang (RG) indique la position de la plante dans la double rangée.

Pour augmenter le nombre d'individus, nous utilisons simultanément les parcelles TEM et ABL (Cf troisième partie), ce qui nous a amené à introduire le facteur Ablation (ABL).

#### Facteurs et variables étudiés :

Position de la plante : X, Y et RG

X=1..3 : rangées A, B et C

Y=1..24 : position de la plante dans l'axe Y

RG=1..2 : Rangs Gauche (exposé N-E) et Droit (S-E)

Conduite ABL=1..2 : TEM ; ABL

Diamètre D : moyenne des valeurs entre les bouquets B5 et B15

Compétition des voisins  $V = D_v/L_v$

$D_v$  = diamètre moyen des plantes voisines

$L_v$  = distance moyenne avec les deux plantes voisines

Facteurs et variables :							
	NFR	X	Y	RG	ABL	D	V
<b>Modèle 1 : NFR = X + Y + RG + ABL + D + V</b>							
p		*		***	***		**
SC%		5.3	19.3	9.3	12.0	0.6	7.2
NFR = 26.79 + 0.271*D - 256.8*V					R <sup>2</sup> = 0.54		
<b>Modèle 2 : RDT = NFR + X + Y + RG + ABL + D + V</b>							
p	***		*				
SC%	68.0	1.1	4.2	0.0	0.8	0.0	0.9
RDT = 1.266 + 0.121*NFR + 0.010*D - 14.69*V					R <sup>2</sup> = 0.75		
<b>Modèle 3 : D = X + Y + RG + ABL + V</b>							
p				*			
SC%		0.3	24.2	5.5	0.8	1.0	
					R <sup>2</sup> = 0.32		

On explique 54% de la variabilité du nombre de fruits (modèle 1). Comme il s'agit du nombre de fruits récoltés sur 1 mois, les différences de vitesse de développement (donc de récolte) accumulées antérieurement sont supprimées. Le nombre de fruits reflète donc principalement le taux de nouaison.

Après introduction du nombre de fruits dans l'analyse du rendement, R<sup>2</sup> passe à 75% (modèle 2). Dans ce modèle, tous les facteurs et variables sont ajustées au nombre de fruits, ce qui permet d'étudier la variabilité du rendement indépendamment du nombre de fruit récoltés.

Les effets du milieu X et RG sont significatifs sur NFR mais pas sur RDT. Au contraire, l'effet Y n'est significatif que sur RDT. Compte tenu de la signification des variables NFR et RDT, les facteurs X et RG, qui indiquent principalement la variabilité spatiale de rayonnement, jouent plutôt sur le taux de nouaison, tandis que Y, assimilable à une variation de température, joue sur le poids moyen des fruits.

Le diamètre de la tige D ne semble jouer ni sur le nombre de fruits, ni sur le rendement. Mais l'élimination des facteurs du milieu (X, Y et RG) rend ce facteur très significatif (une augmentation de diamètre entraîne une augmentation de NFR). L'explication pourrait être que le diamètre est déterminé par le climat, et que l'introduction des facteurs du milieu X, Y et RG prend en charge une partie de la variabilité de diamètre, ce qui est d'ailleurs confirmé par le modèle 3. Cependant, seulement 32% de la variabilité du diamètre est expliquée par le milieu et la compétition entre plantes, d'autres facteurs interviennent donc probablement (corrélations entre diamètre et charge en fruits de la plante...).

La covariable V est significative sur le nombre de fruits et presque significative (p=11%) sur le rendement : une augmentation de V, donc du degré de compétition des plantes voisines, entraîne une diminution du nombre de fruits et du rendement.

#### Discussion :

L'effet de la compétition est similaire dans certains travaux antérieurs. Kemp et al. (1983) montrent que le rendement d'un peuplement de blé est optimal lorsque l'arrangement des plantes est le plus régulier (distance entre rangs égale à la distance sur le rang). C'est cette disposition qui répartit le mieux les ressources entre les différentes plantes. De même, Fleury (1971) montre sur Betterave sucrière que, non



seulement le rendement d'une plante est fonction de la distance moyenne disponible, mais aussi qu'une disposition régulière des plantes est plus favorable qu'une disposition irrégulière. Ces résultats confirment donc le poids de la technique de palissage sur l'élaboration du rendement de chaque individu, parce qu'il modifie les distances entre plantes sur le rang. D'autre part, Fleury montre l'intérêt de prendre en considération également le poids des plantes voisines pour estimer le degré de compétition ; cet indicateur joue un rôle similaire au diamètre de tige dans nos travaux.

