



**HAL**  
open science

# Diagnosis on the variability of the management of a crop and their agronomic consequences in an agriculture strongly subjected to uncertainties: case of open-field tomato in Mayotte

Joel Huat

## ► To cite this version:

Joel Huat. Diagnosis on the variability of the management of a crop and their agronomic consequences in an agriculture strongly subjected to uncertainties: case of open-field tomato in Mayotte. Sciences of the Universe [physics]. AgroParisTech, 2008. English. NNT: 2008AGPT0015 . pastel-00004410

**HAL Id: pastel-00004410**

**<https://hal.science/pastel-00004410>**

Submitted on 3 Dec 2008

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

N° / \_ / \_ / \_ / \_ / \_ / \_ / \_ / \_ / \_ /

## **THESE**

présentée pour obtenir le grade de

### **Docteur**

de

**l'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement  
(Agro Paris Tech)**

Spécialité : Agronomie

par

**Joël HUAT**

Diagnostic sur la variabilité des modes de conduite d'une culture et de leurs conséquences agronomiques dans une agriculture fortement soumise aux incertitudes : cas de la tomate de plein champ à Mayotte.

Travail réalisé au CIRAD, UR Horticulture, BP 1304, 97600 Mamoudzou

Soutenue le 26 février 2008 devant la commission d'examen composée de :

Thierry DORE	Professeur à Agro Paris Tech	Président
Christian GARY	Directeur de recherches INRA	Rapporteur
Robert HABIB	Directeur de recherches INRA / CIRAD	Rapporteur
Christine AUBRY	Ingénieure de recherches INRA (HDR)	Examinatrice
Isabelle MICHEL	Maître de conférences à Sup Agro	Examinatrice
Jean Chrysostôme RAKOTONDRAVELO	Maître de conférences à l'ESSA d'Antananarivo	Examineur

## REMERCIEMENTS

Cette thèse a été réalisée dans le cadre de mes travaux de recherche menés au Cirad, sur l'île de Mayotte, et financée pour partie par la convention tripartite Cirad/Etat/Collectivité Départementale de Mayotte et pour partie par l'unité de recherche Horticulture du Cirad. J'exprime toute ma reconnaissance à ces institutions pour m'avoir permis de réaliser ce travail de recherche.

Sans l'aide de nombreuses personnes, que ce soit à travers un appui scientifique ou un soutien moral, cette thèse n'aurait jamais abouti. Je tiens à leur témoigner très sincèrement ma considération. Si j'ai oublié de citer certaines personnes de cette liste non exhaustive, qu'elles veuillent bien m'en excuser, ma profonde gratitude leur est acquise.

Mes remerciements s'adressent en premier lieu à Christine Aubry et à Thierry Doré, qui m'ont encadré pendant ce long parcours de doctorant. Je retiendrai leur grand intérêt pour mon travail de recherche, leur écoute, leur disponibilité sans faille et leur rigueur scientifique qui m'ont beaucoup apporté sur le plan professionnel. Ils ont toujours eu les mots qu'il fallait pour doper le doctorant dans les moments difficiles. Leurs critiques et conseils avisés m'ont beaucoup aidé à finaliser la rédaction de ce manuscrit. Je leur dis très sincèrement : merci !

J'exprime aussi ma reconnaissance à André Fleury, professeur à l'ENSP, d'avoir accepté d'être directeur de ma thèse. Nos discussions sur ce travail ont toujours été d'une grande utilité.

Ma gratitude va aux ex-directeurs de département du Cirad Flhor, Jean-Pierre Gaillard puis Hubert de Bon, et à mes chefs d'UR successifs qui m'ont encouragé et soutenu dans la réalisation de cette thèse : Rémi Kahane, Christian Langlais puis Philippe Vernier. Merci aussi à mon collègue Bertrand Muller qui m'a fait profiter de son expérience en bioclimatologie, et à Gilbert Vallée, ancien délégué du Cirad à Mayotte, pour son soutien moral et l'intérêt qu'il a marqué pour ce travail de recherche.

Je remercie Christian Gary et Robert Habib d'avoir accepté d'être les rapporteurs de cette thèse, ainsi que Jean Chrysostome Rakotondravelo, professeur à l'université des sciences agronomiques d'Antananarivo (Madagascar), et Isabelle Michel, maître de conférence à SupAgro, d'avoir bien voulu faire partie du jury.

Ma reconnaissance va aussi aux stagiaires et aux observateurs de la station de Dembéni qui ont participé largement aux enquêtes, aux notations et mesures effectuées sur la tomate (Anne Soquet, Flore Blondeau, Marie Mawois, Yakende Rodrigue, André Gimenez, Soilihi Attoumani, Ali Hamada Saïd, Abdou Ahmed).

Je ne saurais oublier « mes » producteurs de tomate que j'ai régulièrement côtoyés pendant des années : leur disponibilité et leur contribution à ce travail de thèse méritent d'être soulignées. Sans eux, il n'y aurait pas eu ce travail.

Une dernière pensée ira à ma famille : à ma femme Catherine et à mes enfants (Julie, Alexandre, Arthur) qui m'ont encouragé, ont supporté mes doutes, mes variations d'humeurs et mes longs moments d'absence, week-ends et soirs où mes « compagnons obligés » étaient mon ordinateur et de nombreux documents éparpillés sur la table ! Une étape importante a été franchie maintenant !

Merci aussi à mes parents qui m'ont inculqué le goût du travail et de l'effort.

*« Là où il y a de la volonté, il y a un chemin »*  
Guillaume d'Orange

## SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>7</b>
 <b>PREMIERE PARTIE : PROBLEMATIQUE GENERALE ET METHODOLOGIE . 13</b>	
<b>CHAPITRE I : APERCU DU MILIEU NATUREL ET DE LA POPULATION DE L'ILE .....</b>	<b>15</b>
1. Le climat.....	15
2. Les sols.....	15
3. La population.....	16
 <b>CHAPITRE II : CONTEXTE DE L'AGRICULTURE ET DU MARAICHAGE A MAYOTTE.....</b>	<b>17</b>
1. Une île en pleine mutation.....	17
2. Des ménages majoritairement pluriactifs .....	17
3. Le maraîchage : une diversité de type d'agriculteurs .....	18
4. Des difficultés d'approvisionnement en intrants agricoles.....	19
5. Description générale de la conduite de la culture de tomate à Mayotte .....	21
 <b>CHAPITRE III : POSITION DU PROBLEME ET HYPOTHESES DE TRAVAIL.....</b>	<b>27</b>
 <b>CHAPITRE IV : DÉMARCHE GENERALE.....</b>	<b>29</b>
1. Démarche .....	29
2. Concepts et méthodes mobilisés.....	30
2.1. Les concepts de système de culture et d'itinéraire technique dans notre situation .....	30
2.2. Le concept de modèle d'action : de la stratégie à l'action .....	31
2.3. Le diagnostic agronomique : évaluer les pratiques culturales .....	31
3. Dispositif de recherche.....	34
3.1. Echantillonnage des exploitations .....	34
3.2. Dispositif général.....	35
4. Présentation des résultats.....	35
 <b>DEUXIEME PARTIE : CARACTERISATION DE LA DIVERSITE DES SYSTEMES DE CULTURE MARAICHERS INCLUANT LA TOMATE .....</b>	<b>37</b>
 <b>CHAPITRE I : LA CONSTITUTION DES SYSTEMES DE CULTURE MARAICHERS DANS L'EXPLOITATION.....</b>	<b>39</b>
1. Méthode.....	39
1.1. Déroulement des enquêtes .....	41
1.2. Concepts mobilisés.....	41
1.2.1. Le modèle de décision portant sur la localisation des cultures et les successions de culture.....	42
1.2.2. Le modèle de conduite technique d'une sole .....	43
2. Résultats sur la localisation des parcelles et le positionnement de la tomate dans les successions de culture .....	43
2.1. La constitution du territoire maraîcher de l'exploitation .....	43
2.2. Le choix des cultures .....	47
2.3. La place de la tomate dans le territoire maraîcher et dans les successions de culture .....	51
2.3.1. Les successions supra annuelles .....	51
2.3.2. La place de la tomate dans les successions infra année .....	51
2.3.3. La place de la tomate dans les successions selon les catégories d'agriculteurs .....	52
2.4. Délais de retour et précédent .....	53
2.5. Nombre de cycles de culture de tomate .....	55
2.5.1. La sole de tomate .....	55
2.5.2. Nombre de cycles successifs de tomate sur la même parcelle .....	57
2.6. Cycles de cultures et périodes de plantation : deux stratégies .....	59
2.7. Illustration de la localisation des parcelles par une étude de cas .....	59

<b>CHAPITRE 2 : FORMALISATION DE LA CONDUITE CULTURALE DE LA TOMATE DE PLEIN CHAMP .....</b>	<b>63</b>
1. Concepts et formalisation des résultats .....	63
2. Formalisation du modèle d'action de conduite prévisionnelle de la tomate.....	65
2.1. Présentation de l'exploitation de Lep .....	65
2.2. Le modèle de conduite prévisionnelle de la tomate de Lep.....	67
3. Comparaison avec les réalisations de Lep.....	70
3.1. Opérations concordantes avec le modèle prévisionnel .....	70
3.2. Opérations discordantes avec le modèle prévisionnel .....	70
3.3. Evaluation des temps de travaux et des charges .....	71
3.4. Conclusion sur les réalisations.....	71
4. Comparaison aux modes de conduite chez les autres agriculteurs enquêtés .....	73
4.1. Les enchaînements des opérations.....	73
4.2. Les métarègles .....	75
4.2.1. Les semis .....	75
4.2.2. La plantation au trou.....	75
4.2.3. La lutte chimique préventive .....	76
4.2.4. Les opérations de conduite de la végétation .....	76
4.2.5. Les règles d'enchaînement communes aux agriculteurs .....	76
4.3. Les différences dans la conduite technique de la tomate .....	76
4.3.1. La gestion des semis .....	77
4.3.2. La densité de plantation .....	77
4.3.3. L'irrigation.....	77
4.3.4. Désherbage et binage .....	79
4.3.5. La fertilisation.....	79
4.3.6. Les opérations de conduite de la végétation .....	81
4.3.7. La protection phytosanitaire .....	84
4.4. La diversité des conduites techniques observées .....	87
5. Comparaison des pratiques entre 2003 et 2005 .....	87
6. Conclusion.....	88

## **TROISIEME PARTIE : DIAGNOSTIC AGRONOMIQUE DE L'EFFET DES MODES DE CONDUITE DE LA TOMATE SUR LA PRODUCTION ..... 93**

<b>CHAPITRE I : ELEMENTS DE BIBLIOGRAPHIE SUR LE FONCTIONNEMENT DU PEUPLEMENT DE TOMATE .....</b>	<b>97</b>
1. Cycle de développement de la tomate et analyse des composantes du rendement.....	97
1.1. Types de croissance de la tomate.....	97
1.2. Développement de la tomate .....	99
Phase de croissance végétative : du semis à la floraison du premier bouquet .....	99
De la floraison au stade récolte du premier bouquet.....	101
De la récolte du premier bouquet à la fin des récoltes .....	102
1.3. Production de matière sèche .....	102
1.3.1. Le rayonnement intercepté et l'indice foliaire .....	103
1.3.2. L'effet de l'effeuillage sur le rayonnement intercepté et la photosynthèse.....	103
1.3.3. Répartition de la matière sèche dans la plante .....	104
1.3.3.1. Répartition des assimilats entre organes végétatifs et organes reproducteurs .....	104
1.3.3.2. Répartition des assimilats au sein de l'appareil reproducteur .....	105
2. Influence des facteurs et des conditions du milieu sur le rendement.....	105
2.1. La nutrition azotée .....	106
2.2. L'alimentation hydrique .....	107
2.3. Les facteurs biotiques .....	108
2.3.1. Les adventices.....	108
2.3.2. Les maladies et ravageurs .....	109
2.3.2.1. L'action des ravageurs .....	109
2.3.2.2. L'action des maladies.....	109
3. Influence sur le fonctionnement du peuplement des interventions sur la végétation .....	111
3.1. L'effeuillage .....	111
3.2. L'ablation de bouquets .....	112

4. Conclusion partielle.....	112
------------------------------	-----

## CHAPITRE II : DIAGNOSTIC SUR LA VARIABILITE DES RENDEMENTS DANS LES PARCELLES PAYSANNES..... 115

1. Présentation du dispositif.....	115
1.1. Choix des parcelles.....	115
1.2. Mesures et observations effectuées sur chaque parcelle.....	115
1.2.1. Caractérisation du milieu.....	117
1.2.2. Caractérisation des systèmes de culture.....	119
1.2.3. Caractérisation du fonctionnement du peuplement végétal.....	119
2. Les expérimentations agronomiques.....	120
2.1. Evaluation de l'effet de différentes modalités de traitements phytosanitaires en parcelles paysannes sur l'état sanitaire du peuplement (campagne 2005).....	120
2.1.1. Objectif.....	120
2.1.2. Matériel et méthodes.....	120
2.1.3. Observations et mesures.....	121
2.2. Essai taille en station (campagne 2004).....	121
2.2.1. Objectif.....	121
2.2.2. Matériel et méthodes.....	121
2.2.3. Observations et mesures.....	123
3. Traitement des données.....	123
4. Résultats sur le diagnostic agronomique.....	125
4.1. Caractéristiques climatiques des deux années d'études.....	125
4.2. Analyse de la variabilité des rendements et de ses composantes.....	125
4.2.1. Une forte variabilité des rendements.....	125
4.2.1.1. Variabilité des rendements, des nombres de fruits et des poids moyens des fruits, relations entre les composantes.....	127
4.2.1.2. Variabilité du nombre de fruits.....	129
<i>i.</i> Relation entre nombre de bouquets par m <sup>2</sup> et nombre de fruits.....	129
<i>ii.</i> Relation entre nombre de bouquets et nombre de tiges par m <sup>2</sup> .....	129
<i>iii.</i> Relation entre nombre de tiges et nombre de pieds par m <sup>2</sup> .....	131
4.2.1.3. Variabilité du nombre de pieds.....	131
4.2.1.4. Conclusion partielle.....	133
4.2.2. Analyse des composantes à l'échelle de la plante.....	135
4.2.2.1. Production par plant.....	135
4.2.2.2. Nombre de bouquets par tige et par plant.....	135
4.2.2.3. Nombre de fruits par bouquet et par tige à la récolte.....	135
4.2.2.4. Evolution du nombre de tiges et de fruits par bouquet au cours du cycle.....	141
4.2.2.5. Poids moyen du fruit selon la position du bouquet sur la plante.....	145
4.2.2.6. Conclusion partielle.....	145
4.3. Etats du milieu à l'origine des variations de rendement.....	147
4.3.1. Analyse de l'alimentation hydrique.....	147
4.3.1.1. La réserve utile des sols.....	147
4.3.1.2. L'analyse des bilans hydriques.....	147
4.3.1.3. L'analyse des profils racinaires.....	149
4.3.1.4. Le suivi tensiométrique dans une parcelle.....	151
4.3.2. Analyse de la nutrition azotée.....	153
4.3.2.1. Effets de l'alimentation azotée sur le nombre de fruits par plant, le nombre de bouquets par plant et le poids moyen des fruits.....	155
4.3.2.2. Origine de la variabilité des indices de nutrition azotée.....	157
<i>i.</i> La teneur des sols en matière organique.....	157
<i>ii.</i> Les apports d'engrais.....	157
4.3.3. Influence de l'enherbement sur l'état nutritionnel.....	159
4.3.4. Analyse des nutriments minéraux autres qu'azotés.....	159
4.3.4.1. L'alimentation en phosphore.....	159
4.3.4.2. L'alimentation en potassium.....	159
4.3.5. Influence de l'action des ravageurs et maladies sur la production.....	159
4.3.6. Relation entre l'état sanitaire du peuplement et les composantes du rendement.....	163
4.3.6.1. Impact des attaques parasitaires sur les pertes de plants.....	163

4.3.6.2. Impact des attaques parasitaire sur le nombre total de fruits par m <sup>2</sup> et le poids moyen du fruit .....	163
4.3.6.3. Facteurs pouvant influencer l'état sanitaire du peuplement .....	165
<i>i.</i> Effet variétal.....	165
<i>ii.</i> Effet du précédent cultural .....	165
<i>iii.</i> Effet des traitements phytosanitaires .....	165
4.4. Conclusion partielle sur les états du milieu affectant l'élaboration du rendement .....	168
5. Résultats de l'expérimentation sur la taille de la tomate (campagne 2004).....	171
5.1. Croissance.....	171
5.1.1. Hauteur .....	171
5.1.2. Volume de végétation .....	171
5.1.3. Biomasse aérienne sèche.....	173
5.2. Composantes du rendement.....	173
5.2.1. Production récoltée par plant .....	173
5.2.2. Nombre de tiges par plant .....	175
5.2.3. Nombre de bouquets par plant .....	175
5.2.4. Nombre de bouquets et de fruits par tige .....	177
5.2.5. Nombre de fruits par plant .....	177
5.2.6. Poids moyen du fruit par plant.....	177
5.2.7. Contribution préférentielle des tiges et des bouquets à la production par plant.....	179
5.3. Conclusion.....	180
6. Expérimentation en parcelles paysannes (campagne 2005) sur l'influence des traitements phytosanitaires sur l'état sanitaire du peuplement.....	181
6.1. Pratiques de traitements et état sanitaires des parcelles.....	181
6.2. Impact sur les composantes du rendement .....	183
7. Conclusion sur le diagnostic agronomique en parcelles paysannes.....	184

## **QUATRIEME PARTIE : DISCUSSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....187**

### **CHAPITRE I : UNE DEMARCHE COMBINANT ANALYSE DES DECISIONS TECHNIQUES ET DIAGNOSTIC AGRONOMIQUE POUR FAIRE EVOLUER LES PRATIQUES CULTURALES ..... 189**

1. Retour sur les hypothèses .....	189
1.1. L'accès aux ressources productives pèse sur la conception et la conduite des systèmes de culture maraîchers .....	189
1.2. La conduite particulière de la végétation et la gestion de la pression parasitaire peuvent expliquer les variations des rendements.....	190
1.3. Un exemple d'articulation entre décision technique et diagnostic agronomique : le nombre de tiges par m <sup>2</sup> .....	191
2. Domaine de validité des connaissances acquises .....	192
2.1. Le dispositif d'enquêtes sur les systèmes de culture.....	192
2.2. Le dispositif de diagnostic agronomique .....	193
2.3. Le dispositif expérimental .....	194

### **CHAPITRE II : CONSEQUENCES POUR LA RECHERCHE ET POUR LE DEVELOPPEMENT AGRICOLE..... 194**

1. Perspectives scientifiques.....	194
2. Perspectives pour le développement agricole.....	195

## **CONCLUSION GENERALE .....197**

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....201**

## **LISTE DES TABLEAUX.....211**

## **LISTE DES FIGURES .....213**

<b>LISTE DES CARTES .....</b>	<b>216</b>
<b>LISTE DES PHOTOS .....</b>	<b>216</b>
<b>LISTE DES ABREVIATIONS .....</b>	<b>216</b>
<b>LISTE DES ANNEXES .....</b>	<b>217</b>

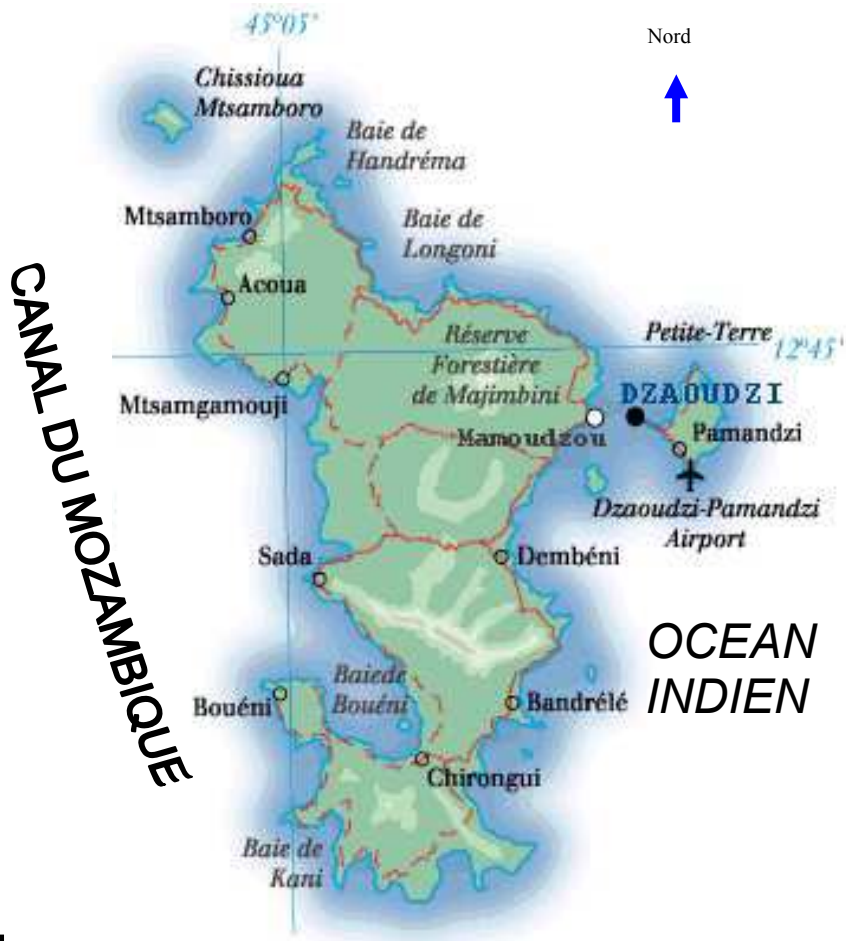


# INTRODUCTION

Carte 1 : carte de situation de la région d'étude dans le monde.



Carte 2 : Carte de l'île de Mayotte.



Avec plus de 65 millions de tonnes produites sur environ 9,5 millions d'hectares, la tomate (*Lycopersicon esculentum* P. Mill) est la première production légumière au monde, représentant environ 15% de la production légumière totale (Chaux et Foury, 1999). Elle est répartie dans toutes les zones climatiques, y compris dans les régions les plus froides où elle est cultivée sous serre.

A Mayotte, île française de l'Océan Indien, d'une superficie de 374 km<sup>2</sup> (cartes 1 et 2), 1000 à 1200 tonnes de tomate sont produites annuellement. Ce légume fruit est cultivé essentiellement en plein champ et en saison sèche pour alimenter le marché du frais. C'est une production spéculative dont le prix varie beaucoup selon la saison : 1 à 3 €/kg en saison sèche, 3 à 7 €/kg en saison des pluies. La Direction de l'Agriculture et de la Forêt de Mayotte (Daf, 2002) estimait le rendement moyen à 15 t/ha environ en 2001, mais ce niveau relativement faible cache une forte variabilité entre parcelles paysannes, sans que les causes de ces variations aient été identifiées. Des essais réalisés en station ont montré que les rendements pouvaient atteindre 80 t/ha en culture de plein champ (Cirad, 2004). La variation des rendements n'est pas connue car il n'existe pas encore de système de référencement des performances agronomiques et économiques des productions à Mayotte.

Les modes de conduite de la culture reposent sur un savoir-faire paysan, pour partie issu des autres îles des Comores, qui est encore peu connu. La tomate, de par son importance (non quantifiable faute de données mais certaine) dans les habitudes alimentaires et les revenus intéressants qu'elle génère, se retrouve dans la quasi-totalité des exploitations maraîchères. Elle représente environ deux tiers des surfaces maraîchères. Selon Vernaudon (1994), la culture de la grosse tomate remonterait au milieu des années 90 et aurait été introduite par des producteurs anjouanais, contrairement à la petite tomate (« *Mazagnoni* ») qui poussait à l'état sauvage en saison des pluies et que les mahorais récoltaient pour leur consommation personnelle. Aujourd'hui, cette variété de petite tomate à port buissonnant est devenue rare et la quasi-totalité des producteurs cultivent des variétés à gros fruits.

Le maraîchage est présent sur toute l'île, mais il est plus fréquent et actif dans le centre (plateau de Combani-Vahibé), près de Mamoudzou (la capitale) et dans le Sud-Est de l'île (carte 2). C'est sous l'impulsion de la Direction de l'Agriculture et de la Forêt, au début des années 80, que cette activité a commencé à se structurer avec la création de périmètres maraîchers et de groupements de producteurs, la mise en place d'un encadrement technique et commercial, et la réalisation d'expérimentations agronomiques (Maheu, 1981). Une dizaine d'années plus tard, les premières exploitations individuelles maraîchères se sont installées avec l'appui de l'administration (subventions, prêts bonifiés) marquant la transition du jardin potager familial (composé de peu d'espèces légumières, surtout des « brèdes »<sup>1</sup> cultivées sur quelques dizaines de m<sup>2</sup>) à une production maraîchère diversifiée et consommatrice d'intrants et de main-d'œuvre. L'activité a eu un succès auprès des agriculteurs : environ 26 ha en 1998, plus de 92 ha en 2001 (Daf, 2002). Cette activité impliquerait un peu plus de 1 000 ménages (Daf et Insee, 2004). Même si les surfaces cultivées restent faibles au niveau de l'île, cette progression traduit un certain engouement pour une activité agricole rémunératrice.

La gamme de légumes cultivés est diversifiée, mais la tomate représente plus de 65% des surfaces et les légumes-feuilles (brèdes, laitue) environ 20%. Le maraîchage est surtout une activité familiale pratiquée dans un contexte économique de cherté des intrants, de faible organisation de la filière et de commercialisation des produits. De plus chaque année, les agriculteurs sont confrontés à des difficultés d'approvisionnement en intrants (semences, engrais, pesticides). Les légumes sont produits essentiellement en saison sèche de mai à novembre. Pendant la saison des pluies, la production est très déficitaire et les prix à la consommation très élevés (exemples : 8 à 12 € le kg de poivron, 10 à 12 € le kg de courgette, 1 à 2 € la laitue).

La production locale est donc insuffisante, notamment en saison des pluies, pour répondre à la demande, ce qui caractérise, au-delà de la tomate, la filière des fruits et légumes frais. Les

---

<sup>1</sup> Les brèdes désignent les légumes feuilles consommés cuits en accompagnement de poisson et de viande, tels que les jeunes feuilles de mafane (*Spilanthes acmela* var. *oleracea*), morelle noire (*Solanum nigrum*), manioc (*Manihot esculenta*).

importations globales en fruits et légumes dans l'île étaient de 4210 tonnes en 2005, en progression de 40% par rapport à 2004, la tomate (en conserve et en frais) représentant un tiers des importations, soit 1402 tonnes (source : douanes, 2006). Cependant, les perspectives de consommation de fruits et légumes sont plutôt orientées à la hausse, compte tenu de l'accroissement de la population, de l'émergence de la restauration collective et scolaire, de l'amélioration du niveau de vie (Iedom, 2006). L'île comptait environ 160 000 habitants en 2002 (dont 40 à 45 000 en situation irrégulière), et a connu une forte progression démographique (4,1% par an entre 1997 et 2000), et en particulier une forte immigration en provenance des autres îles de l'archipel des Comores. Cette forte démographie laisse entrevoir des besoins croissants en produits alimentaires pour nourrir la population dans les années à venir.

Dans son rapport pour la préparation du contrat de Plan Etat-Mayotte 2000-2004, le Préfet soulignait : « *le soutien et le développement de l'activité agricole font partie des enjeux majeurs pour la cohésion sociale mahoraise et la limitation du dérapage d'une économie encore trop conditionnée par l'importation de denrées de première nécessité... Le développement des cultures maraîchères devrait connaître un essor particulier compte tenu de l'évolution des pratiques alimentaires. Il en va de même pour les cultures fruitières et horticolas et pour l'élevage de bovins, caprins et d'animaux de basse cour ...* » (Bichat *et al.*, 1999). Depuis plusieurs années, les pouvoirs publics se sont ainsi engagés dans une politique de soutien à l'agriculture, afin de professionnaliser ce secteur et de dynamiser la production. Cette politique volontariste, dans un contexte de forte mouvance institutionnelle avec l'intégration accélérée de Mayotte dans la République, s'accompagne de défis importants :

- Favoriser l'accès des ruraux à l'emploi et à la terre compte tenu d'une population majoritairement jeune (53 % de moins de 20 ans en 2005) (Iedom, 2006).
- Développer une agriculture qui tienne compte de la pluriactivité des ménages agricoles et des multiples fonctions dévolues à l'activité agricole (Losch et Sourisseau, 2001). Selon une récente étude Daf-Insee (2004), trois ménages<sup>2</sup> sur cinq pratiquent l'agriculture ou la pêche et sont ainsi qualifiés de ménages agricoles.
- Promouvoir une agriculture respectueuse de l'environnement terrestre et marin compte tenu de l'exiguïté du territoire et de la pression exercée par les populations sur les ressources naturelles, l'eau et le foncier notamment, et sur le lagon.
- Faire face à la présence de nombreux clandestins dans le secteur agricole, soit comme ouvriers, soit comme exploitants directs, bravant la politique de rigueur de l'Etat français en matière de lutte contre l'immigration clandestine. On estime que deux tiers de la production agricole seraient assurés par des clandestins. La plupart d'entre eux se tournent vers l'activité maraîchage car ils peuvent y gagner leur vie en cultivant de petites superficies. En effet, cette activité permet de dégager jusqu'à 6700 euros de revenus<sup>3</sup> sur une campagne de saison sèche (Lecourtois, 2004).

Dans un tel contexte d'agriculture familiale et fortement manuelle, marquée par une évolution institutionnelle rapide de la Collectivité (dans la perspective de la départementalisation) et une augmentation régulière des besoins en produits agricoles, on peut se poser les questions suivantes : à quelles conditions les exploitations agricoles pourraient-elles répondre complètement à la demande du marché local ? Comment vont évoluer les systèmes de culture maraîchers dans un environnement marqué par certaines incertitudes quant à l'accès au foncier, aux intrants agricoles et au devenir de certaines unités de production du fait du statut administratif actuel de clandestin de l'exploitant ? On s'interroge également sur les causes de la variabilité des rendements de la tomate à Mayotte, principale production maraîchère, et il convient d'analyser, compte tenu du contexte économique et social

---

<sup>2</sup> Un ménage est un ensemble de personnes, dont en général une partie au moins est unie par des liens de parenté, vivant dans un même logement, mettant leurs ressources en commun, faisant cuisine commune et mangeant régulièrement ensemble. Le ménage est qualifié d'agricole lorsqu'un des membres est exploitant agricole. L'exploitation agricole est définie comme une unité qui participe à la production agricole de l'île et répond à au moins un des critères suivants : elle met en valeur une parcelle en dehors de l'enclous d'habitation et/ou elle élève des animaux (Daf et Insee, 2004).

<sup>3</sup> A titre de comparaison, le SMIG net mensuel était de 608,43 euros au 31 décembre 2005 (Iedom, 2006).

particulier de Mayotte, en quoi cette variabilité est liée à la diversité des exploitations dans leurs accès aux ressources productives et aux milieux de production. Ces préoccupations d'autosuffisance alimentaire et d'accès aux ressources de production sont partagées par d'autres agricultures dans le monde et notamment en zones urbaines et périurbaines des pays en développement (Moustier et Fall, 2004 ; Temple et Moustier, 2004).

En 2002, le Cirad a ainsi démarré un programme de recherche-développement à Mayotte, à la demande des autorités locales, dont l'objectif opérationnel vise à améliorer l'approvisionnement de l'île à partir de productions locales et à gommer la forte saisonnalité de la production maraîchère. Plusieurs thèmes d'investigations ont été définis, dont : i) l'analyse de la diversité des systèmes d'exploitation maraîchers ; ii) l'analyse de la constitution des systèmes de cultures maraîchers dans un contexte agricole marqué par des incertitudes d'accès au foncier et aux intrants notamment ; iii) l'analyse de la diversité des modes de conduite de la tomate et l'évaluation de leurs conséquences agronomiques (notamment sur l'élaboration du rendement).

Notre travail de thèse s'inscrit dans ce programme de recherche. Il a pour objectif scientifique de connaître et d'évaluer les modes de production de la tomate pour analyser les obstacles à une progression de la production, dans un contexte particulier d'une île (territoire limité) soumise à une forte pression démographique et confrontée à des incertitudes quant à l'accès aux ressources productives, et à des aspects réglementaires spécifiques liés à l'appartenance à la France (protection des eaux de surface et souterraine, politique d'immigration...). Pour cela, notre démarche vise à croiser, à partir de la prise en compte de la diversité des exploitations, i) la place de la tomate dans les systèmes de culture en termes de localisation dans le territoire d'exploitation, de successions de culture, et de décisions techniques liées à sa conduite, ii) avec un diagnostic agronomique au champ de la variabilité des rendements obtenus pour comprendre et hiérarchiser les facteurs limitant de la production.

Le principal enjeu pour la recherche réside dans l'enrichissement de démarches agronomiques associant la production de connaissances sur les conditions de mise en œuvre des techniques au sein de ces exploitations et les effets de ces techniques sur le fonctionnement du champ cultivé. La compréhension et la caractérisation de la diversité des modes de raisonnement techniques sont indispensables à l'agronome pour pouvoir envisager d'accompagner le changement technique à une échelle régionale (Mathieu 2005, Aubry et Michel-Dounias, 2006). L'analyse de la diversité des décisions techniques est un domaine encore relativement récent de l'agronomie. Comme le soulignent Aubry et Michel-Dounias (2006), les décisions techniques des agriculteurs évoluent progressivement suivant les dynamiques de projet et d'apprentissage de l'agriculteur et de sa famille intégrant des modifications du contexte, l'apparition de nouvelles techniques, etc. Ceci est particulièrement vrai à Mayotte où les systèmes de pluriactivité des ménages agricoles et les normes sociales influencent fortement le comportement technique des individus et leurs trajectoires d'évolution dans un contexte politique d'évolution institutionnelle rapide. Par ailleurs, on rencontre encore peu de travaux qui ont porté sur l'analyse des décisions techniques dans des cultures à cycle court (Navarrete, 1999 ; Navarrete *et al.*, 2006) *a fortiori* en zones tropicales (N'Dienor, 2006).