Le coefficient de détermination n'est pas très élevé, en particulier pour NFR. Ceci pourrait s'expliquer parce que certains facteurs sont peu ou pas pris en compte :

- l'estimation de la "vigueur" par le diamètre de la tige pose des problèmes de définition du potentiel, puisqu'on définit ainsi un potentiel de croissance pour le futur, mais qui provient du passé de la plante, donc non seulement son potentiel (sens strict), mais aussi de son environnement (le milieu, et plus particulièrement celui créé par les plantes voisines). De plus, on a vu que le diamètre est un indicateur de la masse foliaire, et probablement de la surface, mais le coefficient de détermination  $R^2$  n'est pas très élevé ; l'utilisation conjointe de plusieurs variables serait donc nécessaire pour estimer un potentiel. Enfin, rappelons que la mesure du diamètre présente une imprécision assez forte, à cause de la forme irrégulière de la tige.

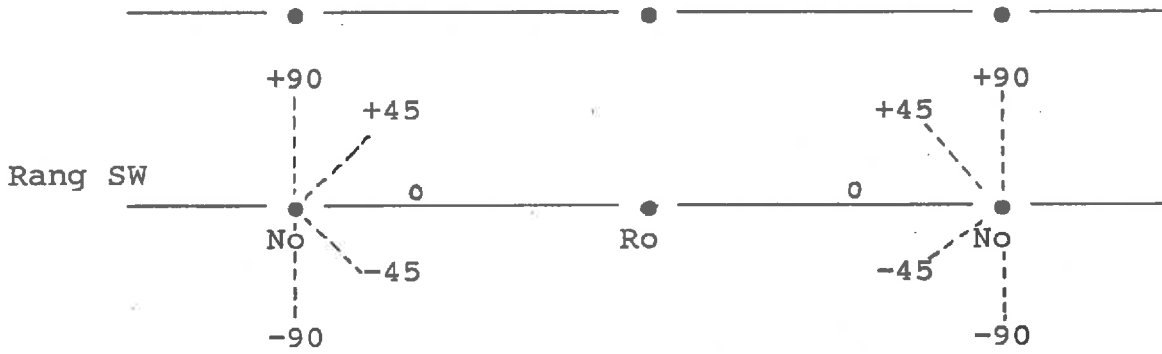
- la caractérisation du milieu par X, Y et RG prend en charge la variabilité spatiale du climat (température et rayonnement), mais pas l'alimentation hydrique et nutritionnelle, qui fluctue probablement d'une plante à l'autre (débit des goutteurs), ni les interactions éventuelles entre tous ces facteurs,

- seule la compétition des plantes voisines sur le rang est prise en compte. Or, l'hétérogénéité des distances sur le rang voisin de la double rangée intervient probablement (en particulier, la disparition de plantes sur un rang augmente fortement l'énergie incidente sur le rang voisin, à certaines heures de la journée).

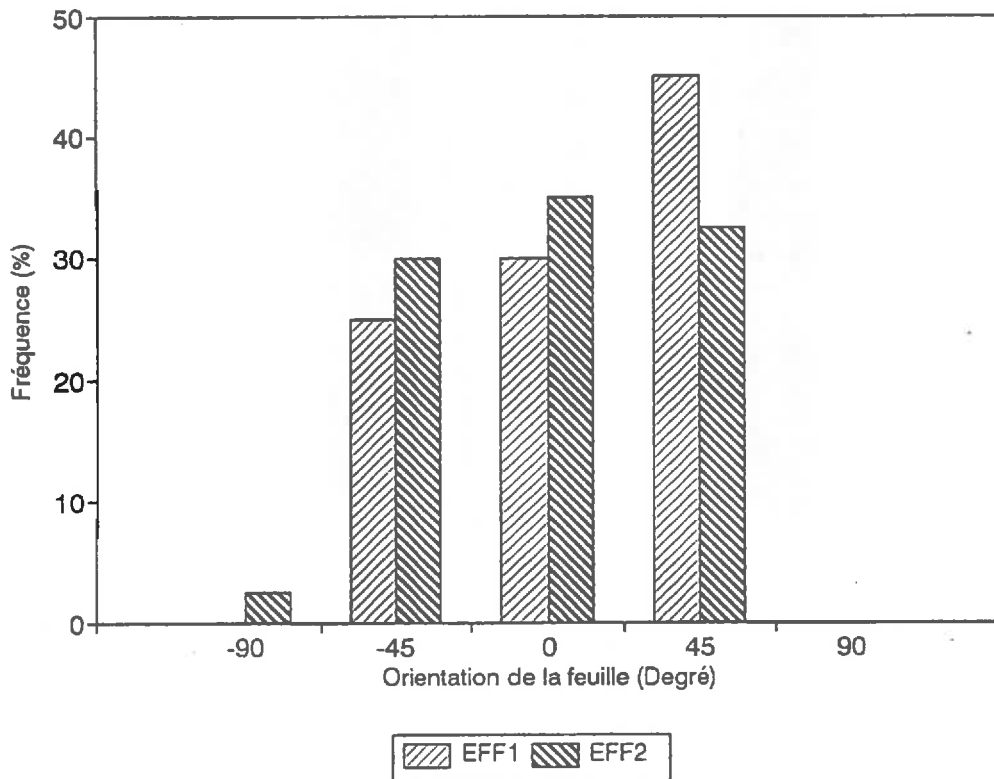
ANNEXE 16 : CARACTERISATION DU TRAITEMENT EFFEILLAGE :  
 ORIENTATION DES FEUILLES SUPPRIMEES SUR LES PLANTES N0 PAR RAPPORT A LA PLANTE R0

Mesures : On mesure grossièrement l'orientation des feuilles dans un plan horizontal par rapport à l'axe de la culture, le rang, (précision : à 45° près).

Rang NE (bordures)



Variabilité de l'orientation entre parcelles : Histogramme des angles mesurés pour chaque feuille supprimée, sur les traitements EFF1 et EFF2.



## ANNEXE 17 : CARACTERISATION DU TRAITEMENT DISTANCE

Estimation du volume disponible pour chaque plante**Hypothèses :**

Le volume de lumière disponible pour chaque plante est calculé de la façon suivante :

- distance entre rangs : d
- hauteur de la végétation : h
- distance entre plantes sur le rang : l = 60 cm ; l' = 90 cm.

Les limites du volume sont les médianes entre deux plantes consécutives (Cf figure).

Soient V(No), V(Ro) et V(B) les volumes occupés par les plantes No, Ro et les plantes de bordure.

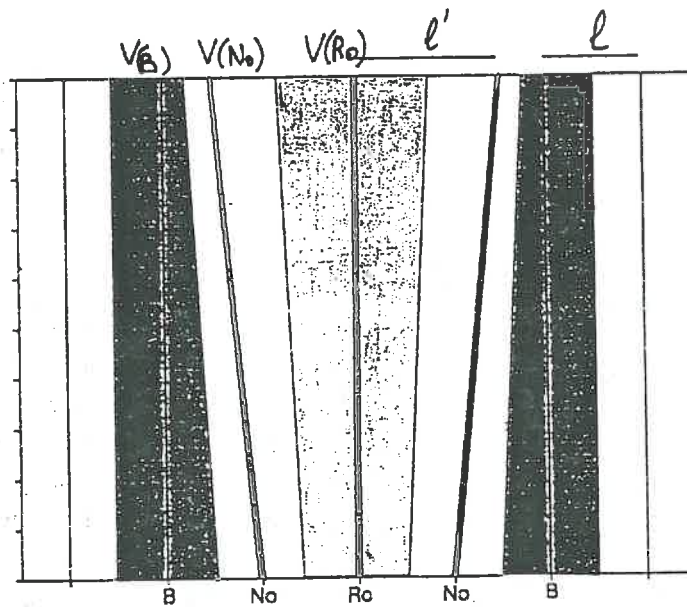
Volume avant déplacement :  $V(\text{No}) = V(\text{Ro}) = V(\text{B}) = l \cdot d \cdot h = 60 \cdot d \cdot h$

Volume après déplacement :

$$V(\text{Ro}) = (l+l')/2 \cdot d \cdot h = 75 \cdot d \cdot h$$

$$V(\text{No}) = l \cdot d \cdot h = 60 \cdot d \cdot h$$

$$V(\text{B}) = (5l-l')/4 \cdot d \cdot h = 53 \cdot d \cdot h$$



Mireille NAVARRETE

*Inter-plant variability of a greenhouse tomato crop and consequences on crop management. Experimental analysis and study of growers' practices.*

Université Paris XI, centre d'Orsay

## ABSTRACT

This study shows the interest in taking into account, among the factors affecting yield and quality of a greenhouse tomato crop, not only the sophisticated management of the greenhouse climate (heating and fertilization control by computers...), but also manual techniques which require various know-hows.