Notre travail comporte aussi un enjeu pour le développement en termes de valorisation des savoir-faire paysans et d'amélioration de la conduite culturale de la tomate afin de mieux approvisionner les marchés urbains et de proximité. Les résultats doivent permettre de guider les choix techniques des agriculteurs en les aidant à mieux adapter leur itinéraire technique, notamment la conduite de la végétation (taille...) et les traitements phytosanitaires pour répondre à la fois à des objectifs agronomiques, économiques et environnementaux.

Le mémoire qui suit est divisé en quatre parties :

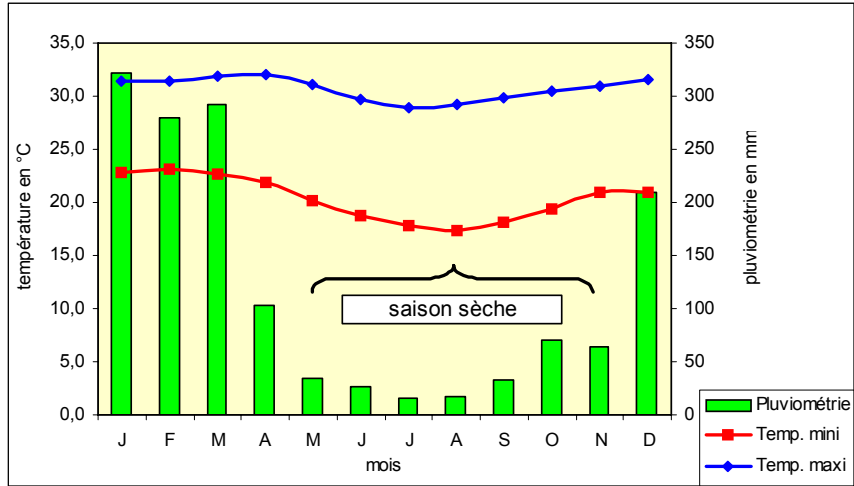
- La première partie est consacrée à la problématique et à la méthodologie générale. Après une présentation de la région d'étude et de son agriculture, nous donnerons un aperçu de la diversité des exploitations maraîchères et des modes de conduite de la tomate avant de

présenter la problématique générale, la démarche ainsi que les méthodes et concepts mobilisés pour répondre à la question de recherche.

- Dans la deuxième partie, on cherche à caractériser les systèmes de cultures maraîchers à base de tomate en abordant les règles de constitution et de gestion technique de ces systèmes ainsi que la diversité des modes de conduite de la tomate qui en découle. Il s'agit de formaliser les règles de décision des agriculteurs concernant la constitution des systèmes de culture et la gestion technique de la tomate, choisie comme culture révélatrice de la performance de ces systèmes.
- La troisième partie porte sur l'évaluation agronomique (en termes d'élaboration du rendement) de la diversité des modes de conduite de la tomate ainsi que sur l'évaluation des effets de différentes modalités de conduite de la végétation de la tomate et de traitements phytosanitaires sur l'élaboration des composantes du rendement. Ces données issues d'expérimentations visent à enrichir l'interprétation des résultats issus du diagnostic cultural. Les résultats seront mis en relation avec les pratiques culturales analysées dans la partie précédente.
- Dans la quatrième partie dédiée à la discussion générale, nous reviendrons sur les principaux résultats obtenus avec un retour sur les hypothèses de recherche, et nous terminerons par les perspectives scientifiques et opérationnelles qui découlent de nos travaux.

**PREMIERE PARTIE : PROBLEMATIQUE  
GENERALE ET METHODOLOGIE**

Figure I-1 : Températures et pluviométries moyennes mensuelles à Dombéni sur la période 1994-2004 (source : météo nationale).





Cette partie vise à définir les objectifs scientifiques du travail de thèse. On s'intéresse dans un premier temps à définir et à caractériser notre zone d'étude, le contexte de l'activité agricole et maraîchère dans l'île, en analysant l'importance socio-économique de l'activité et la diversité des exploitations maraîchères. Ce contexte permet de déboucher sur les questions agronomiques auxquelles nous nous sommes intéressés. Dans un deuxième temps, on présente les concepts et les méthodes utilisés pour répondre à la question de recherche et aux hypothèses de travail.

## **CHAPITRE I : APERÇU DU MILIEU NATUREL ET DE LA POPULATION DE L'ÎLE**

### **1. Le climat**

Le climat de Mayotte est de type tropical humide insulaire, tempéré par l'altitude sur les hauteurs et marqué par deux grandes saisons :

- la saison des pluies, de novembre à mai : elle correspond à un déplacement d'air humide du nord de l'équateur vers le sud ; le vent chargé d'humidité, la mousson, souffle de Nord à Nord-Ouest ;
- la saison sèche, de mai à novembre, saison des alizés : l'anticyclone de l'Océan Indien remonte vers le nord, se rapprochant de Mayotte ; il fait moins chaud du fait de l'arrivée d'air frais en provenance de l'hémisphère Sud (Raunet, 1992).

La pluviométrie moyenne annuelle est comprise entre 1000 et 2300 mm. Les zones Nord et Nord-Ouest, plus directement exposées à la mousson, sont les plus arrosées ; la partie sud est la plus sèche. Les moyennes de températures sont plus élevées en saison des pluies (28°C) qu'en saison sèche (21°C), mais le contraste saisonnier est faible. L'humidité relative reste assez élevée tout au long de l'année. Les valeurs les plus basses (79 %) s'observent sur le littoral Est, sous l'influence de vents desséchants (Raunet, 1992). La figure I-1 présente les températures et pluviométries moyennes mensuelles pour le village de Dembéni situé sur la côte est de l'île où se trouve la station agronomique du Cirad.

### **2. Les sols**

L'île, d'origine volcanique, présente une mosaïque de sols (parfois deux à trois types sur une même parcelle de quelques ares) dont les principaux sont les suivants (Latrille, 1981 ; Raunet, 1992 ; Lozet et Mathieu, 2002) :

- *Sols ferralitiques* : sols anciens, dérivant de brèches, coulées ou formations d'origine volcanique. Ces sols, brun rouge à rouge, sont profonds de plusieurs mètres, acides et riches en argile, mais pauvres en potassium et matière organique. La structure polyédrique est fine à moyenne avec, dans certains cas, la présence de gros blocs. La capacité de rétention d'eau est moyenne. Grâce à une diffusion rapide de l'eau dans le sol, celui-ci n'est que temporairement saturé lors d'épisodes pluvieux intenses. Les remontées capillaires sont importantes et rapides, le stress hydrique n'apparaît qu'après plusieurs semaines de déficit hydrique. Le travail du sol est aisé. Ces sols s'observent essentiellement sur les plateaux à modelé peu repris par l'érosion (plateaux de Combani, de Coconi, de Bandrélé), mais aussi dans les vastes amphithéâtres alvéoles dominés par des crêtes résiduelles.
- *Sols bruns* : ces matériaux de transit de pentes sont composés de colluvions peu épais, riches en éléments grossiers, généralement peu altérés, de toutes tailles. La matrice des éléments grossiers

est argileuse, kaolinique, halloysitique ou smectique suivant la nature du matériau amont. Ils sont relativement riches en matière organique et en éléments minéraux, mais étant sur pente forte, ils sont assez peu profonds et évidemment très sensibles à l'érosion. Du fait d'une variation de la structure des argiles sur l'île, les sols du Nord sont moins riches et plus filtrants que les sols du Sud.

- *Matériaux de remblais alluviaux et colluviaux* : ils constituent toutes les plaines littorales ainsi que les fonds de vallées. Ces sols sont formés de produits d'érosion arrachés au versant amont. Les alluvions sont à dominance argileuse kaolinique, avec quelques graviers, surtout dans leur partie inférieure où on peut trouver des semelles de galets. Par la présence d'argiles gonflantes dans le Sud, les sols peuvent avoir des tendances verticales. Ces produits de comblement portent les meilleurs sols de Mayotte, de par leur topographie plane et leur fertilité chimique.
- *Matériaux de Petite Terre* : issus du volcanisme très récent, ils sont faiblement altérés (Raunet, 1992). Ce sont essentiellement des ponces trachytiques, blanchâtres, peu soudées, à sols bruns peu épais.

A cela s'ajoutent les *sols andiques*, qui sont des sols formés sur des matériaux volcaniques suffisamment récents pour que d'autres pédogenèses n'aient pu intervenir de façon déterminante (Latrille, 1981).

### 3. La population

Les premiers migrants, d'origine bantoue, sont arrivés à Mayotte d'Afrique de l'Est vers le IV<sup>ème</sup> siècle. Forcée par les structures sociales africaines des premiers arrivants et les multiples migrations côtières, la société mahoraise a également été largement fécondée par l'influence arabo-islamique très tôt dans son histoire, métissée par les apports malgaches. Elle est aujourd'hui à dominante musulmane avec une pratique fréquente de la polygamie. C'est en 1841, lorsque le sultan Adriantsouli, d'origine malgache, cède Mayotte à la France, que l'histoire coloniale de l'île commence. Au 20<sup>ème</sup> siècle, après une longue période de paix civile, liée à la présence française, des antagonismes se développent entre Mayotte et les autres îles de l'archipel, suite à l'autonomie interne du territoire des Comores. Mayotte accède au statut de Territoire d'Outre Mer (TOM) en 1957. Collectivité territoriale en 1976, collectivité départementale depuis 2001, elle devrait se prononcer en 2010 en faveur ou non du statut de département.

La population de Mayotte a été multipliée par quatre en trente ans avec une densité de population s'élevant à 470 habitants par km<sup>2</sup> en 2002 (Iedom, 2005). Au rythme démographique enregistré ces dernières années, plus de 330 000 habitants sont attendus en 2020, soit une densité de 880 habitants par km<sup>2</sup>. Cette croissance forte correspond à un phénomène typique des situations de transition démographique : les progrès récents de la couverture sanitaire ont permis de diminuer le taux de mortalité, alors que la natalité reste encore élevée. Un tel contexte de croissance démographique induit des conséquences lourdes sur l'occupation des sols ainsi que sur la gestion de l'espace et de l'environnement.

L'île est également soumise à un fort flux migratoire en provenance des îles voisines, principalement des Comores et d'Anjouan. Cette immigration concerne tout le territoire et tous les secteurs d'activité dont l'agriculture. Beaucoup de ces personnes ont des liens familiaux et sont parfois présentes sur l'île depuis plusieurs années. La clandestinité demeure néanmoins un sujet difficile et tendu mais aussi ambigu dans le discours de la population mahoraise. Le taux de reconduite à la frontière est le plus haut de toute la République : plus de 13 000 en 2005.

## **CHAPITRE II : CONTEXTE DE L'AGRICULTURE ET DU MARAICHAGE A MAYOTTE**

### **1. Une île en pleine mutation**

L'intégration de Mayotte dans la République s'accompagne d'une évolution de la société. Des ruptures apparaissent au sein de la population entre les générations suite au développement de la scolarisation, de l'accès aux moyens de communication et aux biens de consommation. Les jeunes ont des exigences d'emploi, de consommation et de loisirs différentes des anciennes générations. Par ailleurs, suite à l'augmentation des transferts financiers venus de la métropole, de nombreux emplois ont été créés pour la mise en place et le renforcement des administrations et autres institutions (santé, écoles...), ce qui ne permet pas pour autant de satisfaire toutes les demandes. Le taux de chômage dépasserait les 40%. Le développement des infrastructures et de l'administration a favorisé l'arrivée de cadres et de techniciens réunionnais et métropolitains (environ 2,8% de la population en 2000 selon l'Iedom). Cette nouvelle population crée de nouvelles demandes en termes de logement, de loisirs et de consommation, par exemple pour les produits maraîchers.

Le transfert du pouvoir exécutif de l'Etat à la Collectivité Départementale de Mayotte (Conseil Général) depuis 2004 est accompagné de nombreuses évolutions institutionnelles et sociales. Le secteur agricole n'y échappe pas : création d'une Chambre d'Agriculture et de la Pêche en juillet 2006 ; définition d'un statut d'agriculteur ; structuration des services agricoles du Conseil Général et de la Direction de l'Agriculture et de la Forêt ; professionnalisation du secteur agricole ; réaménagement des systèmes d'aide... Maintenir le plus grand nombre d'actifs possible en agriculture pour freiner la croissance du chômage, soutenir l'agriculture vivrière (à base de banane et manioc), favoriser l'approvisionnement endogène de l'île, et notamment les productions maraîchères, sont des priorités des autorités locales.

### **2. Des ménages majoritairement pluriactifs**

L'enquête conduite en 2002 par une équipe du Cirad à Mayotte (« Sodel ») sur les systèmes d'activités de 486 ménages agricoles a révélé une diversité de constitution des revenus et de part de l'agriculture dans cette constitution (Losch et Sourisseau, 2002). Douze types regroupés en quatre classes ont été dégagés :

- Classe R : revenus réguliers (essentiellement des salaires), 39% des ménages enquêtés.
- Classe I : revenus irréguliers (contrats courts), 20% des ménages enquêtés.
- Classe D : revenus issus des transferts sociaux et familiaux, 27% des ménages enquêtés.
- Classe A : revenus issus de l'agriculture et de l'élevage, 14% des ménages enquêtés.

Pour les 14% de ménages dépendant majoritairement des activités agricoles, les revenus marchands issus de l'élevage et de l'agriculture représentent en moyenne 57% des revenus monétaires de ces ménages (610 à 9150 euros annuels par actif). Ce groupe héberge une grande diversité de systèmes de culture associant des logiques de commercialisation et des logiques d'autoconsommation. L'enquête statistique sur l'agriculture et la pêche à Mayotte en 2003 (Daf et Insee, 2004) a confirmé la forte représentation de l'agriculture sur le territoire : plus de 21 500 ménages agricoles (environ 106 230 personnes) pratiquent l'agriculture (sur des exploitations d'un hectare en moyenne) et/ou la pêche. Ces ménages comptent en moyenne 5,1 personnes. Plus de 30% de cette population agricole et/ou pratiquant la pêche familiale sont concentrés dans la capitale Mamoudzou et sa banlieue proche.

Les activités sont entendues dans cette enquête au sens large et ne se limitent pas seulement aux activités économiques. Les personnes s'investissent dans de nombreuses associations à caractère religieux, culturel, sportif et même économique, et principalement au sein du village. L'activité agricole grâce à un système de polyculture - élevage diversifié et adaptatif couvre la plupart des fonctions caractéristiques du système d'activités : alimenter la famille, couvrir les besoins monétaires du ménage, maintenir les réseaux sociaux du ménage, préserver une maîtrise foncière, minimiser les risques liés à la variabilité de l'environnement naturel et économique (Losch et Sourisseau, 2002). L'activité agricole reste primordiale car elle assure des fonctions économiques, sociales et patrimoniales et ne se limite pas à une production pour la consommation et la vente.

### 3. Le maraîchage : une diversité de type d'agriculteurs

Cependant, l'enquête « Sodel » du Cirad sur les systèmes d'activités n'a pas exploré les caractéristiques ni le fonctionnement des exploitations à dominante maraîchère. Les ménages agricoles enquêtés étaient tous mahorais et ont été tirés du registre agricole de 1997 alors que les personnes en situation irrégulière, pourtant nombreuses à pratiquer l'agriculture et notamment le maraîchage, n'ont pas été recensées. Aussi, une étude que nous avons réalisée en 2003 a-t-elle analysé le contexte social de la production, proposant une typologie en trois catégories basée sur les ressources productives (main-d'œuvre, capitaux, foncier). Les 29 personnes enquêtées ont été tirées de la liste des agriculteurs maraîchers suivis par le service de développement agricole de la DAF, indépendamment de leur situation administrative sur le territoire. La plus grande diversité possible a été recherchée en choisissant des agriculteurs de différents âges et des deux sexes, répartis dans différentes zones de l'île (Soquet, 2003). La typologie détaillée est reportée en annexe 1.

#### *Groupe A : personnes pratiquant un maraîchage peu intensif*

Il est surtout le fait des femmes, avec autoconsommation dominante, les surplus servant des rapports sociaux (dons, échanges) au sein de la famille élargie ou étant vendus, soit sur le marché local, soit au champ. Les surfaces cultivées sont petites et limitées par la force de travail de l'exploitant (rares « coups de main » de la famille et très rare salariat, même temporaire). Les surfaces étant petites (quelques ares), ces femmes se regroupent parfois pour effectuer un labour mécanisé en début de saison sèche. Les cultures sont généralement à cycle court (salade, brèdes, oignon vert, etc.) et la tomate est rarement cultivée. Elles mobilisent peu de travail et d'intrants. Les revenus tirés de l'activité sont faibles à moyens.

#### *Groupe B : personnes pratiquant un maraîchage « intensif »*

Le groupe B comporte des maraîchers que l'on peut qualifier « d'intensifs ». Sur des surfaces relativement importantes dans le contexte de l'île (0,6 ha en moyenne), ils cultivent diverses espèces, notamment des espèces à cycle long, qui sont surtout destinées à la vente : tomate, salade, aubergine, chou, concombre, etc. Les successions de cultures sont partiellement raisonnées (délais de retour, couples précédents-suivants) pour tenter de limiter les risques phytosanitaires. La conduite technique est relativement intensive avec apport de matière organique (compost fabriqué à partir de résidus de culture, litière de volailles) et souvent d'engrais minéral, et la pratique de traitements phytosanitaires. Les légumes sont aussi bien vendus sur l'exploitation que sur les marchés de proximité auprès d'une certaine clientèle fidélisée, ce qui permet à ces maraîchers d'être proches des attentes de la clientèle. L'essentiel des revenus du ménage provient du maraîchage. La main-d'œuvre est familiale, souvent le couple. Chez les individus double-actifs, la main-d'œuvre est composée d'ouvriers travaillant à temps plein sur l'exploitation.

On distingue trois types dans ce groupe B :

- Les mahorais d'origine (**type b1**) ; ils sont propriétaires de leur terrain ou dans l'attente de l'obtention d'un acte de propriété par l'administration. Ayant une stabilité foncière, ils

peuvent investir dans du matériel d'irrigation et des tunnels plastiques et obtenir des aides de l'Etat et de la Collectivité Départementale de Mayotte.

- Les migrants originaires des autres îles des Comores (**type b2**), notamment Anjouan, et qui sont pour la plupart en situation irrégulière, certains depuis longtemps. Ils obtiennent un terrain en location ou en prêt par contrat verbal facilement récusable. Ils ont souvent peu de moyens financiers et sont en situation de précarité foncière, ce qui limite très fortement leurs possibilités d'intensification. Néanmoins, ils sont ouverts à toute innovation technique et s'investissent dans le maraîchage pour réussir et gagner de l'argent.
- Les mahorais double-actifs, (**type b3**) disposant d'un revenu extérieur régulier leur permettant de financer les activités maraîchères. Comme ils ont un emploi (souvent dans la fonction publique), ils ne peuvent accéder aux subventions. Ils recrutent des ouvriers (généralement clandestins) qui exécutent leurs décisions techniques.

### ***Groupe C : agriculteurs spécialisés ou « modernes »***

Ce maraîchage est plutôt intensif et spécialisé. Il est le fait de producteurs allochtones, réunionnais ou métropolitains et de quelques producteurs mahorais, qui pour la plupart possèdent des abris tunnels pour pouvoir produire toute l'année. Ils vendent et livrent les récoltes en gros aux grandes surfaces, aux hôtels, mais aussi à des revendeurs et à des particuliers qui viennent acheter sur l'exploitation. La gamme d'espèces cultivées est large (tomate, laitue, concombre, melon, courgette, aubergine...). Ils sont surtout situés à Mamoudzou pour faciliter l'écoulement des produits, et dans la zone centre où le climat et les sols sont favorables aux cultures maraîchères. Quelques-uns possèdent un élevage intensif de volailles, ce qui leur permet d'avoir du fumier pour les cultures, d'en vendre ou d'en offrir en échange du nettoyage du poulailler. Ils ont une assez bonne connaissance technique, acquise souvent par le biais d'une formation agricole. Ils emploient des ouvriers permanents (clandestins) et n'ont pas de problème de main-d'œuvre. Les surfaces sont grandes relativement aux autres groupes (plus de 0,5 ha).

## **4. Des difficultés d'approvisionnement en intrants agricoles**

Malgré les tentatives d'organisation de la filière maraîchère depuis quelques années (Vernaudon, 1994, Daf, 2002 ; Losch et Sourisseau, 2003), l'approvisionnement régulier en intrants demeure un problème pour les agriculteurs. En effet, ces derniers sont confrontés à des ruptures de stock chaque année, aussi bien pour les engrais et les semences que pour les produits phytosanitaires. Ces ruptures peuvent durer plus de six mois, ce qui oblige les producteurs à effectuer eux mêmes des stocks ou à s'approvisionner directement en semences de l'extérieur s'ils veulent respecter leur planning de semis et de plantation. Cette situation n'est donc pas sans conséquence sur la conduite des cultures maraîchères (souvent exigeantes en éléments nutritifs et sensibles à de nombreux ravageurs et maladies) en termes de choix variétal, de positionnement des interventions culturales (exemple : date des semis, date d'apports des engrais et des pesticides) et de quantités d'intrants.

En plus des organisations professionnelles directement impliquées dans l'organisation des filières végétales (Association de Développement et de Valorisation Agricole (ADVA), Sarl Tama, Espace Fraîcheur Maoré (EFM)) qui proposent à la vente des intrants agricoles, certaines sociétés privées, de type quincailleries, ou la grande distribution commercialisent également des produits phytosanitaires (gamme jardinage), des semences et des fournitures agricoles (terreau, petit outillage, etc.). Cependant, les réseaux de distribution « grand public » proposent souvent des produits peu adaptés aux besoins des agriculteurs et coûteux, le marché visé étant davantage celui des particuliers que des professionnels. Plutôt que de ne rien avoir, les producteurs achètent ce qu'ils trouvent sans toujours savoir si les variétés commercialisées sont bien adaptées aux conditions du milieu tropical ni les produits phytosanitaires bien ciblés par rapport aux complexes parasitaires rencontrés au champ.

Figure I-2 : Périodes de production de la tomate de plein champ pendant la saison sèche à Mayotte.

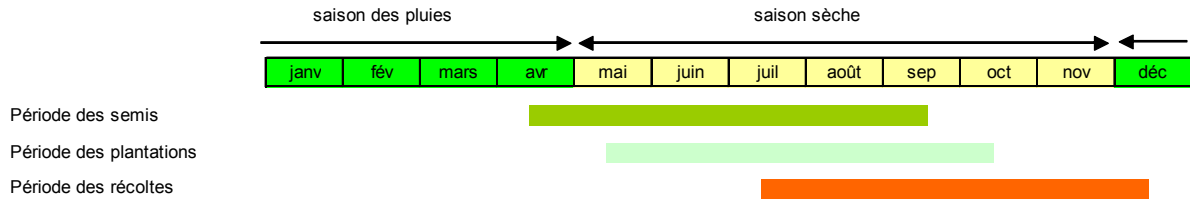
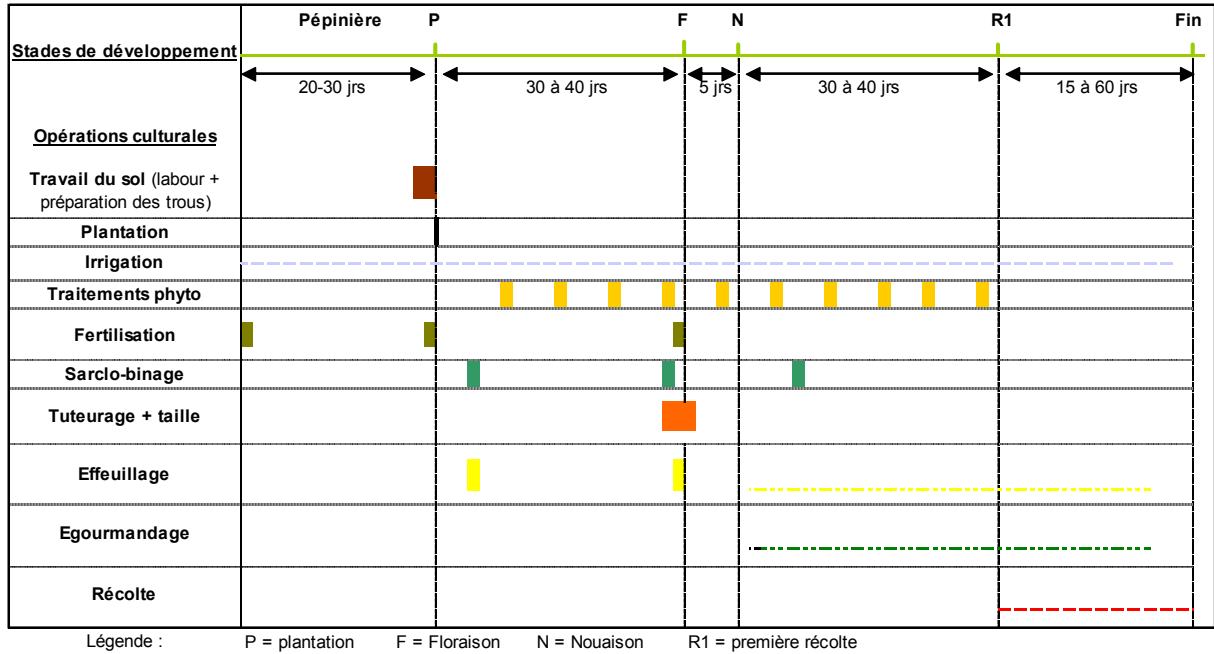


Figure I-3 : Nature et positionnement général des interventions culturales sur la tomate à Mayotte.



Aucun conseil technique n'est donné par les vendeurs, ces derniers n'étant pas des techniciens du secteur agricole et ne connaissant souvent pas les produits qu'ils vendent. C'est ainsi que l'on trouve par exemple sur les étals des variétés de tomate très sensibles au flétrissement bactérien non recommandées pour Mayotte (Saint-Pierre, Roma...) ou encore des régulateurs de croissance pour pommiers ! Les fournisseurs regrettent l'atomisation de la demande et l'absence d'organisation des producteurs, dont beaucoup sont clandestins et ne fréquentent pas suffisamment les magasins de vente, pour la plupart situés à Mamoudzou. Certains fournisseurs privés ont cessé leur activité de vente d'intrants pour cause de non rentabilité (Ets Coroi en 2004, Sarl Tama en 2006). EFM, structure associative, a décidé de relancer cette activité à partir de 2007 auprès de ses adhérents agriculteurs, comptant sur cette prestation pour pouvoir contractualiser la production et planifier les dates de plantation en vue d'approvisionner correctement ses clients.

Ce problème d'accès aux intrants est également l'une des caractéristiques des systèmes maraîchers urbains et périurbains (SMUPU) des pays en développement (PED), décrites par plusieurs auteurs (Moustier et David, 1997 ; Moustier et Fall, 2004 ; Temple et Moustier, 2004 ; N'Diènor, 2006).

## **5. Description générale de la conduite de la culture de tomate à Mayotte**

Les enquêtes de caractérisation des exploitations maraîchères réalisées en 2002-2003 (Soquet, 2003) ont permis également d'avoir quelques connaissances sur la conduite générale de la culture de tomate à Mayotte (Figures I-2 et I-3 ; Planches à photos n° 1 à 3). Elle est réalisée essentiellement pendant la saison sèche, période la plus favorable au maraîchage. Les agriculteurs ne disposent pas de fiches techniques sur la culture de la tomate mais ils sont conseillés par les techniciens des différentes structures de développement (Service de Développement Agricole de la Daf, ADVA, Chambre Professionnelle).

Les semis sont effectués en pépinière en pleine terre et les plants sont arrachés 20 à 30 jours après, puis transplantés directement au champ. Les premières plantations démarrent au plus tôt en avril quand la pluviométrie a diminué et que l'état d'humectation des sols permet un labour mécanisé sans risque d'enlèvement des machines. Les dernières cultures s'arrêtent en novembre-décembre, période qui marque le début de la saison des pluies. Après la dernière récolte, les plants de tomate ne sont pas arrachés et restent en place jusqu'à la prochaine culture de saison sèche, ou ils sont arrachés si la parcelle est cultivée en saison des pluies (pois d'angole, niébé, maïs, riz).

Les variétés utilisées sont en grande partie anciennes (Caraïbo, Caribou, Floradade, King Kong, Carioca, Calinago, Caracoli) et certaines sont délaissées par les distributeurs de semences au profit de variétés plus performantes en termes de productivité et de résistance aux maladies.

La préparation du sol intervient à la fin de la saison des pluies quand le sol est bien ressuyé. Il est labouré à la charrue à socs ou manuellement au pic (mais dans ce cas au niveau du trou de plantation seulement). Les agriculteurs ne possèdent pas de machines agricoles et font donc appel à un prestataire de services s'ils optent pour le labour mécanisé. Le parc d'engins agricoles étant limité et vieillissant, la disponibilité des machines n'est pas immédiate, et des retards se produisent souvent dans les interventions.

La plantation se fait au trou à raison d'un seul plant par trou. Ce dernier est creusé au pic ou au « chombo<sup>4</sup> » sur une profondeur d'environ 20 à 25 cm et une largeur de 30 à 40 cm (cf. planche à photos n° 2). Les densités de plantation conseillées par l'encadrement agricole sont de l'ordre de 20 à 25000 plants/ha.

---

<sup>4</sup> Le chombo est une sorte de coupe-coupe avec une lame de forme oblongue qui sert avant tout à couper, mais il est également utilisé pour creuser de petits trous et pour désherber les parcelles.

L'engrais et/ou le fumier sont apportés au trou avant plantation et mélangés manuellement à la terre. Un deuxième apport d'engrais NPK est généralement effectué après un désherbage. L'engrais est épandu autour du plant à la main et la quantité apportée varie d'une demi à une poignée par plant (10 à 15 g). L'apport d'engrais est suivi d'un binage autour du plant.

Le sarclo-binage est réalisé à l'aide du chombo et intervient deux à trois fois durant le cycle selon l'état d'enherbement de la parcelle.

L'irrigation est manuelle et se fait le plus souvent à l'arrosoir, avec un à deux apports d'eau par jour au trou de plantation. Les doses et fréquences d'apport varient entre agriculteurs. L'eau d'irrigation peut provenir d'une rivière ou d'un puits dans lesquels l'agriculteur puise directement (au seau ou avec une motopompe) ou l'eau est directement disponible au robinet sur l'exploitation si celle-ci se trouve dans un périmètre irrigué collectif.

La lutte contre les ravageurs et maladies de la tomate se fait surtout par des traitements chimiques en préventif avec un traitement en moyenne chaque semaine associant un insecticide et un fongicide. Les principaux ennemis de la tomate sont l'alternariose, la corynesporiose, l'oïdium, les acariens, la mouche de la tomate, les noctuelles et le flétrissement bactérien. La forte présence de *Ralstonia solanacearum*, agent du flétrissement bactérien, contraint au choix de variétés tolérantes ou résistantes à cette maladie et à des mesures prophylactiques (arrachage et brûlage des plants malades, rotation adaptée). Les agriculteurs pratiquent également un effeuillage sanitaire en éliminant régulièrement les feuilles tachées et sénescentes pour limiter la propagation des maladies fongiques (cf. planche à photos n° 4).

Les opérations de conduite de la végétation (tuteurage, taille, effeuillage, ébourgeonnage), sont avec l'arrosage, celles qui consomment le plus de temps.

- Le tuteurage : il permet de soutenir les tiges et d'éviter le contact des fruits et des feuilles avec le sol. Il a lieu généralement vers la floraison. Les agriculteurs utilisent pour cela des piquets en bois qu'ils vont cueillir en forêt.
- La taille : les plants sont taillés en laissant deux à trois tiges vigoureuses. L'intervention a lieu au moment du tuteurage. Cette opération vise surtout à obtenir de gros fruits.
- L'effeuillage : il a plusieurs objectifs dont le principal est de limiter la progression des maladies fongiques ou autres parasites sur les feuilles (sénescentes ou vertes). Il vise aussi, pour certains producteurs, à faciliter la pénétration des produits phytosanitaires au milieu des plantes, à réduire le volume de bouillie phytosanitaire, à faciliter la récolte ou encore à améliorer l'alimentation des fruits. Il démarre généralement tôt, avant la floraison, puis se répète après l'opération de taille au cours de la phase de grossissement des fruits et pendant la période des récoltes.
- L'ébourgeonnage : cette opération vise à maintenir deux à trois tiges fructifères par plante en éliminant régulièrement les bourgeons axillaires. Elle démarre après la taille et est pratiquée à plusieurs reprises, en même temps que l'effeuillage.

Les récoltes sont faites en général tous les trois à quatre jours. Les fruits sont cueillis entre les stades « tournant » (pointé orange à orange) et « rouge », suivant le mode de commercialisation (vente directe au champ, transport jusqu'au marché) et la demande des clients.

Ce mode de conduite « moyen » de la tomate montre un nombre élevé d'interventions manuelles, sur un cycle cultural court de quelques mois, dont certaines se répètent au cours du cycle. Il laisse à penser que ces techniques manuelles, notamment sur la végétation (taille, tuteurage, effeuillage, ébourgeonnage) auront un poids dans l'élaboration de la production. Par ailleurs, la diversité des exploitations maraîchères (décrite plus haut) laisse suggérer une diversité de modes de conduite de la tomate, qui n'est pas connue. Aussi, nous semble-t-il nécessaire d'évaluer les conséquences de ces pratiques manuelles et de comprendre les raisonnements techniques qui les sous-tendent dans le but d'améliorer les conditions du milieu et ses effets sur la production.



Comme nous l'avons mentionné en introduction, la variation des rendements n'est pas connue, faute de système de référencement des performances agronomiques à Mayotte, mais on suppose qu'elle est importante eu égard aux écarts de rendements constatés dans des essais agronomiques sur la station de Dombéni et dans des enquêtes culturales en 2002 et 2003 (0,6 t/ha à 40t/ha) (Mawois, 2003 ; Blondeau, 2004).

Selon plusieurs auteurs (Rudich and Luchinsky, 1985 ; Dumas *et al.*, 1994 ; Bezert *et al.*, 1999 ; Huat, 2006), les principaux facteurs limitant la production de la tomate en plein champ sont l'alimentation hydrique et minérale et le parasitisme. Ce dernier est particulièrement prégnant en zones tropicales humides chaudes, comme c'est le cas à Mayotte. Dans le diagnostic agronomique sur la variation des rendements, il conviendra donc de porter une attention particulière aux effets des stress hydriques et nutritionnels sur les composantes du rendement mais aussi à l'incidence des maladies et des ravageurs de la tomate sur les pertes de production. Sur ce dernier point, à notre connaissance, la littérature est pauvre sur les indicateurs d'évaluation de l'effet des maladies et insectes de la tomate de plein champ sur les composantes du rendement, *a fortiori* en milieu tropical.

## PLANCHE A PHOTOS N° 1

Opérations culturales : semis, trouaison



Semis en lignes en pépinière



Planche de semis



Abri contre fortes pluies et le soleil



Trou de plantation creusé au « chombo »



« Chombo »



Creusement du trou de plantation au pic

## PLANCHE A PHOTOS N° 2

Opérations culturales : préparation du sol, plantation, arrosage, sarclo-binage



Planche travaillée au pic  
Inter-rang non travaillé



Labour au pic au trou de plantation  
Fumier localisé au trou



Plantation en lignes simples  
Tuteurage sur piquet en bois



Plantation en rang (double ligne)



Arrosage au trou



Binage + effeuillage sanitaire

**PLANCHE A PHOTOS N° 3**  
**Opérations culturales : effeuillage-égourmandage, traitements, récolte**



Plantes totalement effeuillées à la base



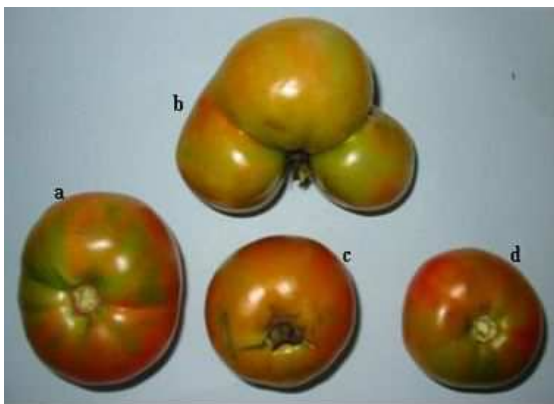
Chantier effeuillage-égourmandage



Traitement au pulvérisateur à dos

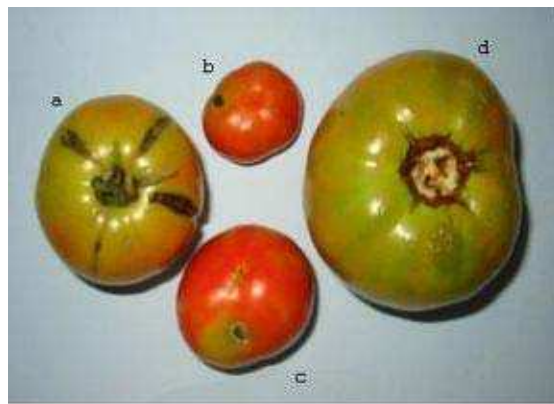


Corynesporiose sur feuille



**Fruits commercialisés**

a : fruit sains; b : fruit déformé; c : fruit fendu et cicatrisé; d : petite calibre mais >30mm



**Fruits non commercialisés**

a : fruit fendu; b : fruit < 30 mm; c : fruit troué; d : fruit pommé

## CHAPITRE III : POSITION DU PROBLEME ET HYPOTHESES DE TRAVAIL

La culture de la tomate à Mayotte fait appel à des pratiques de conduite de la plante encore mal connues dans le détail, qui semblent être raisonnées, non à partir de normes vulgarisées par les techniciens du développement, mais du « savoir faire » des paysans, et ce dans un contexte marqué par de fortes incertitudes pour l'accès aux ressources productives (foncier, intrants agricoles, main-d'œuvre, machines agricoles). Par ailleurs comme on l'a vu ci-dessus, les performances mêmes des systèmes de culture sont très mal connues.

**Notre question de recherche est de savoir comment se constituent les systèmes de culture de plein champ à base de tomate et quelles sont leurs performances face à des contraintes fortes d'accès aux ressources productives.**

Nous travaillons sur la tomate comme révélateur des performances des systèmes de culture du fait de sa place dominante dans les exploitations à Mayotte, mais aussi de son importance dans les agricultures familiales et manuelles des zones tropicales.

Afin de répondre à notre question de recherche, nous formulons deux hypothèses de travail :

- **Hypothèse 1** : La conception et la gestion des systèmes de culture maraîchers par les agriculteurs dépendent de l'accès des agriculteurs aux ressources productives, en particulier l'accès au foncier (taille, statut) et aux intrants (semences, engrais, eau). Il s'agit d'identifier pour la tomate comment sa localisation dans une parcelle et dans une succession de culture dépend de l'accès à ces ressources, mais aussi si une grande part de la diversité des modes de conduite de la tomate peut s'expliquer par le poids de l'insécurité sur les ressources.

- **Hypothèse 2** : La conduite de la végétation et la gestion de la pression parasitaire constituent des facteurs déterminants pour sécuriser la production et limiter la variation des rendements.

Concernant cette deuxième hypothèse, la description générale de l'itinéraire technique de la tomate à Mayotte a montré le poids des interventions manuelles sur la culture avec une pratique de la taille-égourmandage-effeuillage qui est assez inhabituelle en culture de tomate de plein champ (de type déterminé), et une fréquence de traitements phytosanitaires assez élevée avec des produits pas nécessairement adaptés du fait des modes d'approvisionnement et du manque de connaissances des agriculteurs en matière de techniques de lutte phytosanitaire. Les maladies foliaires et les ravageurs aériens, tout comme les opérations culturales sur la végétation (taille, égourmandage, effeuillage) ont vraisemblablement un effet sur la production par réduction du potentiel photosynthétique de la plante, mais aussi sur certaines composantes du rendement (réduction du nombre de tiges ou de fruits suite à une taille, chute de fruits suite à une attaque d'insectes, altération du feuillage suite à une attaque fongique...). Il s'agit donc d'analyser comment ces opérations de gestion de la végétation et du parasitisme peuvent agir sur des composantes du rendement, d'autant qu'il n'existe pas actuellement d'étude, à notre connaissance, permettant de connaître la hiérarchie des facteurs explicatifs de la variation du rendement de la tomate en parcelles paysannes.

Figure I-4 : Représentation de la démarche de recherche, niveaux d'analyse et résultats attendus.

<b>Niveaux d'analyse</b>	<b>Objets d'étude</b>	<b>Méthodes</b>	<b>Résultats attendus</b>
Exploitation sole à tomate	Organisation des systèmes de culture (à base tomate) Conduite de la culture	Enquêtes sur prises de décision Suivi des pratiques culturales Entretiens réalisation/prévision Bibliographie	Caractérisation de la diversité des systèmes de culture maraîchers et des modes de conduite  ↓ Formalisation des règles de décision (modèle d'action des agriculteurs)
Parcelle de tomate	Peuplement de tomate (champ cultivé) Conduite de la culture	Diagnostic agronomique Expérimentation (taille, phyto) Suivi des pratiques culturales	Facteurs explicatifs de la variabilité des rendements Références techniques sur l'effet de la taille

## CHAPITRE IV : DÉMARCHE GÉNÉRALE

### 1. Démarche

Notre travail de recherche s'inscrit dans une démarche scientifique qui consiste à combiner (i) une analyse compréhensive des décisions techniques des agriculteurs qui déterminent l'organisation des systèmes de culture maraîchers à base de tomate et la diversité des modes de conduite d'une culture (en l'occurrence la tomate de plein champ) avec (ii) l'évaluation de ces dernières sur l'élaboration du rendement de la culture. Ce type de travail, ainsi que la conception de nouveaux systèmes de culture (que nous n'abordons pas dans ce travail de thèse) caractérisent bien l'agronomie des systèmes de culture aujourd'hui à l'échelle de la parcelle agricole (Doré *et al.*, 2006).

Notre approche combine donc deux échelles d'analyse. La figure I-4 représente la démarche du travail de recherche.

- En partant d'une analyse à l'échelle de l'exploitation et de la parcelle, on cherche à comprendre la place de la tomate dans les parcelles maraîchères et dans les successions maraîchères et à renseigner les variables décisionnelles du système de culture hors itinéraires techniques (zone cultivable, délai de retour, couples précédent-suivant, nombre de cultures successives) et les principales règles de décision.
- Le suivi des pratiques sur deux campagnes culturales et l'analyse des écarts entre les actes cultureux effectivement réalisés par l'agriculteur et son plan prévisionnel doivent permettre d'identifier les règles d'adaptation de la conduite de la culture de tomate (positionnement dans le temps, modalités des opérations ...) et les pratiques qui auraient un poids sur l'élaboration du rendement. La formalisation des raisonnements techniques permet aussi de dégager les similitudes et les divergences entre agriculteurs du point de vue de la conduite culturale en fonction des objectifs et des ressources productives de l'exploitation (foncier, main d'œuvre, intrants ...).
- L'analyse faite sur le peuplement végétal, à l'échelle de la parcelle cultivée, porte sur l'évaluation des effets des pratiques paysannes en interaction avec le milieu sur le rendement, dans une gamme variée de milieux et de modes de conduite de la tomate. Nous avons mis en place en outre un dispositif expérimental pour fournir des références sur les effets de différents modes de conduite de la végétation sur la croissance et les composantes du rendement de la tomate.

Comme nous l'avons cité à plusieurs reprises précédemment, la conduite de la tomate se déroule dans un environnement économique et social incertain. Les notions de risque et d'incertitude en agriculture ont été empruntées aux travaux des économistes. Knight (1921) (cité par Brossier, 1986) envisage deux solutions qu'il distingue nettement, le cas de l'avenir risqué ou aléatoire d'une part et l'incertitude d'autre part :

- il y a risque si le décideur peut calculer objectivement la probabilité de réalisation de tel événement associé à telle décision ;
- si le décideur est incapable de calculer les probabilités associées, alors il se trouve en situation d'incertitude.

On peut aussi faire référence à la notion d'aléa qui peut être défini comme un phénomène résultant de probabilités fort variables et sur lequel l'individu n'a pas de prise, tel que le climat. Les discussions dans la communauté d'agronomes sur ces notions ont émergé dans les années 1980 en même temps que l'intensification, en France notamment, des recherches sur les pratiques agricoles et les systèmes de production. On cherche dès lors à comprendre comment les agriculteurs gèrent et intègrent les modifications et les aléas de l'environnement dans leurs décisions. Eldin et Milleville (1986) ont tenté

une synthèse sur le risque en agriculture à partir de nombreuses situations très diverses relevées dans de nombreuses contrées du globe. Ils relèvent l'énorme part de la subjectivité dans l'analyse du risque par les acteurs, cette dernière dépendant en effet de la façon dont les manifestations du risque sont perçues et de la projection qui en faite pour décider dans le futur.

Les agriculteurs exercent leur activité dans un environnement où le risque et l'incertitude s'imposent, y compris pour l'accès aux facteurs de production. Il en résulte de grandes difficultés pour planifier la répartition et l'affectation des ressources productives. Dans de telles conditions, il semble bien que les comportements techniques des agriculteurs procèdent plus de l'adaptation que de l'anticipation (c'est-à-dire la capacité à concevoir des alternatives pour différentes situations plus ou moins probables) (Eldin et Milleville, 1986). Le Moigne (1990), s'inspirant des travaux de l'économiste Simon, évoque la rationalité limitée du décideur pour expliquer que ce dernier, placé devant un univers complexe incertain, dispose d'une information limitée et choisit une solution paraissant satisfaisante par rapport à son objectif et la perception qu'il a du problème, et non une solution « optimale » à laquelle il n'aurait accès qu'en possession d'une information totale et certaine. Biarnès et Colin (1998) montrent également que l'efficacité des pratiques dans un contexte d'incertitude et de contraintes est très contingente du contexte dans lequel elles sont mises en œuvre.

Les études les plus récentes sur le risque et l'incertitude en agriculture s'inscrivent dans le champ de l'économie et l'adoption des innovations. Plusieurs auteurs (Mara *et al.*, 2003 ; Amir *et al.*, 2005) soulignent l'importance de l'information et l'apprentissage technique dans la réduction du risque et l'adoption d'une innovation technique.

L'analyse de la conduite de la tomate à Mayotte se situe dans la lignée des études empiriques consacrées au risque en agriculture. Elle repose sur la caractérisation de la situation des acteurs, des risques encourus, des pratiques et de leur efficacité. Compte tenu de la situation particulière du contexte socio-économique du maraîchage à Mayotte, de l'importance du risque et de l'incertitude dans une activité manuelle qui induisent des comportements techniques procédant de l'adaptation et/ou de l'anticipation, l'analyse des décisions techniques de conduite de la tomate nous apparaît comme pertinente et originale.

## 2. Concepts et méthodes mobilisés

### 2.1. Les concepts de système de culture et d'itinéraire technique dans notre situation

Le **système de culture** a été défini en 1974, puis modifié par Sebillotte en 1990 (Sebillotte, 1974, 1990). Il est défini comme : *« l'ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur des parcelles traitées de manière homogènes. Chaque système de culture se définit par : (i) la nature des cultures et leur ordre de succession, (ii) les itinéraires techniques appliqués à ces différentes cultures, ce qui inclut le choix des variétés pour les cultures retenues »*. L'**itinéraire technique** désigne quant à lui l'organisation des techniques appliquées à une culture, c'est-à-dire *« la combinaison logique et ordonnée de techniques mises en œuvre sur une parcelle en vue d'en obtenir une production »* (Sebillotte, 1974, 1978). Compte tenu du contexte particulier de l'agriculture mahoraise, fortement manuelle, il nous apparaît utile de préciser cette notion de **parcelle**. On distingue la parcelle cadastrale définie comme *« une pièce d'un seul tenant, dépendant de la même exploitation et entourée par des limites matérialisées ou simplement coutumières »* de la parcelle culturelle définie comme étant une *« pièce de terre d'un seul tenant portant, au cours du cycle cultural donné, la même culture ou la même association de cultures gérée par un seul individu ou par un groupe déterminé d'individus »* (Milleville 1972, 1976). Cette définition fait donc référence au cycle cultural comme échelle temporelle. Les limites de la parcelle peuvent persister en l'état tout au long d'une succession culturelle ou de la vie d'une exploitation, mais elles peuvent aussi être remaniées d'une année sur l'autre. En maraîchage où les cycles de culture sont généralement courts, plusieurs cultures (de la même espèce ou d'espèces différentes) peuvent se succéder tout au long d'une saison de culture et les limites de la parcelle initiale



peuvent être revues d'une succession à l'autre. La parcelle maraîchère s'entendra donc comme une surface de terre occupée par un peuplement végétal cultivé mono ou pluri spécifique, conduit de façon homogène au cours de son cycle cultural. Pour une date donnée de semis de tomate en pépinière, on a ainsi plusieurs parcelles si les plants sont transplantés par lot à des dates différentes au champ, ou si les parcelles sont bien séparées géographiquement les unes des autres sur l'exploitation.

## 2.2. Le concept de modèle d'action : de la stratégie à l'action

Dans la mouvance des travaux sur les théories de la décision (Simon, 1957) et la gestion des processus de production en entreprise industrielle (Berry, 1986), les agronomes ont proposé à la fin des années 80 un cadre général d'analyse des processus de décision des agriculteurs appelé « **modèle de l'agriculteur pour l'action** » ou « **modèle d'action** » (Cerf et Sebillotte, 1988 ; Sebillotte, 1990 ; Sebillotte et Soler, 1990). Ce cadre permet entre autres de rendre compte des décisions techniques liées à la gestion de la sole d'une grande culture (Aubry, 1995, Dounias, 1998), à celle des systèmes fourragers (Duru *et al.*, 1995 ; Girard et Hubert, 1999), ou encore pour l'organisation du travail (Papy *et al.*, 1988, Papy *et al.*, 1990, Navarrete, 1993 ; Le Gal, 1995) ou l'introduction d'une innovation technique (Mathieu, 2005 ; N'Dienor, 2006).

Le concept de modèle d'action est un cadre de représentation des décisions techniques de l'agriculteur qui comporte (Sebillotte et Soler, 1988, 1990 ; Duru *et al.*, 1988) :

- (i) un ou plusieurs objectifs généraux qui définissent le terme vers lequel convergent les décisions de l'agriculteur ;
- (ii) un programme prévisionnel et des états-objectifs intermédiaires qui définissent des points de passage obligés et des moments où l'agriculteur pourra faire des bilans pour mesurer où il en est de la réalisation de ses objectifs généraux ; se trouvent ainsi fixés des indicateurs qui serviront aux décisions ;
- (iii) un corps de règles qui, en fonction des événements perçus comme possibles par l'agriculteur, définit, pour chaque étape du programme, la nature des décisions à prendre pour parvenir au déroulement souhaité des opérations et la nature des opérations de rechange à mettre en œuvre si, à certains moments, ce déroulement souhaité n'est pas réalisable.

Ce concept rejoint le concept de système de culture en ce sens qu'il traite des décisions techniques relatives à l'allocation des ressources productives aux différentes productions de l'exploitation et à la conduite de ces productions, mais avec une analyse du point de vue de l'agriculteur.

Nous l'utiliserons pour comprendre comment les agriculteurs raisonnent la localisation et les successions de culture, ainsi que la conduite de la tomate.

## 2.3. Le diagnostic agronomique : évaluer les pratiques culturales

Le diagnostic agronomique constitue un des principaux outils pour l'évaluation des pratiques permettant à partir de l'analyse des composantes du rendement d'identifier *a posteriori* les facteurs du milieu et du système de culture qui ont influencé la production (Meynard et David, 1992). Cette méthode peut être réalisée à l'échelle régionale pour identifier et hiérarchiser les actes techniques responsables d'un problème agronomique dans une région (Doré *et al.*, 1997). L'identification des causes et des conséquences des problèmes nécessite des observations et des mesures dans un réseau de parcelles qui doit couvrir la diversité des combinaisons systèmes de culture - milieux représentatives de l'aire de cette culture dans la région d'étude. Les informations à recueillir sur les parcelles concernent à la fois des indicateurs d'analyse du champ cultivé (caractérisation des états du milieu et du peuplement au cours du cycle), des indicateurs d'évaluation des performances mais aussi l'enregistrement des techniques appliquées sur la culture (Doré *et al.*, 1997).

Tableau I-1 : Composition des échantillons d'exploitations à partir de la typologie de Soquet (2003).

Campagne 2003				
<i>Groupe typologique</i>	<i>B</i>			<i>C</i>
Type exploitation	b1	b2	b3	c
Surface moyenne exploitation en m <sup>2</sup> (coef. var. %)	2 335 m <sup>2</sup> (53%)	2 660 m <sup>2</sup> (47%)	1000 m <sup>2</sup>	6 600 m <sup>2</sup> (65%)
Main-d'œuvre	familiale (clandestine)	familiale	salariée (clandestine)	salariée (clandestine)
Nb exploitations suivies	8	3	1	3
Nb parcelles suivies	10	5	1	6
Campagne 2005				
Surface moyenne exploitation en m <sup>2</sup> (coef. var. %)	2 900 (5%)	1 950 m <sup>2</sup> (60%)	2 550 m <sup>2</sup> (79%)	8 000 m <sup>2</sup>
Main-d'œuvre	familiale (clandestine)	familiale	salariée (clandestine)	salariée (clandestine)
Nb exploitations suivies	2	15	2	1
Nb parcelles suivies	3	22	2	1



Cette méthode d'évaluation correspond aux attentes que nous nous sommes fixées en matière de diagnostic des causes de variation des rendements de la tomate à Mayotte, même si elle présente des limites à cause de la lourdeur du dispositif d'enquêtes et de sa réalisation sur un nombre d'années réduit (ce qui limite l'exploration de la variabilité climatique).

De nombreux travaux de modalisation du fonctionnement de la tomate (de type indéterminé) sous serre ont été entrepris (Gary *et al.*, 1995 ; Regat, 1997 ; Marcellis *et al.*, 1998 ; Heuvelink, 1999) pour mieux comprendre les mécanismes de croissance et d'élaboration du rendement à l'échelle de la plante et du peuplement végétal. Ces modèles permettent de simuler la production de biomasse totale, sa répartition dans la plante, et les teneurs en matière sèche des fruits dans des conditions variées de facteurs du milieu (rayonnement intercepté, température, humidité, CO<sub>2</sub> ...) et de pratiques culturales (densité de plantation, effeuillage, égourmandage, éclaircissage des bouquets, fertigation...). En revanche la littérature scientifique traite peu de la modélisation de l'élaboration du rendement d'une culture de tomate en plein champ (Brisson *et al.*, 1997). Du fait de l'impossibilité, dans le cadre de cette thèse, d'acquérir tous les paramètres nécessaires pour ces modèles agrophysiologiques (voire l'éventuelle restructuration nécessaire de ces modèles du fait du contexte), nous avons fait l'impasse sur leur utilisation dans notre démarche de compréhension des causes de variation des rendements de la tomate en parcelles paysannes. Ainsi, la forte variation du rayonnement intercepté par la tomate entre certaines parcelles, due aux associations culturales (cf. planche à photos n°4), rend obligatoire l'instrumentation de chaque parcelle. Par ailleurs, la fréquence d'enregistrement des données météo et des variables de fonctionnement du peuplement végétal (pas de temps journalier ou hebdomadaires) exigée par la plupart des modèles proposés, était incompatible avec les moyens logistiques dont nous disposions (Gary *et al.*, 1995 ; Brisson *et al.*, 1997 ; Heuvelink and Dorais, 2005).

### 3. Dispositif de recherche

Le dispositif de recherche repose à la fois sur des enquêtes auprès des exploitants, sur des suivis agronomiques du peuplement végétal et des états du milieu dans un réseau de parcelles, et sur des expérimentations en station et en parcelles paysannes. Les méthodes employées à chaque niveau d'étude sont détaillées dans les chapitres de résultats correspondants.

#### 3.1. Echantillonnage des exploitations

Les agriculteurs enquêtés ont été choisis sur la base d'une diversité de types d'exploitations susceptible de recouvrir la diversité des combinaisons systèmes de culture-milieux. L'enquête conduite sur le fonctionnement des exploitations maraîchères en 2002-2003 a permis d'identifier sept types différents qui ont été classés en trois groupes sur la base des caractéristiques de leurs ressources productives (capital, foncier, main d'œuvre) (Soquet, 2003) : groupe A des « peu intensifs », groupe B des « intensifs », groupe C des maraîchers « modernes ». Le groupe A ne cultivant presque pas la tomate, nous l'avons délaissé pour ne retenir que les maraîchers qui jouent un rôle important dans l'approvisionnement des marchés de proximité (bords des routes ou au champ) ou de gros (coopératives ou grandes surfaces), c'est à dire ceux des types B et C. Ces types sont aussi ceux sur lesquels les services de développement agricole s'appuient pour structurer et dynamiser la filière maraîchère. Les agriculteurs ont également été choisis sur leur volontariat et leur disponibilité, critère particulièrement important pour les membres du type b2 (clandestins). Les parcelles sont réparties sur toute l'île dans différentes situations agro-écologiques pour prendre en compte la diversité du milieu physique (carte 3).

Le tableau I-1 présente les caractéristiques des exploitations retenues et leur appartenance aux types. En 2003, 15 exploitations totalisant 22 parcelles ont été suivies. En 2005, 20 exploitations regroupant 28 parcelles ont été suivies dont 6 exploitations communes aux deux années. Notre choix initial était d'avoir des échantillons identiques d'une année à l'autre, mais nous n'avons pas pu le faire pour diverses raisons : certains agriculteurs n'étaient pas volontaires pour une deuxième année de suivi ou n'avaient pas prévu de produire de la tomate en 2005 ou avaient planté de la tomate très tardivement (problème d'approvisionnement en semences, de disponibilité de tracteurs). D'autres agriculteurs

(clandestins) n'avaient pas encore de parcelles disponibles lorsque nous les avons contactés et prospectaient un terrain auprès d'un propriétaire foncier.

Le nombre de parcelles peut paraître faible, mais il est dans la gamme des pratiques de recherche concernant aussi bien l'analyse des décisions techniques que le diagnostic agronomique régional.

La plupart des exploitations sont regroupées dans le centre de l'île et autour de Mamoudzou, c'est-à-dire dans les principales zones de production (carte 3). Les exploitations sont désignées par trois lettres. Lorsque plusieurs parcelles sont suivies dans une même exploitation, les trois lettres sont suivies d'un chiffre pour différencier les parcelles.

### 3.2. Dispositif général

Les parcelles qui ont été retenues pendant les deux années pour réaliser le diagnostic agronomique sur les causes de variation du rendement de la tomate sont les mêmes que celles qui ont été suivies pour décrire et analyser les pratiques de conduite de la tomate, soit 22 parcelles en 2003 et 28 parcelles en 2005. Les entretiens individuels auprès des exploitants sur leurs pratiques ont été combinés à des observations et mesures sur le peuplement végétal et le milieu pour pouvoir évaluer l'impact des décisions techniques sur les performances du système de culture, notamment en termes de rendement.

Une expérimentation a été conduite en station en 2004 pour évaluer l'effet de différents modes de conduite de la végétation de la tomate (avec et sans taille) sur la croissance et l'élaboration des composantes du rendement. Une autre expérimentation a été conduite en 2005 dans quatre des vingt-huit parcelles du réseau pour évaluer l'impact de deux stratégies de traitements phytosanitaires sur l'état sanitaire du peuplement végétal, en faisant l'hypothèse qu'en améliorant l'état sanitaire du feuillage, on augmente le nombre de fruits récoltés par pied et leur qualité (calibre et état sanitaire).

## 4. Présentation des résultats

Les résultats de la thèse sont organisés en trois parties selon notre démarche de travail exposée ci-dessus.

Dans la première partie, nous présentons la diversité des systèmes de culture à base de tomate en abordant de manière assez fine l'hétérogénéité des milieux cultivés et la variabilité des pratiques culturales, notamment en matière de conduite de la végétation. Nous analysons également comment les agriculteurs planifient la conduite culturale et prennent leurs décisions dans un contexte de production marqué par des incertitudes et des aléas.

Dans la deuxième partie, à partir des données recueillies dans les parcelles paysannes, nous mettons en évidence les facteurs à l'origine des variations de rendement de la tomate. Des résultats acquis en station sur les effets de différentes modalités de conduite de la végétation sur les composantes du rendement y sont également exposés et sont utilisés comme références pour le diagnostic en parcelles paysannes sur les pratiques agricoles.

L'ensemble des résultats est discuté dans une troisième partie. Nous revenons alors sur les hypothèses de recherche et les limites de notre étude par rapport aux objectifs que nous sommes fixés au démarrage de nos travaux. Les résultats sont examinés à la lumière de la bibliographie, puis nous exposons les perspectives de recherche et l'intérêt opérationnel de nos travaux pour le développement agricole.



**DEUXIEME PARTIE : CARACTERISATION DE LA  
DIVERSITE DES SYSTEMES DE CULTURE  
MARAICHERS INCLUANT LA TOMATE**





## CHAPITRE I : LA CONSTITUTION DES SYSTEMES DE CULTURE MARAICHERS DANS L'EXPLOITATION

L'étude typologique des systèmes d'exploitation maraîchers (Soquet, 2003) a permis de donner un aperçu de la diversité des systèmes de culture maraîchers et des incertitudes qui pèsent sur l'accès des agriculteurs aux ressources productives, notamment la terre et les intrants. Ces incertitudes peuvent influencer sur des éléments constitutifs du système de culture, tels que la localisation des parcelles, le choix variétal ou encore les techniques mises en œuvre sur les parcelles. Dans un tel contexte, nous cherchons à comprendre comment l'agriculteur articule la planification et le pilotage de la conduite de la tomate et gère son système de culture (Aubry *et al.*, 1998b). Après la présentation de la méthode choisie, nous abordons les contraintes de production auxquelles sont confrontés les agriculteurs et les manières dont ils répondent à ces contraintes. Nous enchaînons ensuite sur l'analyse de la conduite culturale de la tomate et la formalisation des règles de décision techniques pour la conduite de la culture.

### 1. Méthode

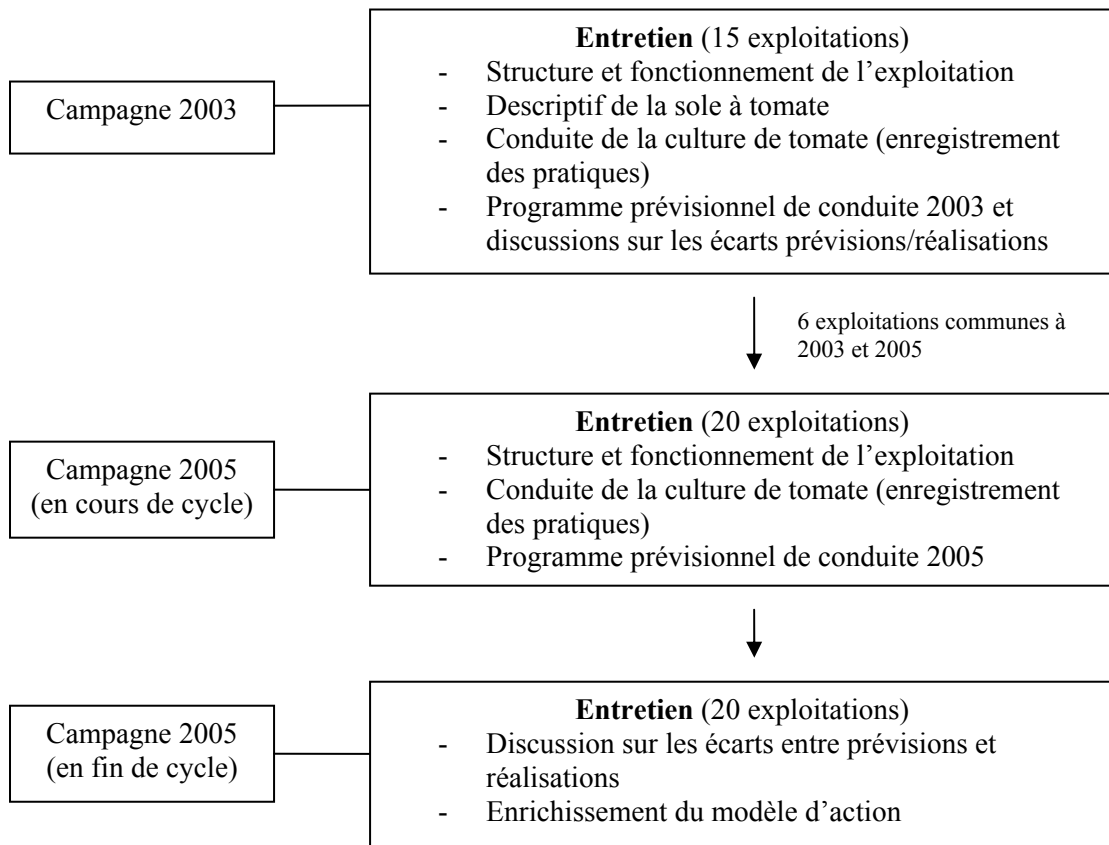
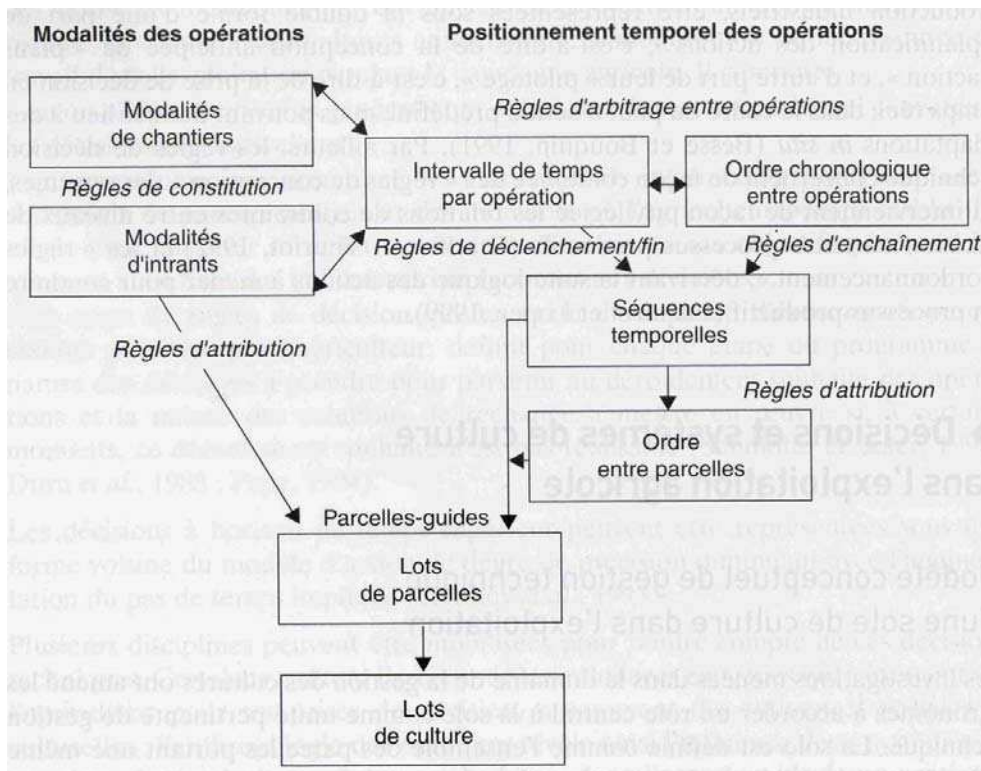
Nous avons choisi de conduire des enquêtes d'exploitation et de culture en 2003 et 2005 avec les objectifs suivants :

- décrire le fonctionnement global de l'exploitation agricole, notamment apprécier les ressources en main d'œuvre et les stratégies de l'agriculteur. Etant donné que l'agriculture est surtout familiale, la main d'œuvre devient très vite un facteur limitant à l'intensification. Les sujets abordés sont :
  - le parcellaire de l'exploitation et le statut du foncier, la superficie des parcelles suivies, les différentes activités de l'exploitant et ses objectifs, l'ancienneté dans la culture de tomate, l'accès à l'eau ;
  - les productions végétales et animales ;
  - la main d'œuvre de l'exploitation (familiale, salariée, entre-aide) ;
  - les temps de travaux et les coûts de production pour évaluer l'importance relative des différentes opérations culturales.
- identifier les déterminants des systèmes de culture quant à la localisation des parcelles en début de campagne, le choix des successions et des couples précédents-suivants, le nombre de cycles culturaux ;
- décrire les pratiques de conduite de la tomate (du semis à la récolte) et identifier les règles de décision de mise en œuvre des différentes opérations de conduite de la tomate dans chaque scénario. Nous avons enregistré pour cela la conduite prévisionnelle de la culture de la tomate exprimée par l'agriculteur et ses réalisations effectives. A chaque fois que c'était possible, nous avons suivi la première parcelle de tomate plantée dans la saison.