In glasshouse cultivation, where labour force is abundant and organised into a hierarchy, putting manual techniques into practice (truss pruning, deleafing, training...) results from global orders given by the grower at the greenhouse scale, and their implementation on plants by the workers. For this latter step, adaptation of the global order at each plant is sometimes required, because of inter-plant variability. The diversity of cultural practices between farms, workers and plants is explained by economic factors (grower objectives), social factors (characteristics of the labour force, training, experience) and technical factors (work organization in the farm). We show state indicators on the plant (vigor, fruit load, truss aspect...) that are used in diagnosis, both at the greenhouse and plant levels.

After characterising inter-plant variability and its effects on production, we test some manual techniques adapted plant by plant, which improve growth conditions of the weak plants at the expense of the vigorous plants, in order to reduce the crop variability. Within the range of studied cases, variability has no effect on yield per area ; neither has the adaptation of techniques plant by plant, which obviously reduce variability : thanks to better growth conditions, weak plants are allowed to produce more (vegetative and reproductive parts), which has a negative effect on the production of the vigorous ones, because of inter-plant competition. However, regulating the number of fruits and leaves on plants and altering plant distance enables to improve quality (mean fruit weight, grades distribution), which are important criteria for the growers, because they partly determine the turnover, as well as yield per area.

Key-words : - Greenhouse tomato crop - inter-plant variability - inter-plant competition - cultivation techniques and practices - plant vigor

22 MARS 1994

Mireille NAVARRETE

*Variabilité au sein d'un peuplement de tomate sous serre et répercussions sur la conduite technique. Analyse expérimentale et étude des pratiques culturales des maraîchers.*

Université Paris XI, centre d'Orsay

## RESUME

Cette étude montre l'intérêt de prendre en compte dans l'élaboration de la production de tomate sous serre, en plus de la gestion très sophistiquée du milieu (chauffage et fertilisation contrôlés par ordinateur...), les interventions manuelles qui font appel à des savoir-faire très variables. Elle s'est déroulée par enquêtes en exploitations maraîchères et par expérimentation.

Dans les exploitations maraîchères, où la main d'oeuvre est abondante et hiérarchisée, la réalisation des techniques manuelles sur les plantes (opérations de taille des fleurs, fruits et feuilles, palissage...) est le résultat d'une consigne de travail, définie à l'échelle de la serre par le maraîcher, et de son application sur les plantes par les ouvriers. Du fait de la variabilité intra-peuplement, il est souvent nécessaire d'adapter la consigne à l'état de chaque plante, que les maraîchers appellent "vigueur". La conduite plante à plante n'est cependant pas observée sur toutes les exploitations. La diversité des pratiques entre exploitations s'explique par des déterminants d'ordre économique (objectifs de production), social (caractéristiques de la main d'oeuvre, formation, expérience) et technique (organisation du travail). Nous identifions des indicateurs d'état des plantes, éléments de diagnostic utilisés pour le choix d'une consigne par le maraîcher (vigueur, charge en fruits) et pour l'adaptation de la consigne par les ouvriers (vigueur, mais surtout allure du bouquet).

Après avoir caractérisé la variabilité intra-peuplement et ses effets sur la production, nous testons sur des peuplements hétérogènes quelques techniques manuelles adaptées plante par plante, l'objectif étant de placer les plantes "faibles" dans des conditions de croissance plus favorables que les plantes "vigoureuses", afin de réduire la variabilité intra-peuplement. En réduisant le nombre de fruits ou en augmentant le rayonnement incident sur les plantes "faibles" (effeuillage des plantes "vigoureuses", action sur la distance entre plantes), il est possible d'améliorer certains critères de qualité (homogénéisation des calibres, disparition des fruits plus petits que le seuil de commercialisation). Il s'agit d'importants critères de qualité, car le prix de vente est fonction du calibre. Dans la gamme étudiée, la variabilité intra-peuplement n'a pas d'effet sur la production par unité de surface. L'adaptation des techniques plante par plante, qui réduit effectivement la variabilité intra-peuplement, est également sans effet sur le rendement : les plantes "faibles" placées dans des conditions de croissance plus favorables ont un rendement supérieur grâce à une croissance végétative plus forte. Mais à cause de la forte compétition intra-peuplement, cela entraîne une chute de production des plantes initialement "vigoureuses". La conduite plante à plante pourrait donc, en améliorant la qualité sans effet négatif sur le rendement, augmenter le chiffre d'affaire.

Mots-Clés : Culture de tomate sous serre - Variabilité intra-peuplement - compétition entre plantes - techniques et pratiques culturales - vigueur