Pour analyser les raisonnements des actes techniques, nous nous sommes limités, par manque de temps, à suivre une seule parcelle de tomate et non la sole, ce qui peut restreindre notre compréhension du processus décisionnel. En effet, l'agriculteur gère un ensemble de parcelles et de cultures pendant toute la durée de la campagne en y affectant différentes ressources productives dont le travail. Néanmoins, notre enquête préalable de fonctionnement global nous permet de connaître la composition de cette sole.

Pour que les actes techniques soient pleinement révélateurs des décisions de l'agriculteur, il faut qu'ils soient replacés dans le fonctionnement de l'exploitation agricole et dans son histoire (objectifs poursuivis par l'exploitant, main-d'œuvre dévolue à l'activité maraîchère...). Comme le producteur est le mieux placé pour en parler, nous avons donc privilégié les entretiens directs avec lui.

Figure II-1 : Déroulement et contenu des enquêtes aux cours des deux campagnes de tomate.

Figure II-2 : Variables décisionnelles et règles de décision pour la gestion technique d'une sole dans l'exploitation selon Aubry *et al.*, 1998 ; Aubry et Dounias, 2005.

Lorsqu'il était absent lors de notre passage sur l'exploitation, nous avons néanmoins questionné la personne qui était en train de travailler dans la parcelle de tomate, puis nous avons vérifié ultérieurement les informations acquises auprès du chef d'exploitation lors du passage suivant.

### 1.1. Déroulement des enquêtes

Les enquêtes d'exploitations ont été effectuées auprès de 15 agriculteurs en 2003 et 20 agriculteurs en 2005, dont 6 communs aux 2 campagnes agricoles (Adb, Lep, Mhs, Ybo, Nba, Msa). Le suivi des pratiques culturales ont porté sur un total de 50 parcelles en 2 ans.

L'analyse sur les conduites a été réalisée en deux étapes (Figure II-1) :

- 1<sup>ère</sup> étape : faire exprimer à l'agriculteur son plan prévisionnel d'actions et la façon dont il compte mettre en œuvre les opérations culturales. Sont alors notées aussi bien les modalités de ses pratiques et leurs déterminants que la façon dont il raisonne le positionnement des opérations dans le temps.
- 2<sup>ème</sup> étape : enregistrer lors de nos différents passages ce qui a été effectivement réalisé sur l'ensemble des parcelles suivies, et discuter avec les producteurs sur ces réalisations et les éventuels écarts par rapport à leur plan d'action initial. En fin de campagne, il a été souvent difficile de mobiliser les agriculteurs pour discuter sur la comparaison de l'itinéraire technique total réalisé par rapport à l'itinéraire technique prévisionnel. L'analyse des écarts entre les deux a été néanmoins possible par étapes (analyses des écarts prévisions-réalisations aux différents passages).

La lourdeur des enquêtes ne nous a pas permis d'enquêter tous les agriculteurs avec le même niveau de précision et de passer chaque semaine dans toutes les parcelles. Les enquêtes ont eu lieu avec une périodicité de 10 à 15 jours. La quasi-totalité des agriculteurs ne notant aucune de leurs interventions, et comme nous ne pouvions pas être présent dans toutes les parcelles en même temps pour observer les pratiques, la qualité des informations recueillies *a posteriori* sur les pratiques repose entièrement sur la relation de confiance que nous avons construite avec les producteurs et sur le rythme rapproché des visites.

Les enquêtes ont été souvent réalisées avec un traducteur car une grande partie des agriculteurs suivis ne parlaient pas correctement français.

### 1.2. Concepts mobilisés

Comme nous l'avons vu précédemment, plusieurs concepts permettent de rendre compte des décisions techniques portant sur la gestion des ressources productives dans l'exploitation et sur la conduite technique des cultures. Ils constituent des outils pour représenter ces décisions d'une façon partageable entre l'agriculteur et l'agronome et constituent en cela des modèles conceptuels (Juristo et Moreno, 2000). Dans une exploitation agricole, contrairement à une entreprise industrielle, l'agriculteur est le décideur unique de diverses fonctions telles que le choix et la conduite technique des productions végétale et/ou animale, la gestion des équipements et des stocks... (Aubry, 1995, 2000).

De manière schématique, les décisions qu'il est amené à prendre sont classées en deux grandes catégories (Papy, 1995) :

- les décisions concernant la gestion stratégique de l'exploitation et qui portent généralement sur le long terme : choix des cultures, plan d'investissement, main d'œuvre... ;
- les décisions techniques qui portent sur l'allocation des ressources productives aux différentes productions de l'exploitation et sur la conduite technique de ces productions (tant prévue que réalisée). On s'intéressera à cette dernière catégorie et en particulier aux décisions de conduite de la culture de la tomate.

Nous utiliserons le modèle d'action (Cerf et Sebillotte, 1988, Duru *et al.*, 1988 ; Sebillotte et Soler, 1988, 1990) pour formaliser les raisonnements techniques des agriculteurs, et en particulier le

modèle de conduite technique d'une sole, et le modèle de décision sur les choix des rotations et de successions culturales (Aubry, 1995 ; Aubry *et al.*, 1998a). Ces modèles comprennent des variables décisionnelles, des règles de décision et des unités de gestion, de nature différente selon l'objet de l'analyse. Dans le cas des décisions techniques d'allocation des ressources en terre et de conduite technique, nous définirons ces éléments du modèle que nous adapterons le cas échéant à notre situation.

### 1.2.1. Le modèle de décision portant sur la localisation des cultures et les successions de culture

Dans l'exploitation, l'agriculteur doit décider de la surface et de la localisation des différentes cultures et de leur succession au cours du temps. Il doit donc organiser la ressource terre dans l'espace et dans le temps. Pour comprendre la localisation des parcelles et les successions de culture, un certain nombre de variables décisionnelles interdépendantes ont été définies pour chaque culture (Maxime *et al.*, 1995 ; Aubry, 1995 ; Aubry *et al.*, 1998a) : la zone cultivable (ZC), le délai de retour (DR), les couples précédents-suivants possibles, la taille de la sole. Ces variables ont été définies dans le cas de grandes cultures, c'est-à-dire dans le cas où le territoire d'exploitation est entièrement ou majoritairement constitué de terres labourables utilisées pour des cultures annuelles.

**La zone cultivable (ZC)** pour une culture donnée comprend les parcelles de l'exploitation jugées par l'agriculteur favorables à la culture, voire tolérables toujours selon lui. Cette zone cultivable peut être imposée ou limitée par des contraintes exogènes : par exemple une localisation de terrain imposée par le propriétaire foncier dans le cas du prêt du terrain à un agriculteur (cas des producteurs clandestins).

**Le délai de retour (DR)** est le délai séparant le retour d'une culture sur elle-même dans une même parcelle culturale. Il est le plus souvent fondé sur la notion de risques, notamment phytosanitaires, liée au retour trop fréquent d'une même culture sur une même parcelle. Cette variable décisionnelle a été définie dans le cadre d'études sur des cultures annuelles (Aubry *et al.*, 1998). En maraîchage où la plupart des cultures ont un cycle très court, une culture peut se succéder à elle-même pendant plusieurs cycles. Les travaux de N'Diénéor (2006) ont permis d'introduire une nouvelle variable : **le nombre de cycles successifs d'une culture sur l'année (NCS)** fortement lié à la longueur du cycle de la culture.

**Les couples précédents-suivants** possibles résultent du choix des effets précédents et suivants que l'agriculteur cherche à favoriser ou à éviter en fonction de ses objectifs de production. Il définit ainsi pour chaque culture un ensemble de précédents culturels possibles. Ces précédents peuvent aussi être imposés ou limités de façon exogène, afin d'éviter certains risques sur le produit.

**La taille de la sole** est définie comme l'ensemble des parcelles portant une même culture au cours d'une même année culturale sur une exploitation. Elle est contrainte par ZC et DR, le rapport ZC/DR constituant la taille maximale de la sole pour la culture. La taille réelle de la sole peut varier car elle dépend aussi des ressources disponibles dans l'exploitation (terre, travail...) et de contraintes exogènes (quota de production, surfaces imposées par contrat...).

A l'échelle de l'exploitation, l'agriculteur fait une hiérarchie entre les cultures pour l'affectation de la ressource terre. La mise en relation de ces différentes variables pour toutes les cultures permet de constituer des **blocs de culture**, définis comme « *un ensemble de parcelles de l'exploitation sur lesquelles est pratiquée une même rotation-cadre, c'est-à-dire un ensemble de successions de cultures très proches les unes des autres, car construites autour des mêmes cultures pivots* » (Maxime *et al.*, 1995). Ces rotations cadres sont fondées sur les cultures prioritaires pour l'agriculteur, d'autres étant interchangeables dans la succession.

### 1.2.2. Le modèle de conduite technique d'une sole

L'autre cadre formel pour l'analyse de la constitution des systèmes de culture est le modèle de conduite technique d'une sole. Si la parcelle cultivée est bien un lieu d'application des techniques culturales, elle n'est pas l'échelle unique de conception des conduites techniques de la culture pour l'agriculteur : en effet, pour une espèce cultivée donnée, celui-ci est généralement confronté à la conduite conjointe de plusieurs parcelles portant cette culture et dont l'ensemble constitue **la sole**. La sole est donc un objet de gestion technique ayant sa cohérence propre, dont dépend la conduite technique de chaque unité parcellaire. Les programmes prévisionnels de conduite peuvent s'exprimer sous forme de **variables décisionnelles**, de **règles de décision et d'unités de gestion** pour lesquelles un formalisme a été proposé (Aubry *et al.*, 1998 ; Aubry et Dounias, 2005) (Figure II-2). Pour chaque opération culturale, on représente notamment des variables et des règles portant sur :

- les **modalités possibles de l'opération** (nature et doses d'engrais par exemple) ;
- les **modalités des chantiers** (combinaison de main-d'œuvre et d'équipements pour réaliser une opération) ;
- la **structuration du temps** (règles de déclenchement et de fin d'opération, règles d'enchaînement entre opérations et entre lots de parcelles...) ;
- la **structuration de l'espace** qu'est la sole en lots de parcelles (ensemble de parcelles d'une sole recevant une même opération culturale à la même date et/ou selon les mêmes modalités) et en lots de cultures (ensemble de parcelles d'une sole qui, tout au long du cycle cultural, reçoit le même itinéraire technique, donc les mêmes opérations culturales aux mêmes dates et selon les mêmes modalités, c'est-à-dire qui appartiennent aux mêmes lots de parcelles au cours du cycle) ;
- et enfin **l'arbitrage** des priorités entre parcelles, voire entre cultures, pour des opérations concurrentes. L'arbitrage est une façon de structurer le temps, mais il peut aussi porter sur des quantités d'intrants.

Les deux modèles présentés ci-dessus proposent une représentation des décisions techniques des agriculteurs. Nous nous servons de ces acquis conceptuels pour analyser comment les agriculteurs-maraîchers conçoivent leurs systèmes de culture et pilotent particulièrement la conduite de la tomate dans un environnement marqué par des incertitudes pour l'accès aux facteurs de production.

## 2. Résultats sur la localisation des parcelles et le positionnement de la tomate dans les successions de culture

### 2.1. La constitution du territoire maraîcher de l'exploitation

Comme nous l'avons montré dans le chapitre précédent, le maraîchage est pratiqué par divers types d'agriculteurs dont des étrangers Anjouanais et Comoriens en situation de clandestinité. Le statut administratif de l'exploitant maraîcher détermine le niveau de stabilité de son territoire d'exploitation. Les mahorais qui exploitent des terres en tant que propriétaires au sens du droit commun ou du droit traditionnel ont une bonne assise parcellaire et un territoire d'exploitation stable. Cependant, la plupart des producteurs étant en situation irrégulière (type b2), ils doivent négocier chaque fin de campagne avec un propriétaire foncier la zone qu'ils pourront cultiver l'année suivante. Par conséquent, la maîtrise par ce type de producteur des précédents culturaux, des délais de retour de la tomate ou encore la localisation des parcelles<sup>5</sup> est incertaine et varie selon le type d'arrangement qu'il aura négocié avec le propriétaire pour obtenir un terrain.

---

<sup>5</sup> Nous rappelons que le terme de parcelle désigne ici une surface d'un seul tenant présentant une homogénéité de milieu et de conduite technique dont essentiellement le calage du cycle et la variété.

Tableau II-1 : Caractéristiques des différents groupes d'agriculteurs en termes d'accès au foncier.

Groupe foncier	Stabilité foncière	Maîtrise de la localisation des parcelles de tomate	Maîtrise des précédents culturaux	Nombre agriculteurs (%)	Type (Soquet, 2003)
Gf1 Cas des producteurs mahorais	Forte. L'exploitant bénéficie d'un titre de propriété ou d'un droit d'usage coutumier	Oui	Oui	17 (49%)	b1, b3 et C
Gf2 Prêt d'un terrain en échange de défriche	Faible. Le preneur change de terrain tous les ans ou 2 ans.	Rarement	Non	4 (11%)	b2
Gf3 Prêt d'un terrain en échange d'entretien (incluant défriche)	Moyenne. Le preneur occupe souvent le terrain plusieurs années.	Oui	Oui	9 (26%)	b2
Gf4 Location payante ou échange de service	Faible. Le terrain est offert au « plus offrant », et le preneur doit négocier chaque année l'occupation	Oui	Non	5 (14%)	b2

Nous avons élaboré une grille d'analyse du degré de stabilité de l'accès aux parcelles, et distingué quatre groupes (Tableau II-1).

**Le groupe 1** (Gf1) est constitué de Mahorais ayant une stabilité légale et sociale (types b1, b3 et C de la typologie initiale). Ils possèdent une assise foncière qui leur permet de gérer leur territoire d'exploitation sans contrainte extérieure. Ils peuvent choisir la localisation des parcelles de tomate et décider librement des délais de retour de la tomate sur les parcelles. Néanmoins un seul agriculteur de ce groupe dit affecter ses parcelles à la tomate en fonction du type de sol (« *sols riches sont pour la tomate car culture exigeante en nourriture* »). L'histoire culturelle de la parcelle est généralement connue.

**Les groupes 2 et 3** (Gf2 et Gf3) sont composés de clandestins. Comme tous les clandestins, ils n'ont aucune garantie d'occupation du foncier sur le long terme et doivent libérer le terrain si le propriétaire l'exige. Néanmoins, quel que soit le groupe d'appartenance, c'est toujours le producteur qui décide des cultures et de leur conduite. Les cultures pérennes ne sont cependant pas autorisées par le propriétaire (fruitiers, cocotiers...).

- Le groupe 2 montre un caractère très nomade des parcelles. Le producteur est obligé de changer de parcelle tous les ans ou tous les deux ans. Différentes raisons sont évoquées pour lesquelles le producteur est contraint de quitter le terrain et de trouver un autre propriétaire : désaccord des deux parties sur le partage des récoltes, projet d'extension de la zone cultivée par le propriétaire, jalousie du propriétaire, indemnisation insuffisante du propriétaire... Certains propriétaires accordent une parcelle en échange de la défriche de celle-ci, parcelle qu'ils reprendront après une ou deux campagnes pour étendre leur champ vivier (manioc, banane...). Dans ce contexte, le producteur n'a aucune prise sur les précédents cultureux.
- Les producteurs du groupe 3 sont présents à Mayotte depuis assez longtemps, et ils possèdent un réseau de relations sociales et une expérience avérée dans la production agricole. Ils revendiquent une certaine reconnaissance sociale par rapport à leurs compétences techniques. L'un des producteurs clandestins, installé à Mayotte depuis 1999, a accueilli par exemple pendant plusieurs années des élèves du Lycée agricole en formation. Ce statut social leur est favorable pour négocier des arrangements avec un propriétaire foncier et pour pouvoir exploiter finalement le même terrain pendant plusieurs années de suite. Leur stabilité foncière est beaucoup moins précaire que celle du groupe 2, et on peut identifier chez ces agriculteurs des règles de succession de culture et de localisation de parcelles.

Le passage entre ces deux groupes (2 et 3) est possible : par exemple du groupe 3 au 2 pour un agriculteur qui ne s'entendrait plus avec son propriétaire et qui change de village avec l'opportunité de bénéficier d'un terrain plus grand (cas de Pet) ; du groupe 2 au 3 pour un agriculteur qui réussit ses cultures plusieurs années de suite et qui indemniserait correctement le propriétaire. Le loyer de la parcelle peut être très élevé par saison : 75 à 150 euros pour une parcelle de 300 à 400 m<sup>2</sup> (Burnod, 2002).

**Le groupe 4**, comme les deux précédents, est composé de clandestins. Ici le terrain agricole est cédé par le propriétaire au plus offrant en termes de services ou de loyer payant. Si l'exploitant a une certaine maîtrise du choix de l'emplacement des parcelles de tomate pendant la saison de culture, il n'a pas le contrôle des précédents cultureux car l'occupation du terrain est renégociée chaque fin de saison et c'est un autre agriculteur qui peut recevoir le terrain en exploitation. Dans ce contexte particulier, les agriculteurs ne font pas du précédent culturel un critère de choix du terrain, même s'ils en ont connaissance. Ce sont souvent des terrains à défricher qui n'ont pas porté de cultures maraîchères depuis au moins un an.

Il n'y a généralement pas de dispersion des parcelles maraîchères au sein du territoire d'exploitation. L'agriculteur dédie un seul terrain aux cultures maraîchères dans l'exploitation avec des découpages internes correspondant aux différentes parcelles. Ces parcelles maraîchères sont toutes situées à proximité d'un point d'eau, condition indispensable à la pratique de l'activité maraîchère.

Tableau II-2 : Catégories de cultures maraîchères selon leur durée de cycle et les niveaux de consommation en intrants et en main-d'œuvre.

Catégorie	cultures	Durée cycle (plantation à début récolte)	Durée début à fin récolte de la parcelle	Niveau global intensification	Revenus possibles (€/m <sup>2</sup> )
Cycle court	Salade	1,5 mois	15 jours	Faible	1,2 à 4,4
	Pet-sai, chou de chine	1,5 mois	15 jours	Faible	1,4 à 4
	Brède mafane	1,5 mois	1 à 2 mois	Faible	1,6 à 4,5
	Brède morelle	1,5 mois	1 à 2 mois	Faible	1,3 à 4,3
	Haricot vert	2 à 2,5 mois	15 jours	Moyen	Nc
	Chou pommé	2 à 2,5 mois	15 jours	Moyen	Nc
	Courgette	1,5 à 2 mois	1 à 1,5 mois	Elevé	Nc
Cycle long	Concombre	2 à 2,5 mois	1 à 2 mois	Elevé	Nc
	Tomate	2,5 à 3 mois	1 à 2 mois	Elevé	1,1 à 6,3
	Aubergine	2,5 à 3 mois	1,5 à 3 mois	Moyen	Nc
	Piment	2,5 à 3 mois	2 à 3 mois	Faible	Nc
	Oignon	4 à 5 mois	15 jours	Moyen	Nc

Légende : Le niveau global d'intensification traduit les consommations relatives d'intrants (semences, engrais, fumier, pesticides) et le temps passé à l'entretien de la culture et à la récolte.

- Nc : non connu



Le type de sol, la pierrosité ou encore le statut des terres sont souvent homogènes au sein de l'espace maraîcher. Un autre critère de choix du terrain maraîcher est sa proximité d'une route pour faciliter le transport des productions, nombre d'agriculteurs ne possédant pas de véhicules pour acheminer les produits récoltés jusqu'aux marchés. Pour les individus des types b2, le terrain doit être cependant assez isolé de la route pour qu'ils soient moins exposés aux contrôles de police et de gendarmerie.

On peut donc dégager des règles de localisation des parcelles maraîchères communes à tous les agriculteurs et une spécifique à ceux des groupes fonciers Gf2, Gf3 et Gf4 :

- (i) Accès obligatoire à l'eau, avec des distances géographiques variables selon le système d'irrigation :
  - très proche si l'arrosage est manuel à partir d'un puits ou si l'eau est pompée dans une rivière ;
  - plus éloignée si l'arrosage se fait au tuyau (branchement sur un réseau hydraulique collectif par exemple) ;
- (ii) Si l'histoire culturale de la parcelle est connue et que certains endroits ont été très infestés par des parasites telluriques, tels que le flétrissement bactérien des Solanacées (*Ralstonia solanacearum*) ou des nématodes à galles (*Meloidogyne sp.*), ces endroits ne porteront pas de plantes sensibles en tête de rotation (exemple : pas de tomate après une culture de tomate ou d'aubergine ou de piment).
- (iii) Dans le cas des clandestins appartenant aux groupes Gf2, Gf3 et Gf4, la parcelle ne doit pas être visible de la route de préférence mais doit être néanmoins accessible à un véhicule pour évacuer la production.

En dehors de ces critères, il ne semble pas y avoir de localisation préférentielle des cultures dans le territoire d'exploitation, cela étant probablement relié à la relative homogénéité du sol au sein de la parcelle. En effet, la surface d'une parcelle étant très réduite, quelques dizaines de m<sup>2</sup> à quelques ares au maximum, il y a peu ou pas d'hétérogénéité apparente du sol.

La zone cultivable maraîchère comprend ainsi toute parcelle *a priori*, avec un accès à l'eau, et dans le cas des producteurs des groupes Gf2, Gf3 et Gf4 (représentant les clandestins), suffisamment isolée de la route.

## 2.2. Le choix des cultures

Les cultures sont choisies en fonction de leur durée de cycle, des exigences en main-d'œuvre et en intrants. On distingue d'une part les cultures à cycle long composées surtout de légumes fruits (tomate, concombre, courgette, aubergine, poivron...), et d'autre part les légumes à cycle court composés essentiellement de « légumes feuilles » (« brèdes » mafane et morelle<sup>6</sup>, salades, chou...) et de Cucurbitacées (courgette, concombre, melon...).

L'agriculteur perçoit la durée du cycle avant tout par le délai qui sépare le semis (direct en plein champ) ou la transplantation au champ de jeunes plants élevés en pépinière, de la première récolte. On commence à récolter les cultures dites de cycle court environ un mois et demi à deux mois après plantation, et celles dites de cycle long deux mois et demi à trois mois après plantation. Les Cucurbitacées sont intermédiaires entre ces deux groupes, mais nous les avons néanmoins classées dans le groupe des cultures à cycle court car l'occupation du terrain est de l'ordre de trois mois à trois mois et demi comme les brèdes.

Le tableau II-2 présente les deux catégories de légumes et les critères techniques et économiques qui leur sont associés. Nous avons cité seulement les légumes les plus cultivés à Mayotte sur les vingt-cinq à trente espèces cultivées localement.

<sup>6</sup> morelle: *Solanum nigrum*; mafane: *Spilanthes acmela*

Tableau II-3 : Catégories de culture et nombre moyen de cultures maraîchères pratiquées par type d'agriculteur.

Type agriculteur	Groupe foncier	Campagne 2003			Campagne 2005		
		catégorie de culture	Nombre moyen de cultures différentes (écarts)	Nombre agriculteurs	catégorie de cultures	Nombre moyen de cultures différentes (écarts)	Nombre agriculteurs
b1	Gf 1	CL, CC	6,8 (5 à 12)	8	CL, CC	11 (10 à 12)	2
b2	Gf 2				CL, CC	4,5 (3 à 7)	4
	Gf 3	CL, CC	6 (4 à 7)	3	CL, CC	6,3 (5 à 10)	6
	Gf 4				CL, CC	5 (2 à 10)	5
b3	Gf 1	CL, CC	5	1	CL, CC	5	2
C	Gf 1	CL, CC	11 (7 à 13)	3	CL, CC	13	1

Légende : CL = cultures à cycle long ; CC = cultures à cycle court.

Les légumes à cycle court permettent d'obtenir assez rapidement une trésorerie. Les légumes feuilles demandent peu d'engrais et de traitements phytosanitaires, contrairement aux Cucurbitacées. De plus, les agriculteurs produisent souvent eux-mêmes les semences (cas des brèdes mafane et morelle, de la laitue) qu'ils stockent pendant la saison des pluies. Ces critères économique et technique expliquent que les brèdes et les laitues se retrouvent souvent en tête de rotation en début de campagne de saison sèche : elles fourniront des entrées monétaires utiles pour le reste de la saison. Ce sont les spéculations préférées des agriculteurs du groupe A de la typologie initiale (Soquet, 2003). Comme la trésorerie est un moyen de se procurer des intrants et éventuellement du travail par le salariat, on retrouve également certaines de ces spéculations, et notamment les salades chez les agriculteurs qui intensifient (types B et C). La marge bénéficiaire de ces productions est également intéressante compte tenu que les coûts de production sont très faibles (Lecourtois, 2003) : 1,2 à 4,5 euros par m<sup>2</sup> selon le rendement obtenu. Cependant de nombreux agriculteurs cultivent des brèdes et les volumes produits par individu sont faibles.

Les agriculteurs n'expriment aucune règle particulière d'affectation de ces cultures à une parcelle précise, ceci étant vraisemblablement à relier à l'absence de parasitisme tellurique sur ces cultures et à l'homogénéité apparente du sol liée à la faible surface consacrée à ces cultures (quelques dizaines de m<sup>2</sup> à quelques ares au maximum).

Les légumes à cycle long permettent de dégager une meilleure marge par m<sup>2</sup> (1,1 à 6,3 euros par m<sup>2</sup> pour la tomate) (Lecourtois, 2003). Cependant, les besoins en intrants (semences, engrais, pesticides) et en main-d'œuvre d'entretien sont supérieurs à ceux des cultures à cycle court. De plus, ces cultures sont exposées à de nombreuses attaques de ravageurs et maladies et les interventions chimiques sont assez fréquentes en cours de cycle (tous les huit jours en moyenne pour la tomate par exemple). Si la marge bénéficiaire est potentiellement supérieure à celle des légumes à cycle court, le risque parasitaire est élevé et les attaques de ravageurs et maladies peuvent conduire à une production très faible voire nulle.

On distingue donc une règle de classement des cultures maraîchères en fonction de la durée du cycle, de la marge bénéficiaire, et des besoins en intrants et en main d'œuvre :















- les cultures à cycle court : un premier groupe composé surtout de légumes feuilles et de condiments (ciboulette, persil, ...) où les besoins en main-d'œuvre et en intrants sont faibles à moyens avec des marges moyennes à élevées ; un deuxième groupe composé de Cucurbitacées (courgette, melon...) et de Crucifères (chou) où les besoins en intrants sont élevés, de même que les marges brutes ;
- les cultures à cycle long : besoins en main d'œuvre et en intrants élevés, marge élevée ; on y trouve essentiellement des légumes fruits, bulbes et tubercules (oignon, pomme de terre).

Les agriculteurs des types c/gf1 et b1/gf1 sont ceux qui diversifient le plus les cultures et ont tendance à cultiver des espèces à cycle long dont les marges bénéficiaires sont les plus élevées même si la production est plus risquée. Ils visent la clientèle de « N'zungus » (terme désignant les métropolitains) qui ont un pouvoir d'achat élevé et qui ont une habitude de consommation régulière de légumes et fruits frais. Quelle que soit l'appartenance des agriculteurs enquêtés au « groupe de stabilité foncière » (cf paragraphe ci-dessus), c'est la recherche de cultures à haute valeur ajoutée qui prime (Tableau II-3).

En revanche, les agriculteurs des types b2/gf2 et b2/gf4, pour qui la situation foncière est la plus instable, sont ceux qui diversifient le moins les cultures.

Il n'y a pas de différenciation des cultures par rapport aux zones géographiques à l'échelle de l'île. On retrouve tout ou partie de ces cultures chez l'ensemble des producteurs avec une nette préférence pour les cultures à haute valeur ajoutée dont la tomate. Elle est souvent citée comme la culture prioritaire pour une raison économique essentiellement ("*c'est la culture qui rapporte le plus*"). La plupart des agriculteurs raisonnent alors l'implantation des autres cultures (dates de plantation, superficie...) en fonction des parcelles de tomates.

Figure II-3 : Différents systèmes de cultures maraîchers incluant la tomate.

SC	saison sèche n	saison des pluies n	saison sèche n+1
SC1	 		
SC2	 	 	 
SC3			   

	tomate		cultures non maraîchères (maïs, □)
	autres cultures maraîchères		interculture

Figure II-4 : Principales successions culturales incluant la tomate, rencontrées au cours des deux années de culture, par type d'agriculteur et groupe foncier

saison des pluies	saison sèche		saison des pluies	Nb de cas	%	Groupe foncier/type d'agriculteurs					
						gf1/b1	gf1/b3	gf1/c	gf2/b2	gf3/b2	gf4/b2
interculture	tomate	tomate	maïs	3	4%			X			X
	salade-brèdes	tomate	interculture	5	7%	X	X	X			
	salade	tomate	maïs	1	1%			X			
friche	tomate	cucurbitacées		5	7%				X	X	
	cucurbitacées	tomate	interculture	8	11%	X		X		X	X
interculture	tomate	brèdes		3	4%				X	X	
interculture	tomate	chou		6	8%			X	X	X	
interculture	tomate	interculture		4	6%	X	X	X			X
friche	tomate	interculture		9	13%	X	X		X	X	X
maïs-voeme	tomate	interculture		8	11%	X	X			X	X
maïs	tomate	maïs -voeme		5	7%	X	X		X		
interculture	tomate	maïs		4	6%	X		X			
friche	tomate	maïs		5	7%				X	X	X
riz	tomate		maïs	2	3%	X					
maïs	tomate	salade		1	1%	X					
manioc	tomate		maïs	1	1%	X					
friche	tomate	piment		1	1%					X	
	haricot vert	tomate	interculture	1	1%					X	

## 2.3. La place de la tomate dans le territoire maraîcher et dans les successions de culture

Les cultures maraîchères étant de cycle court, les successions de culture constituées dans les exploitations croisent de fait deux échelles de temps : l'infra-annuel et le supra-annuel, ce dernier donnant un cadre dans lequel les successions infra-annuelles sont raisonnées. Nous commençons donc par analyser et catégoriser les successions supra-annuelles.

### 2.3.1. *Les successions supra annuelles*

Trois grands types de systèmes de culture maraîchers sont rencontrés en saison sèche en fonction de l'occupation du sol pendant la saison des pluies (Figure II-3) :

- **Maraîchage / interculture / maraîchage (SC1)** : deux à trois cycles de cultures maraîchères peuvent être réalisés pendant la saison sèche. Les terres ne sont pas cultivées pendant toute la saison des pluies, puis sont à nouveau mises en culture la saison sèche suivante.
- **Maraîchage / culture non maraîchère / interculture / maraîchage (SC2)** : comme précédemment, plusieurs cycles de cultures maraîchères se succèdent durant la saison sèche. En fin de saison, une céréale ou légumineuse est installée (souvent du maïs ou du « voeme<sup>7</sup> » seul ou en association), suivie d'une période d'inter culture de un mois à un mois et demi jusqu'au démarrage de la campagne de saison sèche suivante. Pendant la saison des pluies, l'agriculteur s'occupe en priorité de ses parcelles vivrières (surtout bananiers et manioc) en s'adonnant à d'importantes opérations manuelles que sont le défrichage, le désherbage et la plantation. Ces cultures n'étant pas irriguées, il est donc important que les plantations se fassent pendant cette période, et l'agriculteur partage alors son temps inégalement entre le maraîchage et les cultures vivrières au profit de cette dernière. Ce sont essentiellement les Mahorais qui possèdent des champs vivriers.
- **Maraîchage continu (SC3)** : certains producteurs continuent à produire en saison des pluies en plein champ mais sur une surface réduite. Les espèces rencontrées sont la tomate, le concombre, l'aubergine et dans une moindre mesure les laitues type batavia. Cette pratique reste néanmoins marginale à cause des risques cultureux importants (pression parasitaire, dégâts dus aux pluies). Cependant, si les récoltes sont bonnes, le producteur peut en retirer un gain important car les prix à la vente sont élevés en cette période. Les producteurs clandestins qui ont une bonne technicité pratiquent souvent le maraîchage en saison des pluies pour son intérêt spéculatif mais aussi parce qu'ils n'ont pas de champ vivrier. S'ils ne peuvent pas cultiver en saison des pluies, ils s'impliquent dans une activité extra-agricole en attendant de reprendre le maraîchage la saison sèche suivante.

Au sein d'une même exploitation, on peut rencontrer ces différents systèmes de culture supra annuels (c'est par exemple le cas de Lep, Ybo, Ord, Nba ...). On rencontre surtout les systèmes SC1 et SC2. Le système SC3 n'est pas fréquent car il est très difficile de produire des légumes à Mayotte en plein champ en saison des pluies à l'exception de quelques espèces rustiques telles que l'aubergine et les brèdes. Les cultures sous abri sont par ailleurs encore très peu développées à Mayotte.

### 2.3.2. *La place de la tomate dans les successions infra année*

Les principales successions incluant la tomate, rencontrées sur les deux campagnes de production, sont indiquées à la figure II-4. Pour identifier les différentes successions, nous avons recensé les cultures présentes en saison des pluies sur les différentes parcelles maraîchères, et celles présentes en saison des pluies sur ces mêmes parcelles.

---

<sup>7</sup> haricot mahorais : *Vigna unguiculata*

Compte tenu du cycle de culture relativement long de la tomate (4 à 4,5 mois) et du risque d'avoir des sols fortement infestés par *Ralstonia solanacearum* (agent du flétrissement bactérien des Solanacées), les agriculteurs effectuent généralement un seul cycle de tomate sur la même parcelle (86% des cas) au cours d'une saison ; seuls trois agriculteurs affirment effectuer deux cycles successifs de tomate sur la même parcelle en saison sèche à cause du manque de surface cultivable.

En dehors d'une interculture ou d'une friche qui constituent le premier précédent culturel de la tomate (54% des cas), les cultures rencontrées avant la mise en place du 1<sup>er</sup> cycle de tomate en saison sèche sont des céréales (souvent du maïs, quelquefois associé au voame, et épisodiquement du riz pluvial) dans 25 % des cas, des Cucurbitacées (courgette, concombre, melon) dans 11 % des cas et de la salade dans 8% des cas.

La tomate est surtout plantée en début de campagne de saison sèche (vers mai-juin) en tête de rotation (80% des situations).

Les cultures rencontrées après la tomate en saison sèche sont le maïs (25% des cas), le chou (8%), les Cucurbitacées (7%), les brèdes mafane et morelle (4%), la tomate (4%) et la salade (1%). La parcelle est souvent laissée en friche après la culture de tomate jusqu'à la prochaine saison sèche (50% des cas).

Par interculture, nous désignons une courte période de quelques semaines à quelques mois, séparant deux cycles de cultures maraîchères, pendant laquelle la parcelle n'est pas cultivée et reste enherbée. Par friche, nous désignons une parcelle maraîchère non cultivée depuis au moins six à sept mois, soit au minimum la durée d'une saison de culture.

### 2.3.3. La place de la tomate dans les successions selon les catégories d'agriculteurs

On cherche ici à analyser les relations possibles entre les successions de culture incluant la tomate et les types d'agriculteurs ou les groupes d'accès au foncier présentés précédemment (Figure II-4).

Chez les agriculteurs du type C, on observe parfois deux cycles de culture de tomate par saison. En effet, ces agriculteurs intensifient leur système et diversifient les cultures en vue de satisfaire leur clientèle en termes de diversité de produits et de régularité de production. A l'opposé les trois agriculteurs du type b3, c'est-à-dire les doubles-actifs, ne font qu'un cycle de tomate en saison sèche par parcelle. Après la récolte, la parcelle est laissée en friche jusqu'à la prochaine saison. Ces agriculteurs du type b3 ont peu d'expérience agricole en maraîchage et ont tendance à s'appuyer sur les compétences techniques d'ouvriers clandestins qui travaillent pour eux. Il est assez courant que ces ouvriers quittent l'exploitation avant la fin de campagne pour cause de désaccord avec le propriétaire (lié à l'indemnisation, aux conditions de prêt d'un terrain, de partage des récoltes...). Les productions sur l'exploitation peuvent ainsi être très diversifiées et intensives selon l'investissement personnel que l'individu double-actif y consacrera, soit directement au travers de ses compétences et du temps passé sur l'exploitation, soit en recrutant du personnel qualifié. Il est à noter qu'une partie des doubles actifs (non représentés dans notre échantillon) sont des techniciens salariés d'organismes agricoles (Daf, Conseil Général) et possèdent par conséquent une expérience avérée en production végétale. Les double-actifs se spécialisent généralement sur quelques productions et ne diversifient pas à outrance.

Chez les agriculteurs du type b2, c'est-à-dire les clandestins, le profil des successions est différent selon la durée d'occupation du terrain par l'agriculteur :

- Dans le groupe Gf2 où les agriculteurs changent souvent de terrain (après quelques années de culture), on observe deux cas de figure : i) un seul cycle de tomate puis le terrain est laissé en friche ou planté en maïs de saison des pluies, ii) ou deux cycles successifs de cultures maraîchères comprenant un cycle de tomate suivi d'une culture à cycle court (brèdes, chou, concombre). Dans tous les cas, l'agriculteur défriche la parcelle pour planter en priorité de la tomate.
- Dans le groupe Gf3 où les agriculteurs ont une certaine stabilité foncière, on observe surtout deux cycles de culture en saison sèche (55% des cas) avec différentes combinaisons : tomate-concombre

ou courgette, tomate-chou, haricot-tomate, concombre-tomate, tomate-brèdes, tomate-piment, tomate-tomate. La tendance est à l'intensification, les agriculteurs recherchant le profit maximal. Lorsque la parcelle ne reçoit qu'un seul cycle de tomate en saison sèche, soit elle est laissée en friche en saison des pluies, soit cultivée en maïs.

- Dans le groupe Gf4, où les agriculteurs n'ont pas la certitude de cultiver le même terrain l'année suivante, la succession type qui se dégage surtout est « interculture/friche-tomate-interculture », soit un seul cycle de tomate en saison sèche. Il est rare d'observer une autre culture en succession avec la tomate (concombre-tomate). Les autres espèces cultivées sur l'exploitation (sans rotation avec la tomate) sont la laitue, le concombre, la courgette, les brèdes (mafane, morelle, pet-saï) et occasionnellement l'oignon, le melon, le piment et le chou. La tomate reste la culture pivot. Les brèdes sont surtout destinées à la consommation familiale.

## 2.4. Délais de retour et précédent

Les agriculteurs expriment fréquemment des **règles de délai de retour** (« *au moins un ou deux ans entre deux tomates* ») et des **règles de précédent-suivant** (« *pas deux cultures de la même famille à la suite* »). Lorsque le délai de retour est de deux ans, la parcelle reçoit l'année suivante deux à quatre cycles de cultures maraîchères à cycle court (salades, brèdes, chou, oignon vert...). On retrouve souvent deux à trois cycles de salade, suivis d'une autre culture à cycle court (brèdes, pet-saï...) ou deux à trois cycles de ces différentes cultures (exemple courgette ou concombre puis laitue ou brèdes...).

Si le délai est de un an, on retrouve souvent le même type de succession l'année suivante.

On observe parfois un décalage entre le conseil technique (« *pas deux cultures de la même famille qui se suivent...* ») et la pratique paysanne concernant les règles de délai de retour et de précédent-suivant. Les agriculteurs citent souvent les recommandations des techniciens de la DAF ou des groupements professionnels mais certains producteurs ayant des surfaces relativement faibles ou spécialisés en tomate (Ord, Mhs, Aso) ne suivent pas toujours cette règle par manque de foncier, même s'ils disent qu'il est préférable d'attendre deux ans entre deux cultures de tomate. Néanmoins, cette pratique est assez rare : dans seulement 4% des cas, on a recensé une plante de la famille des Solanacées (tomate, aubergine, piment) avant ou après la tomate.

L'agriculteur qui plante tomate après tomate décale les trous de plantation du deuxième cycle de culture par rapport à ceux du premier pour tenter de limiter les attaques de parasites telluriques et pour mieux exploiter les potentialités nutritionnelles du milieu.

On constate également parfois un décalage entre ce que les agriculteurs disent vouloir planter après une culture et ce qu'ils plantent réellement. Ils expliquent ce décalage par le fait qu'ils avaient des semences disponibles à un moment ou alors des plants en pépinière prêts à être transplantés au champ. Ces pratiques traduisent un **comportement opportuniste** face au choix des cultures et des successions culturales ainsi qu'une adaptation au manque possible d'intrants (ici semences).

Certains agriculteurs, en particulier les clandestins qui changent souvent de parcelles, ne savent pas toujours ce que la parcelle a porté avant et ne se préoccupent pas de le savoir. Leur objectif premier est de pouvoir obtenir un terrain pour y cultiver des légumes.

On peut donc dégager une règle générale en matière de délai de retour et de précédent-suivant annoncée par la plupart des agriculteurs : au moins un à deux ans entre deux cycles de tomate sur la même parcelle et jamais deux cultures de la même famille des Solanacées qui se suivent. Les exceptions à cette règle ne concernent que trois successions recensées au cours des deux années de suivi (tomate-tomate, tomate-aubergine, piment-tomate).

Tableau II-4 : Nombre moyen de parcelles cultivées en tomate par type d'agriculteur et leur appartenance à un groupe foncier donné sur les campagnes 2003 et 2005.

Type/groupe foncier	b1/gf1	b2/gf2	b2/gf3	b2/gf4	b3/gf1	C/gf1
Nb moyen de parcelles	3,0	2,8	3,2	2,8	2,0	5,5
Coefficient de variation	79%	46%	64%	30%	0%	52%
Nombre agriculteurs	10	4	9	5	3	4

Tableau II-5 : Place de la tomate dans l'exploitation maraîchère en 2003 en termes de surfaces et de nombre de parcelles.

code agri	type	surface maraîchère (m <sup>2</sup> )	sole tomate (m <sup>2</sup> )	Nombre parcelles	Part de la tomate (%)
NOU	b1	400	210	2	53%
ZMO	b1	885	580	2	66%
SMA	b3	1000	850	2	85%
ASO	b2	1500	1230	3	82%
SSA	C	1800	480	2	27%
MBO	b1	2000	300	1	15%
YBO	b1	2000	250	2	13%
MHS	b2	2500	1750	7	70%
ADB	b1	3000	1470	3	49%
NAI	b1	3000	1540	4	51%
HAT	b1	3400	2000	1	59%
ZAL	b1	4000	3800	9	95%
LEP	b2	4000	1260	2	32%
NBA	C	8000	1420	6	18%
MAS	C	10000	2740	9	27%



## 2.5. Nombre de cycles de culture de tomate

### 2.5.1. La sole de tomate

Comme nous l'avons évoqué précédemment, la plupart des agriculteurs pratiquent plusieurs cycles de tomate en saison sèche en les répartissant sur différentes parcelles à différentes dates. La sole de tomate (NC sole), autrement dit le nombre de parcelles cultivées en tomate dans l'exploitation durant la saison sèche, varie de 1 à 9 (3,2 en moyenne) selon l'agriculteur. En regroupant les agriculteurs par type d'exploitation et par niveau de maîtrise du foncier, on note alors une occupation foncière plus ou moins importante en tomate (Tableau II-4).

Les agriculteurs du type C sont ceux qui ont le plus de parcelles de tomate, vraisemblablement lié à la plus grande surface dont ils disposent et à leur stratégie de vente. Les agriculteurs du type b3/gf1 ont deux parcelles de tomate en moyenne alors que les autres groupes de producteurs ont en moyenne environ trois parcelles.

Le tableau II-5 donne les surfaces maraîchères et celles de la sole de tomate pour les quinze exploitations suivies en 2003 (ces données n'ont pas été enregistrées en 2005). Les surfaces maraîchères sont très variables d'un producteur à l'autre, de 400 m<sup>2</sup> à 10 000 m<sup>2</sup>, avec une moyenne de 3 166 m<sup>2</sup> (CV= 83%). Les individus du type C exploitent en effet des surfaces nettement supérieures à celles des autres types, ce qui est en cohérence avec la typologie réalisée par Soquet (2003), avec toutefois une forte variabilité au sein d'un même type.

La surface de la sole de tomate est variable, allant de 210 m<sup>2</sup> à 3 800 m<sup>2</sup> (CV = 75%). Elle dépendrait des ressources productives disponibles dans l'exploitation (terre, travail). Chez les producteurs qui ont une faible surface maraîchère (< 1 000 – 1 200 m<sup>2</sup>), la part de la sole de tomate dans l'exploitation est importante (en pourcentage), et le producteur réalise seul l'ensemble des opérations culturales. *A contrario*, ceux qui ont une sole de tomate relativement importante (> 1 000 m<sup>2</sup>) sont contraints de faire appel à de la main-d'œuvre extérieure (entraide ou salariée ou familiale). En effet, selon les enquêtes que nous avons menées, un individu peut gérer seul au maximum 800 à 1 000 m<sup>2</sup> de cultures maraîchères de plein champ. Pour la tomate, les travaux les plus exigeants en main-d'œuvre sont les opérations de conduite de la végétation (taille-tuteurage-effeuillage-ébourgeonnage) et l'irrigation. Pour une parcelle de tomate de 250 à 300 m<sup>2</sup>, on estime à 4-5 équivalents jours de travail par mois les opérations de conduite de la végétation et un peu plus pour l'irrigation (5-6 équivalents jours, voire plus si l'irrigation se fait deux fois par jour) soit plus du tiers du temps de travail d'un individu. Les interventions sur la végétation s'effectuent à partir de la floraison jusque vers le début de récolte, soit pendant un mois et demi à deux mois environ, ce qui oblige à une disponibilité forte de main-d'œuvre à cette période et d'éventuels arbitrages au sein de l'organisation du travail dans l'exploitation. Sur l'exploitation, l'agriculteur gère différentes cultures en même temps dont la tomate. Chez les agriculteurs qui travaillent seuls sur leur exploitation ou qui recrutent peu de main-d'œuvre extérieure, ce fort besoin en main-d'œuvre pour la taille et l'irrigation de la tomate oblige à limiter la taille de la parcelle de tomate et à étaler les dates de plantation pour éviter des pics de travail auxquels ils ne pourraient pas faire face sans recruter du personnel.

Le pourcentage de surface cultivée en tomate en 2003 par rapport à la surface totale consacrée au maraîchage est indiqué au tableau II-5. On constate une forte variabilité de la part de la tomate au sein du parcellaire de maraîchage allant de 13% à 95% sans que l'on puisse relier ces variations à la taille de l'exploitation ou à des stratégies de diversification ou de spécialisation de l'agriculteur. En effet, chez des agriculteurs qui ont une grande surface maraîchère (> 3 000 m<sup>2</sup> par exemple), on observe une part réservée à la tomate de 18 à 95%. Chez ceux qui ont une surface maraîchère inférieure à 1 000 m<sup>2</sup> (Nou, Zmo, Msa), la sole tomate varie entre 53% et 85%. Le fait de se spécialiser en tomate peut présenter une prise de risque importante notamment sur le plan phytosanitaire, la tomate étant exposée à tout un cortège de ravageurs et de maladies. La diversification permet de limiter cette prise de risque.

Figure II-5 : Illustration de deux stratégies de gestion du calendrier des plantations de tomate : l'étalement et la concentration des plantations.

**Cas de Zal - type b1 (2003) - étalement des plantations de tomate**

Cultures/parcelle	mars	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
tomate		P			R					
			P		R					
				P		R				
					P		R			
						P		R		
							P		R	
								P		R
concombre			P		R					
concombre				P		R				

**Cas de Ybo - type b1 (2003) - concentration des plantations de tomate**

Cultures/parcelle	mars	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
tomate				P		R				
brèdes, laitue		P	R		P	R		P	R	
			P	R		P	R		P	R
oignon			P				R			
concombre, courgette							P		R	

**Cas de Smd - type b2 (2005) : concentration des plantations de tomate**

Cultures/parcelle	mars	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
tomate				P		R				
concombre							P		R	
brèdes			P	R		P	R			
concombre				P		R				
laitue							P	R		
brèdes							P	R		
maïs									P	
laitue				P	R	P	R			
melon, pastèque					P		R			

Légende : P = Plantations ; R = Récoltes

C'est ce que pratiquent les producteurs du type C et certains du type b1, mais pour des raisons liées essentiellement aux besoins de leur clientèle. La part de la tomate dans l'exploitation semble être plutôt reliée aux stratégies de commercialisation de l'agriculteur ; c'est ce que nous verrons au paragraphe suivant.

### 2.5.2. Nombre de cycles successifs de tomate sur la même parcelle

Le nombre de cycles successifs sur une même parcelle (NCS parcelle) dépend fortement de la date de mise en culture de la parcelle. Compte tenu de la durée de la saison sèche qui varie approximativement de sept à huit mois en fonction du régime pluviométrique de l'année, l'intervalle de temps entre deux cycles successifs de tomate est de un mois et demi à deux mois au maximum. Entre deux cultures, l'agriculteur doit désherber la parcelle et la débarrasser des résidus de culture du premier cycle, puis effectuer les trous de plantation manuellement. Chez les agriculteurs que nous avons suivis, aucun labour mécanisé du sol n'a été réalisé avant le deuxième cycle de tomate contrairement au premier. En effet, compte tenu que les parcelles de tomate sont relativement petites et que le reste de la zone cultivable maraîchère est cultivée en autres légumes en début de saison, le tracteur peut difficilement manœuvrer sur le terrain sans abîmer les cultures déjà en place. L'agriculteur préfère donc préparer manuellement le sol pour le deuxième cycle de tomate. L'intervention du tracteur en début de campagne couvre l'ensemble de la zone cultivable maraîchère, et non seulement la ou les parcelles destinées à être cultivées en tomate.

Si la première culture de tomate a été mise en place assez tôt pendant la saison sèche, soit au cours du mois d'avril et au plus tard à la mi mai, alors un second cycle de tomate pourra être réalisé et être achevé au plus tard au début du mois de décembre, avant les grosses pluies et les fortes chaleurs caractérisant la saison des pluies. Mais la date de première mise en culture dépend d'un certain nombre de facteurs exogènes à l'exploitation :

- la durée et l'intensité de la saison des pluies,
- la date de ressuyage des terres (qui est liée au facteur précédent),
- la date de passage du tracteur (si le labour mécanique a été choisi par l'exploitant),
- la disponibilité en semences.

Dans notre échantillon, seuls trois producteurs (Zal, Ord, Mas) ont réalisé deux cycles successifs de tomate sur la même parcelle (NCS = 2). Les producteurs concernés par la double culture « tomate-tomate » ont une logique d'intensification et de profit maximum (« *il faut produire tôt ou tard dans la saison pour gagner de l'argent ...* »). Un deuxième cycle de tomate est également mené si la parcelle n'est pas infestée par *Ralstonia solanacearum*, ce que les producteurs évaluent par le nombre de plants flétris au cours du premier cycle de culture.

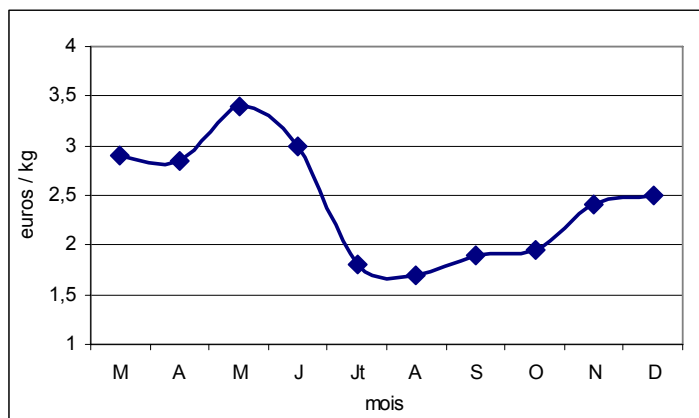
Le manque de surface cultivable et la nécessité d'échelonner les récoltes peuvent ainsi conduire certains agriculteurs à réaliser deux cycles de tomate sur la même parcelle. Dans ce cas, la superficie effectivement cultivée en tomate est égale à la superficie de la parcelle de tomate (ZC tomate) multipliée par le nombre de cycles successifs (NCS parcelle). Cette notion de « surface développée » (Navarrete et Le Bail, 2006) concerne davantage les cultures à cycle très court telles que la laitue ou les brèdes mafanes où trois cycles successifs de ces cultures sur la même parcelle ont été observés chez plusieurs des agriculteurs suivis (Figure II-5).

La double culture « tomate-tomate » n'est cependant pas une pratique généralisée : les agriculteurs préfèrent réaliser l'étalement de la production en jouant sur le « NCsole » que sur le « NCS parcelle ». Cela signifie qu'au lieu de faire deux cycles successifs de tomate sur une même parcelle, l'agriculteur va réaliser deux plantations sur des parcelles différentes à des dates espacées. Ainsi, le NC sole correspondrait en fait à des séquences de semis. Pour pouvoir étaler les semis et les dates de plantation, l'agriculteur doit découper sa parcelle maraîchère en un certain nombre de petites parcelles sur lesquelles il réalisera des successions de culture avec un seul cycle de tomate par saison (NCS = 1).

Tableau II-6 : Etalement des périodes de plantation de la tomate sur l'exploitation durant la saison sèche en fonction du type d'agriculteur.

code agri	type	groupe foncier (gf)	Année	fév	mars	avril	mai	juin	juillet	août	sept	oct	nov	déc
ADB	b1	1	2003											
HAT	b1	1	2003											
MBO	b1	1	2003											
NAI	b1	1	2003											
NOU	b1	1	2003											
YBO	b1	1	2003											
ZAL	b1	1	2003											
ZMO	b1	1	2003											
ADB	b1	1	2005											
SMA	b1	1	2005											
YBO	b1	1	2005											
SAA	b2	2	2005											
SMD	b2	2	2005											
SMY	b2	2	2005											
SSO	b2	2	2005											
ASO	b2	3	2003											
LEP	b2	3	2003											
MHS	b2	3	2003											
ABH	b2	3	2005											
ABS	b2	3	2005											
ALI	b2	3	2005											
LEP	b2	3	2005											
ORD	b2	3	2005											
ZKY	b2	3	2005											
ALA	b2	4	2005											
CBK	b2	4	2005											
INR	b2	4	2005											
MHS	b2	4	2005											
PET	b2	4	2005											
SMA	b3	1	2003											
ARI	b3	1	2005											
MAS	C	1	2003											
NBA	C	1	2003											
SSA	C	1	2003											
NBA	C	1	2005											

Figure II-6 : Evolution du prix de vente de la tomate bord champ (en euros/kg) en cours d'année (source : Lubac, 2002).



Les agriculteurs évitent donc de faire deux cycles successifs de tomate sur la même parcelle pour des raisons sanitaires essentiellement (risque accru des bioagresseurs). La pratique de la double culture (NCS parcelle = 2) correspondrait à une forme d'adaptation à l'incertitude sur la ressource foncière (l'agriculteur ayant moins de surface qu'il pensait en avoir, parcelles à précédent inconnu) face à l'opportunité économique d'étaler la production pour bénéficier de prix élevés sur la saison.

## 2.6. Cycles de cultures et périodes de plantation : deux stratégies

Dans notre échantillon, la période des plantations s'étale de mars à octobre avec toutefois une concentration de mai à juillet (Tableau II-6), et donc des récoltes s'étalant de mai à décembre avec une concentration sur les mois de juillet à septembre. Pendant le pic de production, les prix sur les marchés sont au plus bas comme le montre la figure II-6 (Lubac, 2002).

On observe globalement deux stratégies quant aux choix des dates de plantation (cf annexe 3) : soit l'étalement, soit la concentration des dates de plantation.

- Parmi les producteurs qui **concentrent** les dates de plantation, on distingue différents groupes :
  - La plupart des agriculteurs (7/11) qui appartiennent aux types b1/gf1 et b3/gf1 : ce sont en général des producteurs ayant des petites surfaces ou dont les cultures sont très diversifiées. Ils essaient de positionner la tomate de façon décalée par rapport aux autres cultures car c'est celle qui demande le plus de travail.
  - Les agriculteurs du groupe b2/gf2 : ce sont les clandestins qui changent souvent de terrain et doivent le défricher pour l'occuper, ce qui explique que les plantations ne peuvent démarrer avant la fin de la saison des pluies. Les plantations ont lieu entre le mois de mai au plus tôt et le mois d'août.
- Les producteurs qui au contraire **étaient** les dates de plantation (mars à octobre) le font par intérêt commercial essentiellement (prix de vente de la tomate élevés en début et en fin de saison) ou parce qu'ils gèrent une grande diversité de cultures sur l'exploitation. Ces producteurs ont généralement de grandes surfaces (type C/gf1, Zal du type b1/gf1) et/ou se sont spécialisés dans la culture de tomate (type b2/gf3 : cas de Aso, Abs, Lep, Mhs, Ord, Inr, Zky).

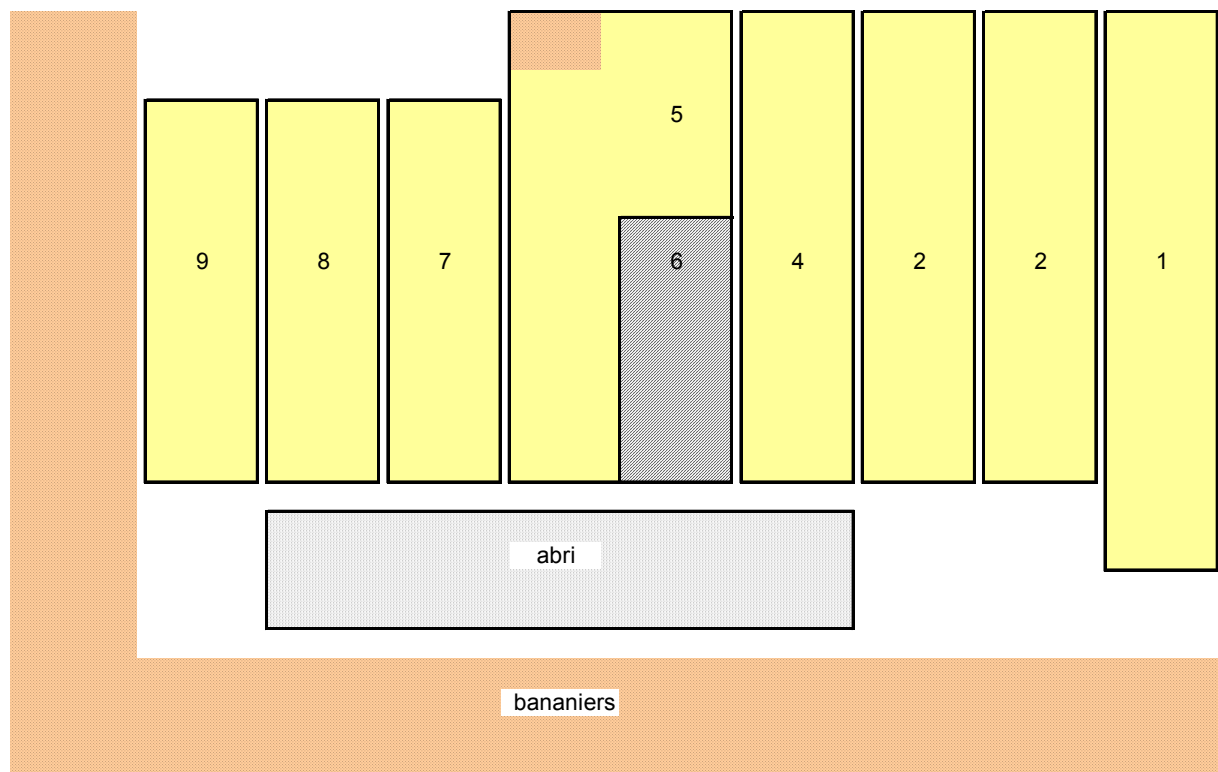
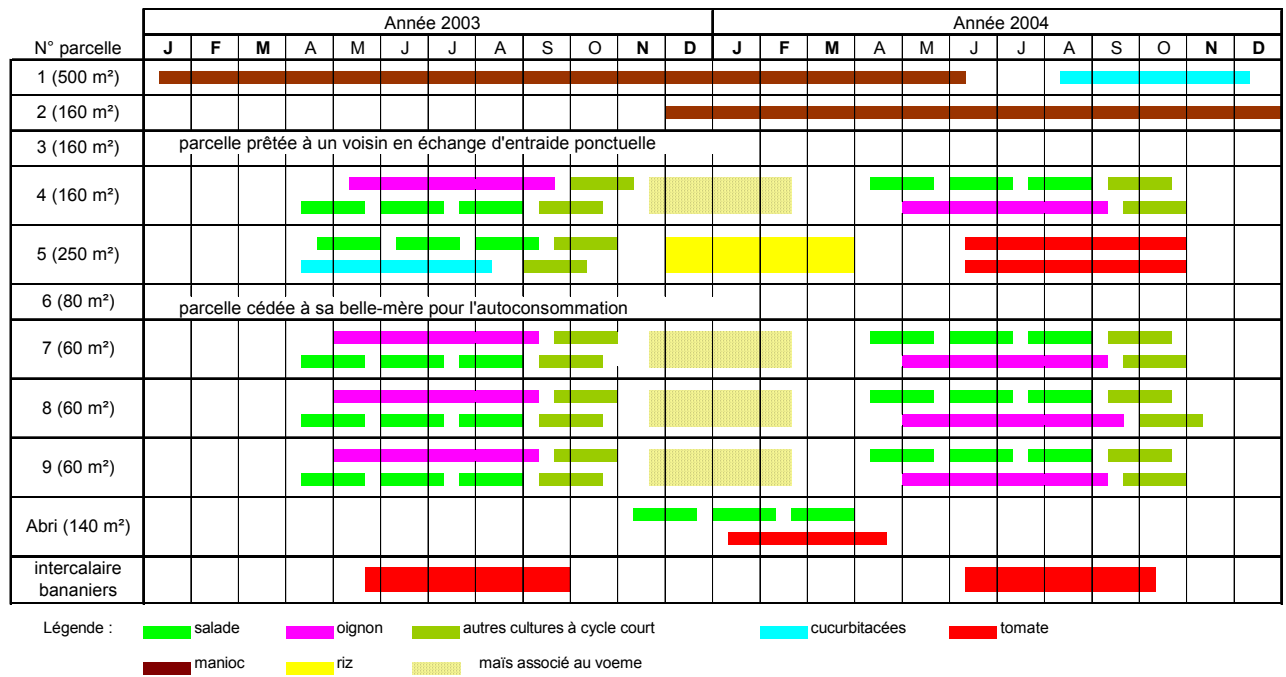
A ces stratégies, s'ajoutent des comportements "opportunistes". Un manque de trésorerie, ou la disponibilité en semences ou encore la date de passage du tracteur, peuvent parfois entraîner des retards dans les dates de mise en place des cultures.

## 2.7. Illustration de la localisation des parcelles par une étude de cas

L'agriculteur **Ybo**, âgé de 58 ans, est mahorais. Il appartient au type b1/gf1 et son exploitation maraîchère se situe dans le sud de l'île, en zone sèche. Il a commencé à faire du maraîchage en 1988 au sein d'un groupement de producteurs et a fortement développé son activité à partir de 1996 en accédant à un terrain qu'il exploite depuis individuellement. Son épouse participe de temps en temps aux activités maraîchères.

Il travaille à temps plein en agriculture. En plus de l'exploitation maraîchère, il possède une parcelle de 3 000 m<sup>2</sup> environ de cultures vivrières (bananiers essentiellement et manioc), un grand verger « créole » de 5,5 ha (manguiers, orangers,...) et plusieurs zébus. La place que représente l'activité fruitière s'illustre bien par cette phrase : *"Avant 1996, je plantais des arbres, mais maintenant je mets seulement les zébus dans le champ à pâturer et je récolte sur les arbres pour vendre. J'ai arrêté de planter depuis 1996 et ne m'occupe pas des fruitiers"*. Le maraîchage est donc sa principale activité : *"je me consacre au maraîchage : ça rapporte beaucoup et je gagne plus qu'avec le reste"*.

Figure II-7 : Représentation de la zone cultivable maraîchère de Ybo en 2003-2004.



Le territoire maraîcher s'étend sur 2000 m<sup>2</sup> environ sans dispersion dans l'espace des parcelles (Figure II-7) : il s'agit en fait d'un champ d'un seul tenant avec des découpages internes. Il a attribué une parcelle à un membre de sa famille et une autre à un ami : l'une de 80 m<sup>2</sup> environ est exploitée par sa belle-mère pour sa consommation personnelle de légumes, et l'autre parcelle (160 m<sup>2</sup>) a été prêtée à un voisin en échange de son aide pour la préparation des planches de culture. La surface cultivée en maraîchage s'étend donc sur 1 760 m<sup>2</sup>. Elle est située en bordure de route, ce qui favorise la vente et le transport des légumes récoltés. Par ailleurs, Ybo dispose d'une conduite d'amenée d'eau sur la parcelle, ce qui lui permet d'arroser au tuyau ses cultures. Il ne fait pas appel à de la main-d'œuvre salariée. En plus de l'aide que lui apporte quelquefois son voisin, il accueille régulièrement des stagiaires du lycée agricole en formation pratique sur l'exploitation.

Ybo pratique un maraîchage intensif et très diversifié. Il s'agit pour lui de « *produire un peu de tout en petites quantités* » pour pouvoir offrir à ses clients une gamme de légumes et limiter également les risques de mévente. Tomate, concombre, courgette, laitue sont les principales cultures. Mais on trouve aussi des brèdes, du chou, de l'oignon... La tomate est sa culture prioritaire pour des raisons financières mais aussi commerciales : "*ça rapporte beaucoup et tout le monde aime les tomates*". La laitue occupe aussi une place importante "*ça ne demande pas beaucoup de travail et c'est facile à vendre*".

On retrouve dans l'exploitation l'ensemble des systèmes de culture cités précédemment :

- du maraîchage en saison sèche avec une rupture de culture de plusieurs mois en saison des pluies (SC1) ;
- du maraîchage en saison sèche suivi d'une culture non maraîchère en saison des pluies et d'une phase de repos très courte du sol avant la campagne de saison sèche de l'année suivante (SC2) ;
- du maraîchage en continu avec de la tomate et de la laitue sous abri en saison des pluies (SC3).

Les principales successions rencontrées sur l'exploitation ainsi que la répartition des cycles de culture dans l'année sont indiquées à la figure II-7.

Ybo a ainsi cultivé de la tomate sous abri en saison des pluies 2002/2003 et a été confronté à des problèmes de moelle noire ayant fortement affecté son rendement.

Il a défriché et désherbé les parcelles de bananiers situées autour des parcelles maraîchères afin d'étendre le territoire maraîcher, ce qui explique la plantation de tomate en intercalaire des bananiers.

Les cultures non maraîchères mises en place pendant la saison des pluies sont le maïs en association avec le voeme (légumineuse) et le riz. Ybo justifie son choix par intérêt agronomique et alimentaire : ces cultures "*refertilisent*" la terre et limitent la croissance des mauvaises herbes, et sont surtout destinées à l'autoconsommation et très peu à la vente.

Les successions indiquées sur la figure II-7 sont les principales rencontrées en saison sèche. En effet, les cultures à cycle court sont cultivées sur des planches de 7 à 8 m<sup>2</sup> si bien qu'il ne paraît pas possible de restituer l'ensemble des successions planche à planche. Mais d'une manière générale, on rencontre trois à quatre cultures à cycle court se succédant sur une planche (la laitue étant répétée trois fois), l'oignon ou une Cucurbitacées (concombre ou courgette) suivi d'une culture à cycle court. En revanche, on observe un seul cycle de tomate par parcelle sur la saison. Comme beaucoup d'autres producteurs, Ybo adopte un **comportement adaptatif** : il plante en fonction des semences dont il dispose et qui sont disponibles sur le marché. On constate tout de même un étalement des plantations à cycle court permettant une récolte étalée sur toute la saison. Par contre comme nous l'avons vu précédemment, celui-ci concentre ses plantations de tomate de manière décalée des autres productions ; de ce fait, il a planté en juin et la tomate n'est pas précédée ou suivie d'une autre culture.

Ybo évoque des règles de délai de retour "*au moins 2 ans pour la tomate*" et des règles de précédent/suivant "*pas deux fois la même culture au même endroit (sauf pour les salades)*". Par contre, contrairement à beaucoup, il ne met jamais de Cucurbitacées juste avant ou après la tomate.

Dans le cas de Ybo qui a une stratégie de diversification pour limiter les risques de culture et de mévente de ses produits, on assiste à un découpage important de la zone cultivable maraîchère. Les parcelles sont généralement petites, de l'ordre de quelques dizaines de m<sup>2</sup> à quelques ares. Le découpage peut aller jusqu'à des unités encore plus petites, par exemple la planche de laitue ou de brèdes de plusieurs m<sup>2</sup>. Si on regarde la parcelle 4, on constate que nous avons deux sous-parcelles : l'une cultivée en oignon puis en brèdes, l'autre reçoit trois cycles successifs de laitue suivis d'une autre culture à cycle court. Ces deux sous-parcelles ont un même précédent cultural (maïs associé au voeme).

L'exemple de cet agriculteur illustre bien la complexité des systèmes de culture maraîchers. Dans son cas, la disponibilité foncière et la stratégie commerciale déterminent fortement le choix des espèces et le nombre de cycles de culture sur la saison.

Cette première analyse des déterminants constitutifs des systèmes de culture a permis d'identifier certaines règles de décision quant au choix et à la localisation du terrain à cultiver, des successions de culture, des espèces à cultiver et du nombre de cycles de culture de la tomate sur la saison. Sur ce dernier point, nous avons vu que l'incertitude sur l'accès au foncier (manque de surface, précédent inconnu), pour une certaine catégorie d'agriculteurs, pouvait se traduire par des tailles de sole maximisées par rapport à la surface maraîchère disponible et par la succession de deux cultures de tomate sur la même parcelle (NCS = 2). Ces décisions de successions qui peuvent entraîner notamment des risques phytosanitaires différents se traduisent, elles, par des conduites techniques différentes, et comme nous l'analyserons dans une partie ultérieure par des différences d'états du peuplement, du milieu et de répercussions sur le rendement.

Dans le prochain chapitre, nous verrons comment les agriculteurs prennent leurs décisions pour la conduite culturale de la tomate et comment l'incertitude sur l'accès à des ressources productives marque les pratiques.



## CHAPITRE 2 : FORMALISATION DE LA CONDUITE CULTURALE DE LA TOMATE DE PLEIN CHAMP

Après un bref exposé des concepts utilisés, cette partie présente les résultats de la représentation des modes de conduite de la tomate par les agriculteurs sous la forme d'un ensemble de variables décisionnelles, de règles de décisions et d'unités de gestion. On cherche à proposer un modèle de conduite de la tomate suffisamment général, prenant en compte l'ensemble des problèmes que les agriculteurs ont à résoudre à l'échelle de la campagne agricole. Pour cela, nous analysons le modèle de conduite prévisionnelle de la culture de tomate d'un agriculteur, et discutons des sources de variation de ce modèle entre agriculteurs, opération culturale par opération culturale. Cette analyse doit nous aider à mettre en évidence :

- les différents itinéraires techniques mis en œuvre par les agriculteurs et les raisonnements techniques qui les sous-tendent ;
- les problèmes de décision liés aux incertitudes d'accès aux ressources productives qui pèsent sur les agriculteurs ;
- les solutions développées par ces derniers pour répondre à ces problèmes et leur formalisation sous forme d'un système de règles de décision.

### 1. Concepts et formalisation des résultats

Pour comprendre comment les agriculteurs raisonnent leurs décisions techniques pour la conduite de la culture de tomate à l'échelle de la parcelle et de la saison de culture, nous nous appuyons sur le concept de modèle d'action. La formalisation des processus décisionnels fait appel à différentes catégories de variables décisionnelles et de règles de décisions mises en évidence dans des travaux antérieurs et jouant un rôle dans la gestion technique d'une culture (Aubry *et al.*, 1998, Dounias, 1998 ; Mathieu, 2005). Les différents types de variables et de règles de décisions qui sont présentés ci après tiennent compte de ce niveau d'analyse (Aubry, 1995).

- **Les variables décisionnelles** sont les variables qui définissent l'objet sur lequel porte la décision (une opération par exemple) et ce que l'agriculteur doit décider (des dates, des doses par exemple). Elles décrivent d'une part les modalités de réalisation d'une opération (avec la constitution de chantiers possibles), et d'autre part son positionnement dans le temps, avec notamment la définition de l'intervalle de temps possible d'une opération (IT).
- **Les règles de décision** sont de plusieurs catégories selon les variables qu'elles contribuent à déterminer. On distingue au moins deux types de règles : **celles qui jouent sur le positionnement des opérations dans le temps et celles qui jouent sur leurs modalités.**
  - Concernant les règles de positionnement dans le temps des opérations, on distingue classiquement :
    - Les règles d'enchaînement qui définissent l'ordre de succession des opérations culturales parmi les possibles sur chaque parcelle (qui peut éventuellement varier selon les situations).
    - Une autre catégorie de règles permet d'organiser et de structurer le temps en dépassant l'échelle de la parcelle. Elle regroupe les règles de déclenchement et les règles de fin qui, pour un ensemble de parcelles de tomates à l'échelle de la saison de culture, conditionnent le début et la fin d'une opération (au sein de l'intervalle de temps IT défini pour cette opération) le plus souvent à l'atteinte d'une valeur seuil pour un

indicateur (date calendaire, stade repère...). Ainsi, le début des plantations sur la saison culturale est dépendant d'un évènement climatique (fin de la saison des pluies qui se traduit par un sol ressuyé). La règle de fin des plantations s'exprime généralement par un mois calendaire, celui de septembre, qui doit permettre de récolter les fruits avant les premières grosses pluies marquant le démarrage de la saison des pluies.

- Concernant les règles relatives aux modalités des opérations, on distingue :

- Les règles de constitution de chantiers déterminent les mobilisations des moyens en main d'œuvre et en matériel, pour la constitution des chantiers possibles pour réaliser une tâche culturale. « *Une tâche culturale peut être constituée d'une succession d'opérations élémentaires à réaliser à la suite les unes des autres de façon très rapprochée* » (Dounias, 1998). Le chantier précise le matériel et la main d'œuvre nécessaires à la réalisation d'une opération.

- Les règles précisant les modalités (nature, doses etc.) d'une opération comportent les règles de constitution des modalités d'une opération et les règles d'attribution des différentes modalités constituées aux parcelles (ou aux sous unités de gestion)

- Une catégorie transversale de règles est représentée par **les règles d'arbitrage**, qui peuvent jouer entre cultures et/ou entre opérations pour une culture. Cela n'implique pas nécessairement un ordre chronologique entre les opérations soumises à l'arbitrage, c'est-à-dire que cela ne se traduit pas par un enchaînement unique sur toute la portion d'espace concernée ni sur toute la durée des IT concernés. L'arbitrage peut aussi se traduire par l'interruption d'une opération sur un espace afin de démarrer ou de poursuivre une autre action qui est prioritaire sur les autres. C'est-à-dire que pour une opération, on peut avoir plusieurs règles d'arbitrage : O1 est prioritaire sur O2 pendant la période [t1, t2] sur l'espace (ensemble de parcelles ou ensemble de planches par exemple) considéré, puis O2 (ou O3) devient prioritaire sur O1 pendant [t2, t3].

Ces notions d'arbitrage existent fortement au niveau de la sole (une opération entre plusieurs parcelles), voire entre soles (des opérations ou la même entre plusieurs cultures), mais aussi au niveau de la parcelle (entre différentes unités de gestion : le « trou », les lignes ou planches de plantation) comme nous le verrons plus loin.

Dans notre cas, ces règles sont activées lorsque plusieurs opérations sont concomitantes, que leur enchaînement ne peut pas être défini à l'échelle des unités de gestion concernées et qu'elles ne peuvent pas être menées ensemble (manque de moyens pour les mener simultanément donc chantiers mobilisant, pour partie au moins, les mêmes matériels et/ou la même main-d'œuvre) : on a alors concurrence réelle entre ces opérations, et donc nécessité de définir des priorités dans le temps et dans l'espace. Pour des opérations concomitantes portant sur la conduite de la végétation (tuteurage, taille, effeuillage, égourmandage), l'agriculteur définit une succession entre opérations à l'échelle de la parcelle, et il peut arbitrer en faveur de différentes unités de gestion. Par exemple, certains agriculteurs vont s'organiser pour que ces opérations de conduite de végétation s'enchaînent dans un même chantier à l'échelle du plant, par contre de ce fait ils arbitrent au sein de la parcelle, en découpant des sous unités de gestion pour ces opérations (les lignes ou planches qu'ils traitent ensemble). D'autres agriculteurs peuvent s'organiser différemment pour enchaîner les opérations à l'échelle d'une sous unité de gestion par exemple : ils réalisent le tuteurage pour tous les plants de la planche, puis la taille, puis l'effeuillage.

- Les **unités de gestion**. L'agriculteur structure la parcelle de tomate en plusieurs unités spatiales sur lesquelles les opérations sont faites à un moment donné. L'unité élémentaire de gestion est le trou (ou le plant en ce sens qu'on ne repique qu'un seul plant par trou). Une unité surfacique plus importante est la planche ou lignes de plantation qui est en fait une sous parcelle et à un niveau plus englobant, on a la parcelle où certaines décisions techniques culturales trouvent leur application (travail mécanisé du sol, désherbage, ...). Ces unités sont aussi bien des unités de conception des opérations que des unités d'application des techniques.

## 2. Formalisation du modèle d'action de conduite prévisionnelle de la tomate

Pour illustrer les différents aspects de la culture pour lesquels l'agriculteur est amené à faire des choix et prendre des décisions, nous avons choisi de présenter l'exploitation de Lep où sont posés la plupart des problèmes de conduite rencontrés séparément dans les autres exploitations.

L'écriture du modèle de décision, c'est-à-dire des variables décisionnelles, des règles de décision, des éventuelles unités de gestion, à partir de l'exemple de l'exploitation de Lep, est complétée par une analyse comparée des autres agriculteurs enquêtés. Le modèle général peut être évalué en montrant d'une part la possibilité d'utiliser un formalisme commun des variables et règles de décision sur ces exploitations, d'autre part l'existence de métarègles, c'est-à-dire des règles de décision avec un contenu commun à l'ensemble des agriculteurs (Dounias, 1998).

Les premières enquêtes ne nous ont pas toujours permis de bien cerner, ni de dégager le programme prévisionnel de l'agriculteur. Le contenu des règles de décision a été déduit à partir du suivi des pratiques au cours des deux années d'enquêtes, notamment celui de l'année 2005 où les enquêtes ont été plus approfondies, avec des passages réguliers tous les dix jours en moyenne permettant ainsi d'avoir des prévisions à court terme des opérations.

### 2.1. Présentation de l'exploitation de Lep

Vulgarisateur agricole pendant douze ans, puis agriculteur maraîcher en Grande Comores d'où il est originaire, Lep est arrivé clandestinement à Mayotte en 1999. Sa famille de Lep est restée en Grande Comores où il transfère régulièrement de l'argent pour aider la dizaine de personnes qui sont sous sa dépendance. Il cultive surtout des légumes à fort potentiel de rendement (concombre, tomate, courgette) et faciles à vendre. Mais, il produit aussi d'autres légumes en petite quantité pour satisfaire une clientèle de métropolitains (radis, haricot vert, betterave, navet, laitue). Ce sont des cultures à cycle court qu'il peut inclure dans ses successions de culture pendant la saison sèche. Lep a acquis une bonne expérience dans la culture de la tomate et jouit d'une bonne réputation dans son village. Il bénéficie d'un droit d'exploitation d'un terrain maraîcher d'environ 3000 m<sup>2</sup> en échange de services rendus au propriétaire (gardiennage, entretien du champ vivrier). Il dispose par conséquent d'une assise foncière assez stable.

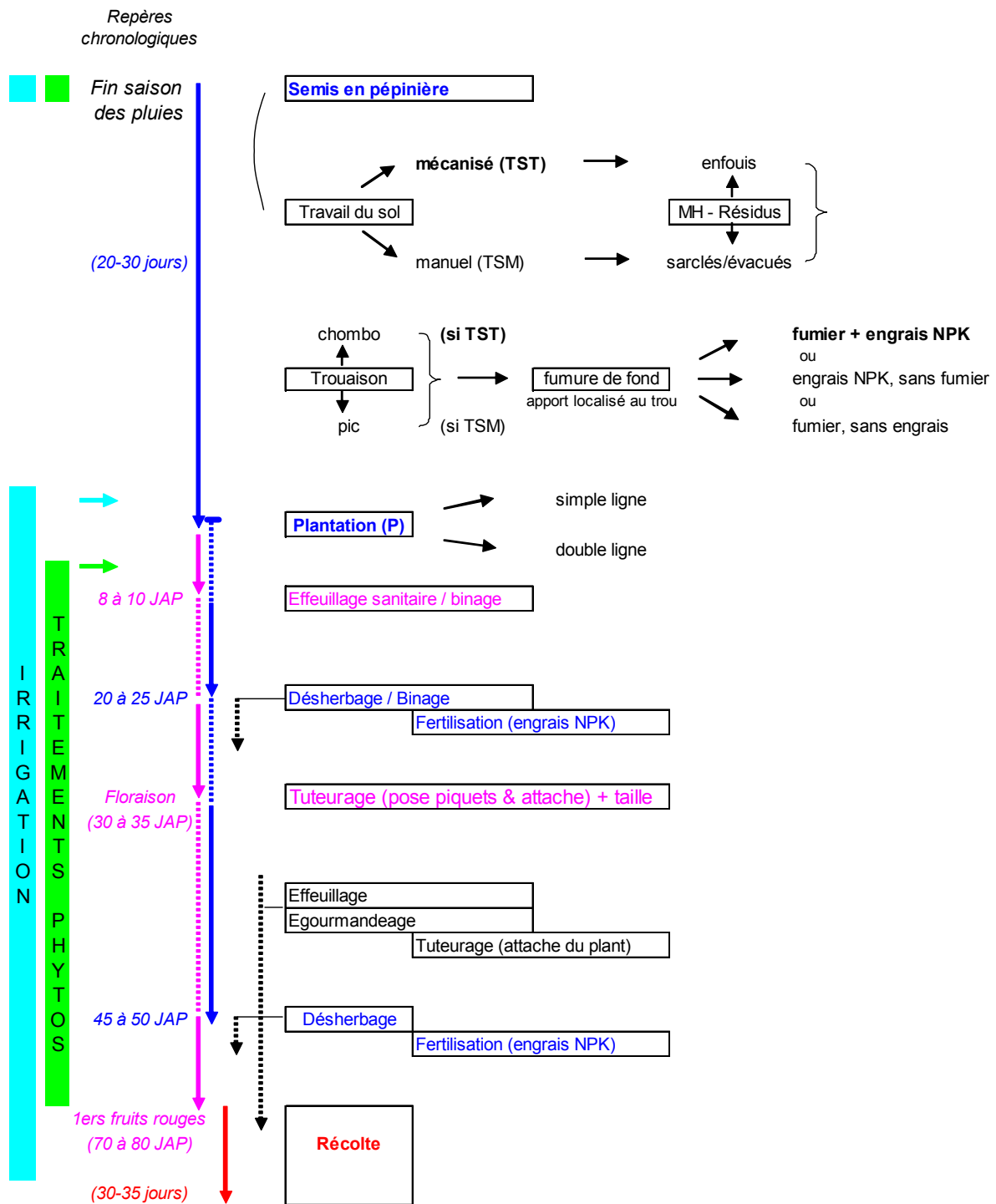
Lep n'élève pas de bovins, contrairement à la plupart des agriculteurs Mahorais. A côté de la zone cultivable en maraîchage, il exploite un tout petit champ vivrier planté en manioc et en taro (*Colocasia esculenta*). Le propriétaire ne l'autorise pas à planter des bananiers, ni des arbres fruitiers pérennes.

Lep n'emploie pas de salariés permanents ou saisonniers. Cependant, grâce aux ventes régulières de légumes, il peut disposer de trésorerie lui permettant de recruter de la main-d'œuvre temporaire lors des pointes de travail ou pour des travaux laborieux tels que le désherbage. Il ne délègue pas certaines opérations culturales très techniques telles que la taille de la tomate, l'effeuillage, l'égourmandage et les traitements phytosanitaires.

Compte tenu de sa situation de clandestin, il redoute de se déplacer en voiture ou en taxi par crainte d'être arrêté en cas de contrôle routier par les gendarmes. Il s'organise donc pour vendre sa production au champ ou sur le marché du village et pour obtenir des intrants (semences, engrais et pesticides) sans avoir à se déplacer jusqu'à Mamoudzou ou dans d'autres villages.

Les objectifs de Lep sont restés constants entre 2003 et 2005. Il souhaite agrandir son territoire d'exploitation maraîcher et continuer à habiter sur l'exploitation. En effet, même s'il dispose d'une certaine stabilité foncière, il doit négocier chaque saison le prêt du terrain. Il envisage également d'entamer des démarches administratives pour essayer d'obtenir un titre de séjour sur le territoire français de Mayotte.

Figure II-8 : Modèle général de conduite prévisionnelle de la culture de la tomate par Lep.



Légende :

TST = travail du sol au tracteur  
TSM = travail du sol manuel  
MH = mauvaises herbes  
JAP = jours après plantation

## 2.2. Le modèle de conduite prévisionnelle de la tomate de Lep

La figure II-8 présente le modèle général de conduite prévisionnelle de la tomate. Nous distinguons trois grandes phases culturales délimitées par des stades repères connus des agriculteurs et servant de guide pour des interventions culturales : semis-plantation, floraison, début des récoltes et fin des récoltes. A chacune de ces phases, correspondent des opérations culturales variées.

- La **période d'implantation de la culture** comprend toutes les opérations culturales du semis de la pépinière à la plantation. Pendant cette phase, les agriculteurs sont confrontés à de nombreuses décisions : choix variétal, choix de la date de semis et d'échelonnement des plantations, choix du mode de travail du sol en relation avec la disponibilité en machines agricoles et la portance du sol en fin de saison des pluies, choix du type de fumure de fond en tenant compte de la disponibilité en fumier et en engrais.
- La **période d'entretien de la culture** (de la plantation à la maturité des premiers fruits) est celle où les producteurs sont confrontés à la gestion quasi-quotidienne de l'irrigation, à l'approvisionnement en intrants (pesticides, engrais) et à leur utilisation, au sarclage, à la taille et à l'égourmandage des plants qui exigent, comme l'irrigation, des besoins importants en main d'œuvre, et qui se déroulent parfois en même temps.
- La **phase des récoltes** va de la première à la dernière récolte, et s'étale sur une durée de un à deux mois. Il peut y avoir pendant cette période des décisions liées à l'accélération de la maturité des fruits, ou à l'opportunité de réaliser ou non des traitements phytosanitaires.

Le tableau II-7 présente une synthèse du contenu des règles de décision et des variables décisionnelles pour l'ensemble des opérations de conduite de la culture. L'annexe 4 en donne une présentation détaillée.

Pour la conduite de la tomate, on relève pas moins de quinze opérations culturales différentes, réalisées pour la plupart manuellement. On distingue différents types de règles et d'indicateurs pour leur mise en œuvre.

Le déclenchement des opérations est lié soit :

- à la réalisation d'un événement climatique : cas de la fin de la saison des pluies pour la première séquence de semis et de plantation ;
- à l'atteinte d'une date calendaire : exemple 8 à 10 jours après la plantation pour le démarrage des traitements phytosanitaires au champ et pour le premier effeuillage sanitaire ; 25 à 30 jours après semis en pépinière pour commencer le repiquage, les plants mesurant alors 15 à 20 cm de hauteur ;
- à la réalisation d'un état physique du milieu dans le cas du travail mécanisé du sol, ce dernier devant être suffisamment ressuyé pour supporter le passage du tracteur ;
- à un stade repère cultural, dans la plupart des cas : apparition du premier bouquet pour le démarrage de la pose des tuteurs, floraison pour le démarrage de la taille des plants de tomate, couleur des fruits pour la récolte, démarrage de l'égourmandage après la taille quand les axillaires mesurent 5 à 10 cm, densité et hauteur des adventices (5 à 10 cm) pour déclencher le désherbage.

La fin des opérations est également dictée par différents types d'indicateurs :

- une date calendaire : ainsi le dernier semis (pépinière) sur la saison culturale est réalisé au début du mois d'août pour pouvoir récolter avant les grosses pluies de décembre qui marquent le début de la saison des pluies. La dernière plantation de saison a lieu par conséquent au début du mois de septembre.

L'irrigation de la culture prend fin 8 à 10 jours avant la dernière récolte de tomates prévue.

- Un stade cultural. C'est le cas pour de nombreuses opérations telles que le sarclo-binage, la fertilisation d'entretien, les traitements phytosanitaires où aucune intervention n'est effectuée après le début de la phase de récoltes ; l'effeuillage et l'égourmandage qui s'arrêtent vers le milieu de la phase des récoltes ; la taille qui intervient au plus tard quand les tiges commencent à se plier.

Tableau II-7 : Variables décisionnelles et règles de décision de conduite culturale de la tomate.

Phase	Opérations	Modalités	Intervalle de temps de réalisation	Règles de déclenchement	Règles de fin	Solutions de rechange	Unités de gestion	Règles d'enchaînement
Pépinière	Semis	Semis manuel en pépinière sur planches.	Trois à quatre séquences pendant la campagne.	Du 1er semis : Fin de saison des pluies (mars-avril) et disponibilité de semences.	Dernier semis en août pour pouvoir récolter avant la saison des pluies. Durée pépinière : 25 à 35 jours.		Planche de semis.	Semis après réservation du tracteur.
I m p l a n t i o n	Désherbage et nettoyage de la parcelle	Gyrobroyage mécanique.	Entre fin de saison des pluies et juillet.	Portance suffisante du sol (sol ressuyé).	En fin de première culture, désherbage au chombo si nouvelle culture maraîchère, sinon aucun désherbage jusqu'à la prochaine campagne.	Travail manuel de la parcelle de tomate si tracteur indisponible quand plants en pépinière âgés de 20 à 25 jours.	Zone cultivable.	Gyrobroyage, puis labour à la charrue.
		Manuel au chombo.	Entre fin de saison des pluies et début septembre.	Après réalisation du semis en pépinière.			Parcelle de tomate.	Désherbage, ratissage et évacuation des adventices.
	Préparation de sol	Labour mécanisé à la charrue. Une seule fois pour l'ensemble de la zone cultivable maraîchère (ZC).	Entre fin de saison des pluies et juillet.	Fin de saison des pluies (sol ressuyé). Portance suffisante du sol.	Quand plants âgés de 20 à 25 jours en pépinière.	Préparation manuelle du sol de la parcelle tomate si tracteur indisponible quand plants en pépinière âgés de 20 à 25 jours ou si la portance du sol ne le permet pas.	Zone cultivable.	Gyrobroyage, labour à la charrue.
		Labour manuel au pic au niveau du trou de plantation	Entre fin de saison des pluies (avril) et début septembre.	Fin de saison des pluies (sol ressuyé).	Quand plants âgés de 20 à 25 jours en pépinière.		Parcelle de tomate.	Désherbage, ratissage et évacuation des adventices.
	Trouaison	Trouaison au chombo (si labour mécanisé du sol).	Entre préparation du sol et plantation.	Fin du labour.	Quand nombre de trous réalisés correspond à la quantité estimée de plants disponibles en pépinière.	Trouaison au pic si pas de labour mécanisé du sol au préalable.	Parcelle de tomate.	Trouaison puis apport engrais et/ou fumier, rebouchage trou, arrosage.
		Trouaison au pic.	Entre préparation du sol et plantation.	Fin du nettoyage de la parcelle.			Parcelle de tomate.	
	Fumure de fond	Apport deux poignées fumier (~ 500 g) par trou.	Entre préparation du sol et plantation.	Démarrage trouaison.	Avant plantation.	Fumier + engrais ou engrais seul si pas de fumier, ou plantation sans fumure si pas de fumier et d'engrais.	Plant.	Trouaison, fumure, rebouchage trou, arrosage.
Plantation	Un plant par trou.	Entre fin de saison des pluies (avril) et début septembre.	Quand les plants ont taille d'un crayon (15 à 20 cm), soit 25 à 30 jours après semis.	Quand tous les trous ont été pourvus d'un plant.	Plantation de plants âgés de 35 jours au maximum si retard dans les travaux de préparation de sol.	Trou.	Plantation, protection plant avec feuilles de palmier, arrosage.	
E n t r e t i e n	Irrigation	Deux fois/jour jusqu'à floraison, une fois/jour de floraison à début récolte puis tous les trois jours (~ 1,2 l/plant/apport).	2 à 3 heures/jour (pour 1000 m²).	Le matin, avant les autres travaux, et en fin d'après midi.	8 à 10 jours avant dernière récolte.	Pas d'arrosage si pluies > 5 mm. Paillage et réduction de la fréquence des arrosages si manque d'eau.	Trou.	Arrosage prioritaire sur les autres travaux.
	Sarclo-binage	Désherbage au chombo.	Trois interventions entre reprise des plants et début des récoltes.	Quand les adventices sont petites (5 à 10 cm) et recouvrent le sol.	Aucun désherbage après 1ère récolte.	Désherbage étalé sur plusieurs jours si manque de main d'œuvre.	Parcelle sauf 1er sarclo-binage localisé au trou.	Apport d'engrais puis sarclo-binage et arrosage.
	Fertilisation	Apport 1 poignée (~ 15g)/plant d'engrais NPK.	Floraison à début phase des récoltes.	Après un désherbage vers le stade floraison.	Aucune fertilisation après la première récolte.	Aucune fertilisation si pas d'engrais disponible.	Plant.	Apport d'engrais puis sarclo-binage et arrosage.
	Tuteurage	Tuteurage sur piquet en bois. Pose de trois liens.	Entre apparition du premier bouquet et la nouaison.	Apparition du premier bouquet.	Au plus tard quand tiges commencent à pencher.	Tuteurage tardif post floraison si contrainte de main d'œuvre.	Plant.	Pose du tuteur, taille et attache du plant.
	Taille	Taille à 2 ou 3 tiges.	Floraison à nouaison des fruits du premier bouquet.	A partir de la floraison.	Au plus tard quand tiges commencent à pencher.	Taille tardive post floraison si contrainte de main d'œuvre.	Plant.	Pose du tuteur, taille et attache du plant.
	Effeillage	Suppression des feuilles malades et sénescentes.	8 à 10 JAP à mi-récolte (en même temps que l'égourmandage).	8 à 10 JAP, après la reprise.	Mi-récolte.	Opération étalée sur plusieurs jours si manque de main d'œuvre.	Plant.	Effeillage et égourmandage en même temps.
	Egourmandage	Suppression manuelle des gourmands.	Floraison à mi-récolte.	Après floraison, quand les gourmands mesurent 5-10 cm et avant qu'ils portent des bouquets.	Mi-récolte.	Egourmandage étalé sur plusieurs jours si manque de main d'œuvre.	Plant.	Effeillage et égourmandage en même temps.
Lutte phytosanitaire (au champ)	Traitements préventifs chaque semaine : mélange fongicide + insecticide.	8 à 10 JAP à début des récoltes.	8 à 10 JAP.	Avant première récolte.	Réduction fréquence et dose si manque de produits.	Plant.		
Récolte	Récolte	Récolte manuelle des fruits mûrs le matin (tous les 3 jours environ).		Couleur orange à rouge des fruits.	Quand la plupart des fruits récoltés sont de petits calibres (30-35 mm) ou que les plants sont desséchés.		Plant.	

- Un événement culturel : cas de la trouaison qui s'arrête quand le nombre de trous réalisés correspond au nombre de plants disponibles en pépinière. L'agriculteur réalise une estimation quand les plants sont assez grands en pépinière, soit 20 à 25 jours après le semis. Par voie de conséquence, la plantation s'achève quand tous les trous ont été plantés avec un seul plant de tomate par trou.

Dans le cas où certaines opérations ne peuvent se réaliser selon les modalités prévisionnelles et dans l'intervalle de temps fixé par l'agriculteur, ce dernier a prévu des solutions de rechange, ce qui montre que Lep anticipe sur les incertitudes liées à l'accès aux ressources productives.

Ainsi, sachant que les fournisseurs n'ont souvent pas de semences en début de campagne, Lep garde en stock chez lui quelques sachets de semences pendant la saison des pluies ou des graines qu'il a produit lui-même. Il n'hésite pas à contacter également d'autres collègues et le Cirad pour s'approvisionner.

Concernant le travail du sol, il préfère le labour à la charrue au travail manuel pour diverses raisons (rapidité du travail, qualité du travail, économie de main d'œuvre). Cependant, compte tenu de l'incertitude sur les délais d'intervention du prestataire de service, il s'est fixé comme règle de préparer la parcelle de tomate manuellement si le tracteur n'est pas intervenu quand les plants sont âgés de 20 à 25 jours en pépinière. L'objectif de Lep est en effet de vendre de la tomate en début de saison quand les prix sont élevés : le respect d'une date limite de plantation (quitte à être moins exigeant sur la qualité de la préparation de sol) est donc pour lui prioritaire dans ses décisions. L'autre raison qui peut amener Lep à passer de la modalité « labour mécanisé » à la modalité « travail manuel » est la portance insuffisante du sol pour permettre l'entrée du tracteur dans le champ avant la date limite de plantation (correspondant à un âge limite des plants en pépinière de 35 jours, c'est-à-dire avant que les plants ne soient effilés). Lep n'a aucune emprise sur l'aléa climatique et des pluies importantes qui pourraient survenir pendant la phase de croissance des plants en pépinière peuvent rendre le terrain impraticable par le tracteur et le contraindre à passer au travail manuel du sol pour le premier cycle de tomate. Dans de tels cas, le tracteur pourra intervenir ultérieurement pour le reste de la zone cultivable maraîchère dès lors que la portance du sol le permettra.

Concernant la fumure, Lep privilégie le fumier en fumure de fond avec comme solutions de rechange les modalités (fumier + engrais NPK) ou (engrais seul). Néanmoins, s'il ne dispose ni de fumier, ni d'engrais au moment de la préparation de sol, il plantera malgré tout la tomate (priorité à la date de plantation) et augmentera les doses d'engrais lors de la fumure d'entretien.

Pour les traitements phytosanitaires, Lep se limite à des traitements préventifs hebdomadaires avec deux fongicides et deux insecticides de contact sans tenir compte des ravageurs et maladies réellement présents en cours de culture. En cas de manque de pesticides, Lep peut réduire la dose ou espacer l'intervalle de temps entre traitements. L'autre alternative pour limiter la pression parasitaire et économiser sur le volume de bouillie est d'effeuiller partiellement les plantes avant un traitement phytosanitaire en supprimant les feuilles malades (avec de nombreuses tâches) et sénescentes.

Lep ne maîtrise pas l'accès à l'eau d'irrigation et se trouve chaque année confronté à des problèmes de disponibilité en période d'étiage à partir des mois de juillet-août. Pour pallier au manque d'eau pendant la période critique, il effectue un paillage du sol et réduit les apports d'eau. En cas de rupture totale d'eau, il attend que l'eau revienne au robinet car il ne possède pas de bassin de stockage ni suffisamment de fûts d'eau pour pouvoir continuer à irriguer correctement les cultures. Il a ainsi perdu une partie de sa production de chou en juillet 2005 par manque d'eau.

En matière de conduite de la végétation, Lep prévoit de tailler, d'égourmander et d'effeuiller régulièrement les plants selon le chantier combiné d'opérations suivantes : taille, effeuillage, égourmandage, attache du plant. Ces tâches élémentaires sont prévues pour être effectuées plant par plant en une ou deux journées pour la parcelle. Cependant en cas de surcharge de travail, ces opérations peuvent se faire en discontinu sur plusieurs jours, mais en conservant toujours le chantier combiné et l'unité de gestion « plant ». Il en est de même pour le désherbage qui peut être étalé sur plusieurs jours en cas de surcharge de travail. **Ces pratiques d'étalement des travaux peuvent induire une certaine hétérogénéité de croissance entre plants et une variabilité intra-parcellaire du nombre de tiges par plant.**

La conduite de la tomate chez Lep fait ainsi intervenir plusieurs unités de gestion au cours du cycle cultural. Les opérations relevant de l'unité de base qui est le trou de plantation (ou le plant) sont : la plantation, l'irrigation, la fertilisation, le premier sarco-binage, le tuteurage, la taille, l'effeuillage, l'égourmandage, les traitements phytosanitaires, la récolte, c'est-à-dire presque toutes les opérations qui sont conduites après la plantation. Pendant la période précédant la plantation, les unités de gestion sont :

- la zone cultivable dans le cas du travail mécanisée du sol (en début de campagne) ;
- la parcelle de tomate pour les opérations de travail manuel du sol, la trouaison et le désherbage.

Selon la charge de travail et la disponibilité de main d'œuvre, l'agriculteur peut être amené à recruter de la main d'œuvre temporaire pour réaliser des travaux laborieux tels que le désherbage et l'irrigation.

Il ressort du modèle de conduite prévisionnelle de Lep qu'il a prévu des solutions de rechange pour la plupart des opérations en réaction aux incertitudes qu'il rencontre régulièrement en début de campagne. Par contre, les ressources dont il ne maîtrise pas l'accès sont les machines agricoles, les intrants (semences et engrais notamment), l'eau. Les contraintes de main-d'œuvre se traduisent le plus souvent pas un étalement des travaux à l'échelle de la parcelle (et création éventuelle d'hétérogénéités d'états agronomiques). Dans ce contexte, Lep ne parvient pas à définir précisément en début de cycle où seront localisées les différentes parcelles maraîchères, ni le nombre de cycles de cultures différentes qu'il pourra mener dans chacune des parcelles.

### 3. Comparaison avec les réalisations de Lep

L'analyse des écarts entre les réalisations et le modèle de conduite prévisionnelle permet de se rendre compte comment l'agriculteur pilote réellement la culture en fonction des ressources productives dont il dispose. Nous avons reporté en annexes 4, 5 et 6 les prévisionnels et réalisations de 2003 et 2005.

#### 3.1. Opérations concordantes avec le modèle prévisionnel

Pour les deux années, on note que le modèle d'action de Lep est assez bien respecté.

Le choix variétal s'est arrêté sur la variété Carioca comme prévu. La plantation a été réalisée avec des plants âgés de moins de trente jours en pépinière. Deux sarco-binage ont été positionnés entre la plantation et le stade floraison, et un troisième désherbage a été réalisé en 2005 vers le 44<sup>ème</sup> jour après plantation. La pression en mauvaises herbes étant relativement forte en 2005, Lep a recruté un ouvrier temporaire pour désherber les parcelles maraîchères.

Le tuteurage est intervenu avant la floraison et la taille des plants (à 2 ou 3 tiges) a eu lieu vers le stade floraison. Plusieurs effeuillages sanitaires et égourmandages ont été réalisés comme prévu.

Les traitements phytosanitaires ont démarré huit jours après plantation avec des traitements préventifs hebdomadaires en utilisant un faible nombre de produits (deux fongicides et deux insecticides de contact). Des sous-dosages importants pour les insecticides (variant de 22 à 73% de la dose préconisée) et des sur-dosages (130% pour la Bouillie Bordelaise<sup>®</sup>) ont été relevés au cours des deux années. Lep fait partie des référents à Mayotte en matière de conduite de la tomate, mais on constate néanmoins que la protection phytosanitaire reste un poste non encore maîtrisé.

La récolte est intervenue dès que les premiers fruits rouges sont apparus.

#### 3.2. Opérations discordantes avec le modèle prévisionnel

En 2003 et en 2005, Lep n'a pu démarrer les semis très tôt dans la saison (mars-début avril) à cause des conditions pluviométriques ; le premier semis est intervenu tardivement vers la fin du mois d'avril. Le tracteur n'étant pas disponible en début de saison, Lep s'est adapté au retard en préparant manuellement la première parcelle de tomate, et le reste du terrain maraîcher a été labouré à la charrue à partir de début juin pour l'implantation des autres parcelles de tomate et des autres cultures maraîchères.



Lep a démarré la préparation de sol quand les plants étaient âgés de 21 jours en pépinière afin d'avoir suffisamment de temps pour terminer les travaux et planter avant que les plants soient trop grands et effilés en pépinière.

Compte tenu de la non disponibilité de fumier au moment de la préparation de sol en 2003, Lep a planté sans amendement organique. L'apport de fumier initialement prévu a été effectué huit jours après plantation en même temps que le premier apport d'engrais NPK. En 2005, il a apporté en fumure de fond seulement de l'engrais minéral. En fertilisation d'entretien, il a réalisé deux apports d'engrais entre la plantation et la floraison en 2003 et un seul en 2005.

Il a été difficile d'obtenir auprès de Lep les dates exactes d'égourmandage et d'effeuillage post-floraison. En fait, l'agriculteur ne définit pas à l'avance de dates précises pour ces opérations dont la vitesse d'exécution dépend en grande partie de la main d'œuvre disponible à ce moment précis sur l'exploitation. Il semble donc que Lep ne planifie pas vraiment le positionnement temporel de ces opérations.

En matière d'irrigation, Lep n'a pas arrosé de la même façon pendant les deux années. En 2003, de la plantation à la nouaison, les plants ont été arrosés deux fois par jour (matin et fin d'après midi), puis une seule fois par jour le matin avec une réduction de la dose apportée au plant. A partir de la récolte, l'irrigation a été pratiquée tous les trois jours sans varier la dose. En 2005, Lep n'a arrosé qu'une fois par jour de la plantation à la floraison/nouaison. Puis, il a arrosé deux fois par jour (matin et après midi), et à partir de la récolte, il a repris le rythme d'un arrosage par jour tant que l'eau était disponible. Lep a été confronté à des ruptures d'alimentation en eau aussi bien en 2003 (vers le 15 juillet) qu'en 2005 (vers la fin août), le contraignant à installer un paillage naturel (avec des branches « d'avocat marron ») au pied des tomates pour limiter les pertes en eau par évaporation. Sur cette ressource, Lep n'a aucune maîtrise. Etant clandestin, il ne peut réaliser aucun aménagement hydraulique sur l'exploitation (type retenue collinaire) pour palier au manque d'eau, ni en exiger du propriétaire foncier.

### 3.3. Evaluation des temps de travaux et des charges

L'évaluation des temps de travaux de Lep et des charges en intrants sur les deux années permet d'apprécier l'importance relative des différentes opérations culturales (Tableau II-8). Le travail a été valorisé sur la base d'une rémunération de 4,5 euros brut par heure (proche du Smig local en 2005). L'analyse économique du budget de culture de Lep met en évidence l'importance de la main-d'œuvre pour la préparation du sol, le désherbage, l'irrigation et la conduite de la végétation (31 % des charges totales). En considérant une journée effective de sept heures de travail et un cycle de culture de 110 jours, il faudrait environ 0,9 équivalent temps plein d'une personne pour planter et entretenir 1000 m<sup>2</sup> de tomate.

Les charges en intrants sont faibles, notamment en pesticides, à cause du sous-dosage de certains produits et de l'utilisation de pesticides peu chers.

Le cas de Lep montre bien que la ressource en travail constitue un facteur limitant des surfaces cultivées en tomate, même si certaines adaptations techniques peuvent réduire le poids de cette contrainte.

### 3.4. Conclusion sur les réalisations

La comparaison entre les deux années montre que le modèle prévisionnel de conduite a peu évolué, et l'agriculteur parvient à respecter globalement le prévisionnel qu'il s'était fixé pour la conduite de la tomate. Les ajustements qu'il est amené à effectuer en cours de campagne répondent à des incertitudes telles que la date d'intervention du tracteur sur l'exploitation, la disponibilité en engrais et en fumier chez les fournisseurs agricoles, la disponibilité immédiate en main-d'œuvre temporaire et la disponibilité en eau notamment en période d'étiage.

Tableau II-8 : Dépenses (en €) et temps de travaux moyens (en h) de Lep pour la conduite de 1000 m<sup>2</sup> de tomate.

Opération culturale	Temps de travail en heures pour 0,1 ha	Coût horaire main d'œuvre (€)	Total (en €) pour 0,1 ha
Préparation du sol	110	4,5	495
Trouaison	85	4,5	383
Plantation	8	4,5	36
Irrigation (2 h/j)	210	4,5	945
Fertilisation	3	4,5	14
Sarclo-binage	90	4,5	405
Tuteurage (collecte des piquets et attache des plants sur tuteur) + taille	85	4,5	382
Effeuillement - égourmandage	135	4,5	607
Traitements phytosanitaires	10	4,5	45
<b>Sous total 1</b>	<b>736</b>	<b>4,5</b>	<b>3 312</b>
Intrants	Quantité	Coût (en €)	Total (en €)
Semences	10 g	4,5	45
Engrais	54 kg	1,2	65
Pesticides	9	3	27
<b>Sous total 2</b>			<b>137</b>
<b>Total général des charges (en €)</b>			<b>3 449</b>

Tableau II-9 : Principales opérations culturales à forts besoins en main-d'œuvre et quelques alternatives techniques possibles pour réduire les temps de travaux.

Opération courante	Opération de recharge déjà pratiquée par Lep	Alternative technique à évaluer	Avantages de l'alternative technique
Préparation manuelle du sol.	Labour mécanisé.		Coût faible mécanisation (91€/ha) car subventionné.
Irrigation journalière au trou à l'arrosoir ou au tuyau.	- Arrosage tous les trois jours pendant période des récoltes - Paillage végétal	- Diminuer la dose d'irrigation. - Réduire la fréquence des apports (trois jours). - Irrigation goutte à goutte.	- Economie d'eau. - Diminuer la pénibilité du travail. - Gain de temps.
Tuteurage		Pas de tuteurage.	Economie de main-d'œuvre.
Taille - effeuillage - égourmandage.		Pas de taille, ni effeuillage, ni égourmandage.	Economie de main-d'œuvre.
Désherbage manuel.		Désherbage chimique sélectif ( <i>métribuzine</i> ) en complément du sarclage manuel.	- Diminution de la pression en adventices - Gain de temps au désherbage manuel

Les dates de semis et de plantation dépendent quant à elles de la fin de la saison des pluies sur laquelle Lep n'a aucune emprise.

Les opérations consommatrices de main-d'œuvre que sont le tuteurage, le désherbage et l'égourmandage-effeuillage sont étalées dans le temps et se font quelquefois en discontinu, en réaction aux goulots d'étranglement ponctuels sur l'exploitation et à la ressource en main-d'œuvre limitée. Ces discontinuités dans les travaux peuvent générer une certaine hétérogénéité intra-peuplement en termes de densité de mauvaises herbes, d'état sanitaire, de nombre de tiges par m<sup>2</sup>, ou encore de nombre de bouquets et de nombre de fruits par m<sup>2</sup>. Lep peut faire appel à de la main-d'œuvre temporaire pour le sarclage, mais il ne délègue pas les opérations de conduite de la végétation. La fréquence des opérations est également fonction de la vitesse de croissance des végétaux (aussi bien la tomate que les adventices). Des techniques différentes pour réduire la charge en main-d'œuvre pourraient être testées pour leur intérêt agronomique et économique (Tableau II-9).

#### 4. Comparaison aux modes de conduite chez les autres agriculteurs enquêtés

L'analyse des règles de décision chez un agriculteur (Lep) a permis de proposer un modèle d'action pour la conduite de la tomate. Nous comparons maintenant ce modèle de conduite aux pratiques des autres agriculteurs afin de mettre en évidence les règles de décision communes à l'ensemble des agriculteurs (« métarègles ») mais aussi les variations possibles. Cette analyse permet également de révéler les différents types d'itinéraires techniques de conduite de la tomate et les logiques de productions qui les sous-tendent.

##### 4.1. Les enchaînements des opérations

Le tableau II-10 présente les quatre types d'enchaînements d'opérations que nous avons relevés dans notre échantillon. Nous avons segmenté le cycle cultural en trois phases : (i) l'implantation de la culture qui va du semis à la plantation, (ii) l'entretien de la culture, et (iii) la phase de récoltes.

L'enchaînement type E1, correspondant au modèle de l'exploitant Lep, est le suivant et est pratiqué par 50% des agriculteurs :

- Pendant la phase d'implantation (PI) : semis en pépinière, puis désherbage de la parcelle suivi du travail du sol, trouaison, fumure de fond, arrosage au trou, plantation suivie le jour même de l'arrosage.
- Pendant la phase d'entretien (PE) : effeuillage sanitaire, sarclo-binage suivi d'un apport d'engrais, tuteurage-taille-effeuillage, sarclo-binage suivi d'un épandage d'engrais, égourmandage-effeuillage (avec attache du plant sur le tuteur quand la longueur des tiges l'impose). Les arrosages sont positionnés tous les jours (le matin), et les traitements phytosanitaires ont lieu régulièrement toutes les semaines (voire quatre jours (cas de Ybo) ou dix jours).
- Pendant la phase de récoltes : les irrigations se poursuivent (quotidiennement ou tous les trois jours) ; les traitements phytosanitaires ont lieu juste après une récolte, et les égourmandages - effeuillages s'arrêtent généralement après les premières récoltes.

Le deuxième type (36% des agriculteurs) se distingue du premier par le mode de préparation du sol : E1 correspond au labour mécanisé et E2 au travail manuel du sol.

Compte tenu du gain de main-d'œuvre important que procurent le nettoyage et le labour mécanisés de la parcelle, tous les agriculteurs ont une préférence pour la mécanisation. Mais les problèmes de disponibilité des engins et d'accès aux terrains contraignent souvent les agriculteurs au travail manuel du sol comme solution de rechange. Après le travail du sol, la trouaison et la plantation doivent être enchaînés dans les jours qui suivent pendant que le sol est encore bien meuble et pour éviter que les mauvaises herbes ne repoussent avant la plantation.

Tableau II-10 : Différents types d'enchaînements d'opérations culturales relevés au cours des deux campagnes.

Phase	Opérations	Echelle temporelle		Enchaînement type	Variations	Enchaînements d'opérations					
		< journée	> journée			E1	E2	E3	E4		
Implantation de la culture	Semis en pépinière	X		1	X	Semis avant ou après travail du sol.	1	1	1	3	
	Désherbage/Nettoyage de la parcelle	X		2			2	2	2	1	
	Préparation de sol	Labour mécanisée	X		3		3		3	2	
		Labour manuel au pic		X				3			
	Trouaison	Au chombo si labour mécanisé	X		4		4		3	4	
		Au pic si labour manuel		X				4			
	Fumure de fond		X		5	X	Aucune fumure de fond : cas de Abs, Ari, Sma.	5	5	4	5
	Arrosage au trou		X		6			6	6	6	6
Plantation			X	7		7		7	7	7	
Arrosage au trou		X		8		8		8	8	8	
Entretien de la culture	Arrosage au trou	X		9®	X	tous les jours, 2 jours ou 3 jours	9	9	9	9	
	Traitements phyto	X		10®	X	tous les 4, 7 ou 10 jours	10	10	10	10	
	Effeillage sanitaire		X	11	X	Avant ou après le 1er traitement phytosanitaire.	11	11		11	
	Sarclo-binage		X	12			12	12	11	12	
	Fertilisation d'entretien	X		13			13	13	12	13	
	Tuteurage		X	14	X	Aucun tuteurage, aucune taille.	14	14		14	
	Taille	X		15	X	Aucune taille.	15	15		15	
	Sarclo-binage		X	16	X	3 à 4 sarclages si beaucoup de mauvaises herbes.	16	16		16	
	Fertilisation d'entretien	X		17			17	17		17	
	Egourmandeage / Effeillage / Attache du plant		X	18®			18	18		18	
Phase de récolte	Arrosage au trou	X		19®			19	19	13	19	
	Traitements phyto	X		20®			20	20	14	20	
	Egourmandeage / Effeillage / Ecimage		X	21	X	Pratique occasionnelle de l'écimage par quelques agriculteurs pour hâter la maturation des fruits.	21	21		21	
	Récoltes	X		22			22	22	15	22	
						agriculteurs	Zal, Ala, Ari, Hat, Lep, Mas, Mbo, Inr, Mhs, Nbs, Ord, Pet, Ssa, Ybo	Abh, Abs, Ali, Aso, Nai, Nou, Smv, Saa, Sso, Zmo	Smd	Cbk, Sma, Zky, Adb	

Echelle spatiale : Peuplement / Parcelle  
Plant / Trou  
 ® signifie que l'opération se répète durant le cycle

En effet, la plupart des sols maraîchers étant argileux et limoneux-argileux, l'horizon supérieur du sol s'assèche et se durcit assez vite, ce qui rend plus ardue la trouaison manuelle au chombo ou au pic.

Le type E3 (un seul agriculteur) se démarque par l'absence totale des opérations de tuteurage, taille, effeuillage, et égourmandage. L'agriculteur (Smd) cherche à gagner du temps en éliminant les interventions lourdes sur la végétation.

Le type E4 (11% des agriculteurs) diffère de E1 par le positionnement temporel du semis après la préparation du sol. Les agriculteurs concernés (Cbk, Sma, Zky, Adb) ne veulent pas prendre le risque de perdre leurs pépinières à cause d'une arrivée tardive du tracteur sur l'exploitation. De ce fait, la date du semis est fortement conditionnée par la date d'intervention des engins agricoles, date que les agriculteurs ne maîtrisent malheureusement pas.

Les séquences d'interventions présentent donc des similitudes d'un agriculteur à l'autre notamment concernant l'implantation de la culture, et les variations observées correspondraient à des adaptations singulières du modèle général décrit pour Lep. Les facteurs déterminants de ces variations sont :

- la ressource en main-d'œuvre : Smd (E3) simplifie l'itinéraire technique en supprimant ou allégeant les opérations de conduite de la végétation exigeantes en temps de travail. La logique de Adb (en 2005) s'apparente à Smd en ce sens qu'il a très peu égourmandé après la taille.
- La disponibilité en équipement de travail du sol (seule opération mécanisée). On note deux comportements en cas de retard du tracteur : d'une part, remplacement de l'opération mécanisée par le travail manuel du sol (l'agriculteur souhaitant démarrer la campagne à la date prévue), d'autre part, attente du passage du tracteur sur l'exploitation (l'agriculteur acceptant alors de démarrer plus tard que prévu sa campagne).

## 4.2. Les métarègles

### 4.2.1. Les semis

La pratique du semis en pépinière est généralisée. Aucun agriculteur ne fait de semis direct. Compte tenu de la main d'œuvre limitée, l'agriculteur réalise un seul semis de tomate à la fois, et organise par conséquent un seul chantier de repiquage à la fois. L'étalement des semis dans le temps répond au double objectif d'adaptation des chantiers à la main-d'œuvre disponible et d'étalement de la période d'approvisionnement des marchés.

Tous les agriculteurs ambitionnent de planter le plus tôt possible dans la saison pour être parmi les premiers sur les marchés et pouvoir disposer d'un bon prix de vente. Le premier semis de tomate est déclenché à partir de la fin de saison des pluies, qui selon la zone géographique, se situe vers la fin du mois d'avril ou début mai au plus tôt. La dernière plantation se situe vers le mois de septembre pour une récolte avant les premières grosses pluies de décembre. Sur les 22 parcelles suivies en 2003, 18 ont été plantées en mai-juin (soit 82%) et les autres plus tard. En 2005, 19 parcelles sur 28 ont été plantées en mai-juin (soit 68%) et les autres de juillet à septembre. Les plantations sont donc concentrées en début de saison sèche, ce qui reflète bien les objectifs commerciaux communs des agriculteurs.

La hauteur des plants en pépinière (rarement l'âge ou le nombre de feuilles) est l'indicateur généralement utilisé (et de plus de valeur très voisine) pour décider de la date de transplantation au champ.

### 4.2.2. La plantation au trou

La plantation au trou est faite par tous les agriculteurs. Le trou permet de concentrer les apports de fumier, d'eau et d'engrais, et de faciliter notamment les arrosages. Si l'agriculteur doit préparer

manuellement le sol, il limite le labour au pic au trou de plantation, le labour en plein étant particulièrement pénible dans les sols « lourds » qui caractérisent les plaines alluvionnaires où est pratiqué le maraîchage. Un seul agriculteur (Ybo) travaille toute la ligne de plantation au pic, mais la surface plantée en tomate est petite (sole inférieure à 250 m<sup>2</sup>).

#### 4.2.3. La lutte chimique préventive

La protection phytosanitaire est assurée de manière préventive par des traitements chimiques hebdomadaires. Les traitements démarrent dès la pépinière et se terminent au début ou à la fin de la période de récoltes. Aucun agriculteur ne prend le risque de cultiver de la tomate sans pesticides à cause des nombreux ravageurs et maladies qui parasitent la culture à Mayotte. Ce qui n'est pas le cas pour les engrais où l'agriculteur peut décider de cultiver bien qu'il n'en trouve pas sur l'île.

Les produits commerciaux les plus utilisés sont Dithane<sup>®</sup> (*mancozèbe*) et Bouillie Bordelaise<sup>®</sup> (*sulfate de cuivre*) comme fongicides, Décis<sup>®</sup> (*deltaméthrine*) et Karaté<sup>®</sup> (*lambda-cyhalothrine*) comme insecticides. Les agriculteurs les utilisent le plus souvent en mélange, en alternant les produits (ex : Dithane<sup>®</sup> + Karaté<sup>®</sup>, puis Bouillie Bordelaise<sup>®</sup> + Décis<sup>®</sup>). Certains agriculteurs (types b1/gf1, c/gf1, b2/gf2) se distinguent par l'utilisation de produits plus spécifiques tels que Trigard<sup>®</sup> (*cyromazine*) pour lutter contre les mouches mineuses, Sumisclex<sup>®</sup> (*procymidone*) contre les pourritures de fruits, Banko<sup>®</sup> (*Chlorothalonil*) et Norsineflo<sup>®</sup> (*mancozèbe + méthyl thyophanate*) pour lutter contre les maladies cryptogamiques aériennes.

#### 4.2.4. Les opérations de conduite de la végétation

Tous les agriculteurs qui cultivent eux-mêmes la tomate, avec ou sans main-d'œuvre extérieure, se réservent la conduite de la taille, de l'effeuillage et de l'égourmandage des plants. Ils ne délèguent pas ces travaux pour être sûrs qu'ils seront faits correctement. Par contre, les agriculteurs des types b3 (double actifs) et c (« modernes ») font appel à des salariés permanents qui réalisent, eux, toutes les tâches culturales. En s'arrogant certaines opérations culturales, qui plus est très consommatrices en temps de travail, ces agriculteurs doivent planifier et piloter plus rigoureusement les activités pour éviter les goulots d'étranglements. Souvent, ces opérations sont réalisées en discontinu et étalées sur plusieurs jours, générant ainsi une certaine hétérogénéité au sein du peuplement végétal (certains plants sont plus et plus tôt taillés, effeuillés ou égourmandés que d'autres).

#### 4.2.5. Les règles d'enchaînement communes aux agriculteurs

Nous avons répertorié plusieurs règles prioritaires d'enchaînement commun à notre échantillon d'agriculteurs :

- la fertilisation d'entretien suit toujours un désherbage ;
- un traitement phytosanitaire est prioritaire sur les autres opérations culturales le jour venu du traitement ;
- pendant la phase de récoltes, tout traitement phytosanitaire est réalisé juste après une récolte pour respecter le délai avant récolte de trois jours des pesticides utilisés (Décis<sup>®</sup>, Karaté<sup>®</sup>, Dithane<sup>®</sup>).

### 4.3. Les différences dans la conduite technique de la tomate

La comparaison des pratiques culturales et des règles de décision des agriculteurs enquêtés montre l'importance du facteur travail et de l'utilisation des intrants dans les choix tactiques des agriculteurs et dans l'enchaînement des opérations culturales.

#### 4.3.1. La gestion des semis

Le semis est pratiqué en ligne ou à la volée sur des planches surélevées de 1 à 2 m<sup>2</sup>, à l'exception de deux agriculteurs qui effectuent leur semis en pot (Ssa, Nba). Une fumure de fond est très souvent réalisée lors de la conception de la planche de semis, consistant le plus souvent en un apport de fumier (de poules ou cabris ou lapins) ou de compost (50% des parcelles suivies), ou de fumier (ou compost) + engrais (36%) ou d'engrais seul (14%). Un à deux traitements phytosanitaires préventifs (surtout de fongicides) est effectué entre le 15<sup>ème</sup> jour après semis et la plantation. L'âge moyen des plants produits en pépinière sur les parcelles suivies est de 24 jours (CV = 26 %).

Quatre facteurs conditionnent le démarrage du semis.

- la durée et l'intensité de la saison des pluies ;
- la date de passage du tracteur pour ceux qui ont prévu de labourer leur terrain ;
- la disponibilité en semences ;
- la disponibilité en argent pour acheter des semences.

Certains agriculteurs, notamment ceux des types b1 et b2, n'ont presque pas d'activité agricole pendant la saison des pluies. Aussi, en début de campagne, n'ont-ils pas suffisamment de trésorerie pour acheter les semences, ni les engrais et produits phytosanitaires nécessaires. L'argent disponible sert à assurer en priorité les besoins de base (nourrir la famille, se loger) et à contribuer aux événements religieux. Ces agriculteurs démarrent alors la campagne par un cycle de laitue ou de brèdes (mafane, morelle), qui sont des cultures faciles, à cycle court, demandant peu d'intrants, et qui permettent d'obtenir en moins de deux mois suffisamment d'argent pour acheter des intrants et démarrer la saison de tomate. Ces agriculteurs sont donc susceptibles d'avoir un premier cycle de tomate plus tardif que leurs collègues.

#### 4.3.2. La densité de plantation

La plupart des agriculteurs (78%) plantent en double ligne. Seuls 22% plantent en ligne simple. Les écartements entre pieds sur la ligne et entre les lignes sont assez variables, ce qui conduit à des densités de plantation de 11 000 à 54 200 plants/ha (CV = 35%) avec une moyenne de 28 500 plants/ha. Plus du tiers des parcelles se situent dans une gamme de 25 000 à 32 000 plants/ha, ce qui est souvent conseillé pour la culture de tomate en plein champ (Mémento agronome, 2005). Sept parcelles ont une densité supérieure à 40 000 plants/ha.

Certains agriculteurs justifient le choix d'une densité élevée par la surface cultivable disponible. En effet, ils repiquent les plants plus rapprochés si la parcelle est petite, mais espacent davantage les plants s'ils ont suffisamment de terres disponibles. Une densité trop élevée favorise cependant la propagation des maladies et ravageurs du fait d'un manque d'aération et de pénétration des produits de traitements dans la végétation, et limite aussi la photosynthèse et la coloration des fruits par une diminution du rayonnement intercepté. Pour ces raisons, le service de développement agricole préfère recommander des densités de 20 000 à 25 000 pieds/ha.

Les agriculteurs préfèrent aussi la plantation en double ligne car cette géométrie permet d'arroser deux lignes de plantation en même temps avec deux arrosoirs (l'un dans chaque main) en avançant entre les rangs.

#### 4.3.3. L'irrigation

Plusieurs modes de pilotage de l'irrigation sont pratiqués selon les agriculteurs (Tableau II-11) :

- Dose constante tout au long du cycle cultural avec une ou deux irrigations journalières (34% des agriculteurs). Un agriculteur irrigue néanmoins tous les trois jours (Ala) ;
- Dose croissante au cours du cycle (à partir de la nouaison - grossissement des fruits) avec une ou deux irrigations journalières (23% des agriculteurs) ;

Tableau II-11 : Modalités d'irrigation relevées pendant les campagnes 2003 et 2005.

Modalités	Sous modalités	Parcelles en 2003	Effectif	Parcelles en 2005	Effectif
Quantité constante au cours du cycle	arrosage 1 fois/jour	NBA, ZAL, MAS,	3	ZKY, ORD2	2
	arrosage 2 fois/jour	HAT, MBO, NOU, SMA	4	ARI, NBA, ORD1	3
	arrosage tous les 3 jours			ALA	1
Quantité croissante au cours du cycle	arrosage 1 fois/jour	SSA	1	ADB, INR, PET, SSA, SMA	5
	arrosage 2 fois/jour			ABH, LEP	2
Quantité décroissante au cours du cycle	arrosage 1 fois/jour	LEP, ASO, ADB, NAI, ZMO, YBO	6	ABS, CBK, SSO, YBO	4
	arrosage 2 fois/jour			ALI, SMD, SMY	3
	arrosage tous les 3 jours	MHS	1	MHS	1



- Dose décroissante au cours du cycle (à partir de la nouaison) avec une ou deux irrigations journalières par jour (37% des agriculteurs). Un agriculteur irrigue tous les trois jours (Mhs). Ces producteurs apportent en moyenne 2 l d'eau par plant. Ensuite, de la floraison-nouaison à la première récolte, l'apport journalier moyen est de 1,8 l/plant, puis pendant la récolte celui-ci est de 1,4 l/plant.

Quelle que soit la modalité pratiquée, tous les agriculteurs sur-irriguent pendant les huit à dix jours qui suivent la plantation pour assurer une bonne reprise du plant. Ils ne veulent pas prendre le risque d'un stress hydrique pendant la reprise du plant et l'installation du système racinaire. Le plant reçoit en moyenne 2 litres d'eau, apportés au trou de plantation au moins une fois par jour.

L'arrosage est réalisé soit au tuyau, soit à l'arrosoir. C'est une opération physiquement pénible qui demande beaucoup de temps. Deux agriculteurs de notre échantillon (Ssa, Mas) disposent d'un réseau goutte à goutte, leur permettant de limiter le temps de travail. Toutefois, ils ne maîtrisent pas bien leur système qui est vétuste, et ne savent pas évaluer la quantité d'eau apportée.

Certains agriculteurs sont concernés par des problèmes d'alimentation en eau en pleine saison sèche avec la baisse des cours d'eau ou à cause des dégradations de matériel dans les périmètres irrigués (cas de Smd, Smy, Lep, Cbk, Ybo).

La décision d'arrêter d'irriguer la culture est prise quand les derniers fruits récoltés sont de petits calibres ou lorsque les plants commencent à bien se dessécher, soit environ huit à dix jours avant la dernière récolte.

#### 4.3.4. Désherbage et binage

Le nombre de désherbages varie de deux à quatre. Il est en moyenne de deux. Ce nombre dépend de la main d'œuvre disponible et de la vitesse de recouvrement du sol par les adventices. C'est aussi la ressource en main-d'œuvre qui détermine la durée de chaque opération de sarco-binage ; Soit elle est réalisée en une ou deux journées, soit elle est étalée sur plusieurs jours, une partie de parcelle étant alors désherbée chaque jour. Les travaux prioritaires sur le désherbage sont l'irrigation journalière, le traitement phytosanitaire, la taille, les récoltes. L'étalement des travaux se retrouve davantage chez les exploitants qui n'emploient pas de main-d'œuvre permanente.

#### 4.3.5. La fertilisation

Jusqu'en 1998, la DAF distribuait gratuitement les produits de traitements et les engrais aux producteurs. Puis les structures coopératives et privées ont pris le relais en commercialisant les intrants. Les techniciens du service de développement agricole de la Daf ont longtemps conseillé d'apporter 20 g d'engrais NPK (ex. 10-20-20 ou 15-12-24) par pied au moment du repiquage, avant de préconiser deux apports, à la plantation et à la floraison.

La totalité des producteurs enquêtés prévoit une fumure de fond au moment de la trouaison, avec de l'engrais, du fumier ou les deux à la fois. Cependant beaucoup se plaignent du coût des engrais (0,6 à 1 euro/kg) et des fréquentes ruptures d'approvisionnement chez les fournisseurs locaux. Le service de développement agricole de la DAF a vulgarisé la technique de fabrication du compost pour tenter de répondre au manque de matière organique et au coût élevé des engrais, et permettre ainsi aux agriculteurs d'avoir une source d'azote à moindre coût. Néanmoins, peu d'agriculteurs le pratiquent régulièrement, notamment à cause du temps de travail que nécessite cette technique.

#### **✓ La fumure organique**

Chez les agriculteurs enquêtés, seuls trois (Lep, Ybo et Ali) fabriquent du compost à partir de déchets végétaux (résidus de culture et mauvaises herbes arrachés, résidus de distillation d'ylang-ylang...).

Tableau II-12 : Nombre d'apports effectués et quantités de fumier et d'engrais minéral apportées pendant la culture en 2003 et 2005.

Année	variable descriptive	Nombre apports fumier	Qté fumier (t/ha)	Nombre apports engrais	Qté engrais (kg/ha)
2003	moyenne	0,8	12,03	1,5	860
	mini	0,0	3,57	0,0	133
	maxi	1,0	23,34	3,0	1837
	ecart type	0,4	5,43	0,8	398
	C.V. %	46%	45%	55%	46%
2005	moyenne	1,0	7,90	1,1	467
	mini	0,0	3,30	0,0	75
	maxi	2,0	23,80	3,0	2638
	ecart type	0,5	4,54	0,7	591
	C.V. %	49%	57%	62%	126%
2003 et 2005	moyenne	1,0	9,45	1,3	622
	mini	0,0	3,30	0,0	75
	maxi	2,0	23,80	3,0	2638
	ecart type	0,5	5,23	0,8	552
	C.V. %	49%	55%	59%	89%

67 % des producteurs enquêtés utilisent du fumier (20/35). Il s'agit essentiellement de fumier de poules, plus rarement de fumier de cabris, de zébu ou de lapins. Les contraintes pour se procurer du fumier sont le coût et le transport. En effet, peu de producteurs possèdent une voiture particulière et ils utilisent le taxi brousse ou une camionnette pour transporter les sacs de fumier.

Les quelques élevages intensifs de poulets de chair présents à Mayotte fournissent un fumier composé de fientes de poule mélangée à des copeaux de bois. Il existe aussi des élevages de poules pondeuses, mais ceux-ci fournissent de la fiente pure.

Le fumier de poules est généralement apporté au trou plusieurs jours avant la plantation et mélangé à la terre, à raison de une à deux grosses poignées, soit environ 250 à 500 g par plant. Cet apport est suivi d'un abondant arrosage.

Les fumiers de zébus et de cabris sont très peu utilisés. Ces animaux n'étant pas élevés en stabulation, il est donc difficile de récupérer les déjections.

Certains agriculteurs (Nba, Mas) disposent d'une quantité importante de fumier car ils ont un élevage de poulets de chair. Du fait de la disponibilité en fumier sur leur exploitation, ils utilisent peu d'engrais minéral et favorisent les apports de matière organique.

Les quantités de fumier apportées varient de 3,3 à 23,8 t/ha pour une moyenne de 9,5 t/ha (Tableau II-12). Les apports sont assez limités compte tenu des contraintes de disponibilité, de coût et de transport comme nous l'avons expliqué précédemment.

#### ✓ **La fumure minérale**

Les producteurs utilisent surtout des engrais ternaires, plus rarement de l'urée (utilisée surtout en pépinière). En fait, ils se contentent des engrais disponibles sur l'île du fait des problèmes d'approvisionnement. En 2003, c'était surtout du 10-20-20, et dans une moindre mesure du 15-15-15, alors qu'en 2004 et 2005, c'était du 15-12-24 (formulation conçue pour la canne à sucre à la Réunion). En tenant compte des densités de plantation, du mode et du nombre d'apports (une à deux poignées par pied en une ou deux fois), les quantités totales apportées par hectare varient de 75 kg à plus de 2 600 kg avec une moyenne de 631 kg, pour des rendements observés qui sont également très variables (8,1 à 89 t/ha avec une moyenne de 34 t/ha). La quantité totale apportée par plant varie de 5 à 45 g.

Le nombre d'apport au cours du cycle varie de 1 à 3 (Tableau II-12). Tous réalisent un apport au moment de la plantation (surtout fumure organique) sauf les deux agriculteurs du groupe C qui ont réalisé leur amendement avec le mélange terre/fumier contenu dans les pots d'élevage des plants en pépinière. Plus de 80% d'entre eux réalisent au moins un deuxième apport 15 jours à 1 mois après plantation et moins de 10% réalisent un troisième apport. 95% des producteurs enquêtés réalisent leur fertilisation entre la plantation et la floraison.

Notons que lorsqu'un producteur observe une forte attaque phytosanitaire et estime que son rendement sera fortement affecté, il annule l'apport d'engrais initialement prévu pour économiser sur les coûts de production. Le même constat est relevé concernant les traitements phytosanitaires.

Au moment de la plantation, les producteurs apportent essentiellement de la matière organique (fumier ou plus rarement compost) sauf s'ils n'en disposent pas à ce moment pour des raisons financières ou d'approvisionnement. Les apports réalisés après plantation sont généralement réalisés avec de l'engrais minéral.

#### 4.3.6. Les opérations de conduite de la végétation

##### ✓ **Le tuteurage**

Comme c'est un poste exigeant en main d'œuvre, certains agriculteurs préfèrent acheter des piquets en bois au lieu de passer du temps à aller en chercher en forêt.

La moitié des producteurs installe les tuteurs avant d'attacher les plants, et l'autre moitié attache au fur et à mesure que les tuteurs sont mis en place. Cette opération est généralement réalisée vers la

floraison, mais quatre producteurs préfèrent installer les piquets bien avant pour éviter les surcharges de travail par la suite.

Nous avons constaté deux autres modes de tuteurage :

- l'un consiste à tuteurer les tomates sur une palissade en forme de V inversé construite avec des lattes de bambou (comme ce qui est fait pour le concombre). L'agriculteur (Ord) estime qu'il gagne du temps avec ce système par rapport à la technique du piquet bois, et qu'il peut réutiliser la palissade l'année suivante pour la tomate (cf. planche à photos n°1).
- l'autre consiste en un palissage au champ sur fil horticole comme cela est pratiqué en culture de tomate sous abri (cas de Ssa et Nba en 2003).

Tous les agriculteurs qui tuteurent estiment que cette technique permet de limiter les pertes de fruits par pourriture et salissures (pas de contact avec le sol), et facilite l'arrosage en évitant de mouiller le feuillage. Cette perception n'est pas partagée par quelques agriculteurs (Adb, Smd) qui estiment, après avoir expérimenté les deux techniques, que l'absence de tuteurage n'est pas un facteur limitant du rendement mais qu'il permet surtout de gagner du temps au profit d'autres tâches culturales.

### ✓ La taille

La pratique de taille est globalement homogène d'un agriculteur à l'autre. Néanmoins, on constate que certains agriculteurs « jeunes » dans le métier sont à l'écoute des « anciens » et tentent de reproduire les conseils qui leur ont été prodigués. C'est le cas par exemple de Abs, Zky qui taillent, effeuillent et égourmandent sévèrement comme cela leur a été appris par leur formateur (Lep). Ces jeunes sont réceptifs aux conseils techniques et leurs règles de cultures évoluent au fil des informations qui leur sont transmises, dans un processus d'apprentissage. On note ce même type de comportement pour les traitements phytosanitaires avec l'utilisation des produits aux doses et fréquence recommandées.

### ✓ L'effeuillage

Après que les agriculteurs ont effectué la taille, on observe deux modalités différentes d'effeuillage, qui correspondent en fait à des adaptations vis-à-vis de la pression parasitaire :

- Ceux qui effeuillent sévèrement en enlevant les feuilles tachées et sénescentes indépendamment de leur position sur la tige, au-dessus ou au-dessous des bouquets en fructification (20 % des agriculteurs). Dès qu'un bouquet porte des fruits à maturité, toutes les feuilles, « malades » et saines, qui se trouvent au dessous de ce bouquet sont systématiquement supprimées. Ce type d'effeuillage confère à la plante un port « dégarni » et la végétation est très aérée.
- Ceux qui effeuillent légèrement, en supprimant surtout les feuilles tachées et sénescentes. Ces agriculteurs enlèvent peu de feuilles au dessus des bouquets pour les protéger d'éventuels coups de soleil. En fin de cycle, la plante est relativement feuillue.

L'intensité et la fréquence de l'effeuillage semblent correspondre donc à une réponse des agriculteurs à l'intensité de la pression parasitaire. Plus les feuilles sont tachées, plus l'effeuillage sera sévère. Mais la fréquence du geste dépend également de la disponibilité de main-d'œuvre sur l'exploitation. Les agriculteurs évaluent la gravité de la maladie par l'importance du nombre de taches sur le feuillage et la rapidité avec laquelle les feuilles vertes sont atteintes. Cette pratique d'effeuillage conduit à une variabilité de la surface photosynthétiquement active des plants entre agriculteurs, voire entre plants dans une parcelle et peuvent avoir une répercussion sur la production. En effet, selon Khan et Sugar (1967), Hewit et Ho (1986) les trois feuilles qui se trouvent au dessous du bouquet participent fortement à l'alimentation des fruits du bouquet.

### ✓ L'égourmandage

Cette pratique vise à maintenir les quelques tiges fructifères initialement sélectionnées lors de la taille. Ce qui varie entre agriculteurs, c'est la fréquence et l'intensité de l'opération.

Tableau II-13 : Caractéristiques des traitements phytosanitaires, par phase du cycle cultural, en termes de nombre de traitements et de type de produits utilisés dans les parcelles du réseau en 2003 et en 2005.

Code agri	Année	Fréq. théor. (jrs)	Nombre de traitements phytosanitaires par phase du cycle cultural															nb de matières actives		Nb trait. P-Ri	Nb total traitements	durée P au dernier traitement	Fréq. réelle (jours)	Nb prévu trait.	Différence prév - réal
			pépinière	1er trait. JAP	P-F/N			F/N-Ri			Ri-Rf			P-Rf			Ins.	Fong.							
					Total	Ins.*	Fong.*	Total	Ins.*	Fong.*	Total	Ins.*	Fong.*	Total	Ins.*	Fong.*									
moyenne	2003	9,2	1,4	12,6	3,0	1,6	2,5	3,8	3,0	3,0	2,1	1,8	1,2	8,9	6,4	6,6	2,0	2,0	6,8	8,9	85,2	11	10	-1	
maxi		14	2	22	6	5	6	8	7	11	10	7	7	23	12	17	3	5	13	23	122	18	17	10	
mini		7	0	4	1	0	0	1	0	0	0	0	0	4	2	1	1	1	3	4	49	4	5	-6	
éc-type		3,3	0,6	5,9	1,6	1,6	1,7	2,1	1,8	2,4	2,4	1,8	1,9	4,4	2,9	4,5	0,7	1,1	2,5	4,4	17,9	4	4	4	
%CV		36%	42%	47%	52%	98%	67%	55%	60%	81%	116%	100%	162%	49%	46%	67%	37%	53%	37%	49%	21%	36%	35%	-3	
moyenne	2005	7,9	1,6	11,1	3,3	2,6	2,8	4,4	4,0	3,3	2,0	2,1	1,3	16,6	8,9	7,4	2,6	2,8	7,8	9,8	76,6	8,2	9,8	0,1	
maxi		10	3	28	6	6	6	14	8	7	8	11	4	28	16	12	5	6	19	25	128	14	15	11	
mini		7	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	1	1	4	4	22	4	3	-4	
éc-type		1,4	0,6	6,0	1,2	1,9	1,2	2,6	2,0	1,9	2,2	2,6	1,4	5,6	4,0	2,8	1,4	1,6	2,8	4,1	22,6	2,3	2,9	2,8	
%CV		17%	39%	54%	37%	75%	43%	58%	50%	56%	107%	122%	109%	34%	44%	38%	56%	58%	36%	42%	30%	28%	29%	5123%	
moyenne	2003 à 2005	8,5	1,5	11,8	3,2	2,1	2,7	4,1	3,6	3,2	2,1	2,0	1,2	13,1	7,8	7,1	2,3	2,4	7,3	9,4	80,5	9,4	10,0	-0,5	
maxi		14	3	28	6	6	6	14	8	11	10	11	7	28	16	17	5	6	19	25	128	18	17	11	
mini		7	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	1	1	3	4	22	4	3	-6	
éc-type		2,5	0,6	5,9	1,4	1,8	1,4	2,4	2,0	2,1	2,3	2,2	1,6	6,3	3,7	3,6	1,2	1,4	2,7	4,2	20,9	3,4	3,2	3,4	
%CV		29%	40%	51%	44%	86%	54%	57%	55%	67%	110%	114%	133%	48%	48%	51%	52%	59%	37%	45%	26%	36%	32%	-626%	

Ins.\*, Fong.\* : nombre de fois où le produit a été utilisé (en mélange ou seul)

Tableau II-14 : Modalités de traitements phytosanitaires par rapport au cycle de récolte dans les parcelles du réseau.

Modalités de protection phytosanitaire	Sous modalités	Effectif	%
Protection insecticide et fongicide	Jusqu'à fin des récoltes	12	34,3%
	Jusqu'au début des récoltes	6	17,2%
Protection fongicide jusqu'à floraison/nouaison puis insecticide et fongicide	Jusqu'à fin des récoltes	7	20%
	Jusqu'au début des récoltes	3	8,5%
Protection insecticide et fongicide jusqu'à floraison/nouaison puis insecticide	Jusqu'à fin des récoltes	7	20%

On enregistre une variabilité du nombre de tiges par plant entre parcelles (1,1 à 5,7 en 2003, 1,4 à 6,6 en 2005) et au sein d'une même parcelle (CV = 2 % à 43% selon les parcelles en 2005). On observe jusqu'à huit tiges en moyenne dans certaines placettes (Ari, Sso). Les agriculteurs n'ont pas toujours le temps de passer régulièrement dans les parcelles pour ébourgeonner et effeuiller comme ils l'avaient initialement prévu. Si les gourmands portent alors des fleurs, certains agriculteurs ne les enlèvent pas systématiquement. A partir du stade de récolte, les ébourgeonnages sont moins fréquents, et les axillaires supplémentaires se développent jusqu'à porter des fruits. En fin de cycle, les plantes qui ont été effeuillées sévèrement ont un aspect de balai de sorcière avec deux à trois tiges principales et des ramifications secondaires, localisées surtout vers le haut de la plante. C'est le cas de Cbk, Zky et Abs.

En considérant le nombre moyen de tiges par plant en fonction du type/groupe foncier d'agriculteur, on se rend compte qu'il varie de 2,8 à 5,1. Les plus faibles valeurs (2,8 à 3,9) concernent les types avec une certaine assise foncière et avec une stratégie d'intensification des cultures (b1/gf1, b3/gf1, b2/gf3), et les plus fortes valeurs (4,8 et 5,1) relèvent des types présentant une forte instabilité foncière (b2/gf2 et b2/gf4).

#### 4.3.7. La protection phytosanitaire

Nous avons pu mettre en évidence deux stratégies de traitements :

- L'une vise à minimiser le risque parasitaire. Dans ce cas, le plus fréquemment rencontré, les agriculteurs prévoient de traiter pendant tout le cycle cultural. Pendant la période des récoltes, ils traitent juste après une récolte en utilisant un insecticide à délai avant récolte de trois jours (Décis<sup>®</sup> ou Karaté<sup>®</sup>) pour lutter contre les insectes (« *biby* ») et avoir de « *beaux fruits* ».
- L'autre stratégie vise aussi à réduire le risque parasitaire mais tout en minimisant le coût des traitements phytosanitaires. Dans ce cas, ces agriculteurs acceptent de perdre un peu de production. Ils ne traitent pas pendant la récolte, et justifient ce choix par la cherté des produits et l'action très limitée des traitements tardifs sur la production, mais aussi par un souci de santé publique (cas de Adb, Ybo). Ils considèrent que les derniers bouquets qui portent de petits fruits noués au moment de la première récolte ne grossiront pas ou alors très peu.

#### ✓ **La fréquence des traitements**

Le tableau II-13 indique la fréquence et le nombre de traitements réalisés sur les parcelles suivies. On constate que le nombre de traitements réalisés est souvent inférieur aux prévisions avec un intervalle moyen entre deux traitements variant de 4 à 18 jours en 2003 et de 4 à 14 jours en 2005. Plusieurs raisons peuvent expliquer cet écart :

- les fréquentes ruptures de stocks chez les fournisseurs locaux d'intrants agricoles, causant quelquefois des retards dans les dates de traitement, voire l'annulation du traitement initialement prévu par manque de produits ;
- le coût relativement élevé des produits conduisant certains producteurs à en économiser en diminuant les doses et la fréquence des traitements ;
- le manque de matériel de traitement. Certains agriculteurs possèdent un pulvérisateur en propre, d'autres s'en partagent un à plusieurs. Ceux qui n'en ont pas l'empruntent à un autre agriculteur ; ainsi, par manque de pulvérisateur, certains traitements ne peuvent pas être effectués à la date initialement prévue.

Le nombre de traitements au champ varie également fortement : de 4 à 23 en 2003 avec une moyenne de 8,9 (CV = 49%) et de 4 à 25 en 2005 avec une moyenne de 9,8 (CV = 42%). Un traitement correspond à une pulvérisation foliaire contenant un seul produit ou plusieurs produits en mélange (exemple : Dithane<sup>®</sup> + Décis<sup>®</sup>).

40% des producteurs enquêtés disent réaliser un traitement tous les 7-8 jours en moyenne, 27% tous les 4-5 jours, 16,5% tous les 10-12 jours et 16,5% tous les 15 jours.

Le premier traitement est positionné entre 2 à 28 jours après plantation (JAP) et à 12 JAP en moyenne (CV = 51%). La date de fin de traitement est fonction de la stratégie de l'agriculteur comme cela été présenté au chapitre précédent (minimisation du risque ou minimisation des coûts). Ainsi, la plupart des producteurs (74,3%) traitent pendant tout le cycle avec un traitement tous les trois jours en période de récolte (et ce après chaque récolte) en veillant à respecter les délais avant récolte. 25,7% ne réalisent aucun traitement pendant la phase de récolte (Tableau II-14).

On note une évolution dans l'utilisation des fongicides et insecticides en cours de culture. En effet, en début de cycle (de la plantation à la nouaison), le nombre de traitements fongicides est généralement supérieur au nombre de traitements insecticides. En revanche, de la nouaison à la première récolte, les agriculteurs ont tendance à utiliser plus d'insecticides que de fongicides, et on retrouve un équilibre entre ces deux types de traitement durant la phase de récolte. Pour eux, les insecticides servent surtout à protéger les fruits contre les ravageurs d'où les traitements surtout à partir de la nouaison. Les mouches de la tomate ou les noctuelles attaquent effectivement les fruits quand ils sont petits ou gros, mais les autres ravageurs foliaires (mineuses, acariens, aleurodes), les champignons et bactéries parasitent la plante à n'importe quel stade de développement. La décision d'attendre le stade floraison pour traiter avec un insecticide ne serait pas appropriée dans le cas d'une lutte chimique préventive.

La plupart des agriculteurs enquêtés font la différence entre insecticides et fongicides. Par contre, ils ont tous des difficultés à identifier les maladies et ravageurs.

Ils utilisent des produits à large spectre tels que Décis<sup>®</sup>, Karaté<sup>®</sup> et Dithane<sup>®</sup> afin de pouvoir lutter respectivement contre la plupart des insectes et des maladies fongiques.

Cependant, des doutes subsistent quant à l'efficacité de certains produits (Dithane<sup>®</sup>, Norsineflo<sup>®</sup>, Bouillie Bordelaise<sup>®</sup>) vis-à-vis de la corynesporiose eu égard à sa persistance malgré la fréquence des traitements. Cela a été constaté par quelques paysans mais aussi par le Cirad dans différents essais agronomiques sur tomate en station. Des essais d'efficacité de produits phytosanitaires en milieu contrôlé devraient pouvoir contribuer à lever ce doute.

On observe une certaine variabilité concernant l'usage des matières actives. Les producteurs utilisent en moyenne deux insecticides différents (CV = 45%) et deux fongicides différents (CV = 54%). De même, on observe une variabilité concernant la succession dans le temps ou au contraire la concomitance des apports de fongicides et d'insecticides. Comme nous l'avions évoqué précédemment, certains mélangent des matières actives contrairement à d'autres.

### ✓ Les dosages

L'analyse des doses utilisées révèle une forte variabilité et la plupart du temps des doses éloignées des recommandations (surdosage ou sous-dosage) chez l'ensemble des producteurs enquêtés, et ce, malgré les passages réguliers des conseillers agricoles. Les recommandations sont tirées de l'Index Phytosanitaire édité chaque année par l'Acta (2007).

On constate que l'agriculteur raisonne de nombreuses opérations culturales (irrigation, taille, fertilisation) au plant alors que les doses sont données par les firmes phytopharmaceutiques à l'hectare, et celles préconisées par les conseillers agricoles de l'île sont volumiques (telle dose dans 10 litres d'eau). L'agriculteur a besoin de savoir quelle quantité de produit mettre dans le pulvérisateur, et combien de pulvérisateurs il doit utiliser pour traiter une certaine quantité de plants. Aucun conseil n'existe quant à la conduite au plant. Il en résulte une grande variabilité des pratiques chez les agriculteurs et une forte confusion entre produits : il semble que les producteurs extrapolent, « faute de mieux », les doses volumiques fournies pour les produits les plus courants (Dithane<sup>®</sup>, Bouillie Bordelaise<sup>®</sup>, Décis<sup>®</sup> et Karaté<sup>®</sup>) aux nouveaux produits. D'où des sur-dosages en certains produits ou au contraire des sous-dosages. Ces pratiques résultent de la volonté de l'agriculteur de lutter efficacement contre les parasites (« *il faut mettre assez de produits si on veut tuer les bibys* », « *si on met un petit peu ça ne marche pas* ») mais aussi d'économiser les produits (« *ça coûte cher* »). Il semble par ailleurs que les produits en poudre soient plutôt sur-dosés et les liquides sous-dosés. Ce type de comportement se retrouve également dans d'autres agricultures tropicales (Huat, 2002).

Tableau II-14 : Modalités de traitements phytosanitaires par rapport au cycle de récolte dans les parcelles du réseau.

Modalités de protection phytosanitaire	Sous modalités	Effectif	%
Protection insecticide et fongicide	Jusqu'à fin des récoltes	12	34,3%
	Jusqu'au début des récoltes	6	17,2%
Protection fongicide jusqu'à floraison/nouaison puis insecticide et fongicide	Jusqu'à fin des récoltes	7	20%
	Jusqu'au début des récoltes	3	8,5%
Protection insecticide et fongicide jusqu'à floraison/nouaison puis insecticide	Jusqu'à fin des récoltes	7	20%

Tableau II-15 : Diversité d'itinéraires techniques observés sur les années 2003 et 2005.

Type itinéraire technique	ITK1	ITK2	ITK3	ITK4	ITK5	ITK6	ITK7	ITK8	ITK9	ITK10	ITK11	ITK12	ITK13
Travail du sol	mécanisé					manuel			manuel	manuel	mécanisé	manuel	
Positionnement du semis	Après travail du sol				Avant travail du sol								
fumier (t/ha)	< 6	0	0	?	0	< 6	6 à 10	12 à 20	6 à 10	< 6	12 à 20		
Densité de plantation	15-20 000	28-40 000	25-30 000	20-25 000	< 20 000	< 20 000	20-30 000			> 30 000	> 35 000		
Tuteurage	oui	oui	oui	non	oui								
Taille	non	oui	oui	non	oui								
Eff. - égourmandage	non	sévère	normal	non	normal	normal	normal	normal	moyen	normal	sévère	normal	
Fertilisation NPK (kg/ha)	700	> 900	< 300	?	500-700	< 300	< 300	700-1100	< 300	> 1000	< 400	> 1000	700-1100
Irrigation	arrosage manuel au trou												
Protection phytosanitaire	Traitements fongicides et insecticides												
effectif	Adb	Cbk, Zky	Sma	Smd	Ari	Lep, Ssa, Nai, Ybo, Nou, Aso	Zmo, Zal	Mas, Ybo, Smy	Nba	Lep, Ali	Mbo, Mhs, Sso	Abs	Inr, Ord

Tableau II-16 : Evolution des pratiques culturales de six agriculteurs entre 2003 et 2005.

Agriculteur	2003	2005
Lep (type b2)	Travail du sol mécanisé Fumier : 4 à 7,5 t/ha Engrais : < 100 kg/ha	Travail manuel du sol Fumier : 13 à 15 t/ha Engrais : 1000 à 1100 kg/ha Paillage en juillet et août à cause manque d'eau
Mhs (type b2)	Fumier : 9 à 10 t/ha Engrais : < 200 kg/ha	Fumier : 7,5 à 8,5 t/ha Engrais : 300 à 400 kg/ha
Sma (type b1)	Variété : King-Kong Fumier : aucun Engrais : 325 kg/ha Précédent : maïs	Variété : Calinago Fumier : aucun Engrais : 133 kg/ha Précédent : jachère
Ybo (type b1)	Fumier : 6 t/ha Engrais : 240 kg/ha	Fumier : 6,5 t/ha Engrais : 770 kg/ha
Adb (type b1)	Variété : Caraïbo Fumier : 5 à 6 t/ha Engrais : aucun Tuteurage, taille, égourmandage	Variété : Carioca Fumier : aucun Engrais : 450 à 650 kg/ha Tuteurage, taille mais pas d'égourmandage
Nba (type C)	Mois de plantation : mai Fumier : 15 à 24 t/ha Engrais : 150 à 250 kg/ha	Mois de plantation : août Fumier : 11t/ha Engrais : aucun



#### 4.4. La diversité des conduites techniques observées

Nous avons vu que la formalisation des règles de décision inspirées des travaux de Aubry (1995) et Dounias (1998) permet de rendre compte des raisonnements techniques des agriculteurs que nous avons enquêtés. L'analyse des pratiques, opération par opération, a montré une grande diversité de modes de conduite technique de la tomate. En retenant les opérations où une grande variabilité a été constatée et en tenant compte de la succession des opérations, on peut différencier treize types d'itinéraires techniques (ITK) (Tableau II-15).

Nous n'avons pas pris en considération les éléments techniques qui nous apparaissaient peu discriminatoires et ceux qui répondaient davantage à une opportunité ou à une contrainte qu'à un choix technique délibéré. Nous avons donc écarté le précédent cultural car la plupart des agriculteurs du type b2 (les clandestins) ne se préoccupe pas du précédent lorsqu'ils négocient le prêt ou la location d'un terrain maraîcher. C'est le propriétaire foncier qui décide *in fine* de l'emplacement où sera pratiqué le maraîchage. Nous n'avons pas retenu la date de semis car tous les agriculteurs planifient le démarrage des plantations dès la fin de la saison des pluies, et que celles-ci démarrent effectivement entre les mois de mai et juin.

ITK1 et ITK4 se distinguent nettement des autres itinéraires par l'absence de taille, d'effeuillage et égourmandage. Le positionnement du semis (avant ou après le travail du sol), le type de travail du sol, la densité de plantation, les quantités d'engrais et de fumier apportées permettent de discriminer les itinéraires techniques et de faire ressortir deux logiques de production :

- Une logique de production intensive où le rendement maximum est recherché par l'agriculteur. Cela se traduit par un investissement important en intrants (engrais, pesticides) et en travail (cas de Cbk, Zky, Ala, Ali, Lep, Inr, Ord...). Un agriculteur comme Ord emploie jusqu'à quatre ouvriers (clandestins comme lui) sur son exploitation. Les densités de plantation sont généralement élevées (30 à 45 000 plants/ha), les apports d'engrais élevés (plus de 1 t/ha), et les apports de fumier peuvent dépasser 20 t/ha. Abs (ITK12) et Cbk (ITK2) cherchent à limiter au maximum la pression parasitaire en effeuillant sévèrement les plants en plus des traitements phytosanitaires préventifs qu'ils réalisent.
- Dans l'autre logique de production, l'agriculteur souhaite également obtenir un rendement élevé, mais il limite néanmoins les quantités d'intrants (cas de Zal, Nou, Aso, ...) et/ou l'investissement en travail (cas de Adb, Abh, Sma, Smd,...). L'agriculteur recherche plutôt à limiter des coûts de production.

Ces différents types d'itinéraires techniques sont indépendants de la situation administrative de l'agriculteur. Ce n'est pas parce qu'il est clandestin qu'il investit peu dans les cultures, en temps de travail et en intrants. Bien au contraire, ce sont souvent les agriculteurs du type b2 qui consomment le plus d'intrants (engrais, pesticides, fumier) et de temps de travail en maraîchage. Le facteur de production d'accès le plus incertain pour ce type d'agriculteurs demeure le foncier.

### 5. Comparaison des pratiques entre 2003 et 2005

La comparaison des pratiques entre 2003 et 2005 pour les six agriculteurs suivis pendant ces deux années (Lep, Mhs, Sma, Ybo, Nba, Adb) permet de vérifier la stabilité du modèle d'action et analyser les évolutions possibles des pratiques et leurs déterminants (Tableau II-16).

Les évolutions constatées entre 2003 et 2005 sont de plusieurs ordres selon les agriculteurs. On relève une augmentation des quantités d'engrais et de fumier apportées entre 2003 et 2005 pour quatre agriculteurs (Lep, Mhs, Ybo, Adb) traduisant une certaine intensification de la culture. Nba, quant à elle, n'a pas apporté d'engrais en 2005 et beaucoup moins de fumier en 2005 qu'en 2003. Cette agricultrice

préfère planter de la tomate en début de saison (ce qu'elle avait fait d'ailleurs aussi bien en 2003 qu'en 2005) pour pouvoir vendre les tomates sans problème et à un prix élevé. La parcelle mise en culture tardivement en août 2005 n'était pas initialement prévue, et compte tenu des charges de travail importantes sur l'exploitation, la décision a été prise de limiter les charges d'intrants (engrais et pesticides notamment) ainsi que la main-d'œuvre affectée à l'entretien de cette parcelle.

Un agriculteur (Adb) a décidé de ne pas égourmander en 2005 pour vérifier si cette pratique procure un gain de production ou de plus beaux fruits. Il a également remplacé les apports de fumier par de l'engrais minéral qui est plus facile à épandre et ne pose pas de problème de transport comme le fumier.

Sma et Adb ont remplacé les variétés utilisées en 2003, King Kong et Caraïbo, par Calinago et Carioca en 2005 pour cause de semences non disponibles chez les vendeurs d'intrants agricoles. Ils ont donc été contraints de s'adapter à la situation, et ont opté pour Calinago et Carioca qui sont des variétés bien connues des agriculteurs.

Lep a réalisé un travail manuel du sol en 2005 ne pouvant obtenir dans les délais souhaités une intervention mécanisée.

Globalement, les pratiques culturales entre 2003 et 2005 ont peu évolué et traduisent surtout une adaptation aux contraintes exogènes de l'exploitation (accès aux intrants et aux machines agricoles), et dans le cas de quelques agriculteurs, l'augmentation des quantités d'engrais et de fumier semblent traduire réellement une volonté d'intensifier par les intrants pour essayer d'obtenir de meilleurs rendements.

## 6. Conclusion

En nous basant sur les modèles de technique de culture et de succession de cultures issus du concept de modèle d'action, déjà éprouvé en cultures annuelles (Aubry, 1995, Aubry *et al.*, 1998, Dounias, 1998), nous avons pu montrer comment la construction des systèmes de cultures maraîchers et les pratiques de conduite d'une culture, celle de la tomate ici, était fortement conditionnée par les incertitudes qui pèsent sur l'accès aux ressources productives.

Les résultats sur l'analyse de la constitution des systèmes de culture maraîchers ont tout d'abord révélé que ces systèmes présentaient des particularités par rapport aux grandes cultures :

- les cycles de culture sont courts, permettant ainsi la réalisation de plusieurs cycles de cultures successifs sur une même parcelle dans une même année, voire une même saison : jusqu'à deux cycles de tomate pendant la saison sèche dans notre cas ou encore trois cycles de laitue ou de brèdes). On dispose ainsi de la variable « nombre de cycles successifs d'une culture » (NCS) sur l'année (ou la saison) comme élément supplémentaire de caractérisation des systèmes de culture maraîchers en plus de la variable « NCsole ». N'Dienor (2006) avait déjà introduit cette variable NCS en culture de tomate de plein champ. Elle peut être interprétée comme une extension du concept de délai de retour (DR).
- Une consommation relativement intensive d'intrants (engrais, fumier, pesticides, eau) et de main-d'œuvre du fait d'une agriculture fortement manuelle. La disponibilité en main-d'œuvre restreint pour partie la taille de la zone cultivable (ZC) et peut être à l'origine de retard dans la réalisation d'une opération agricole ou encore de l'allongement de la durée d'une opération et induire de fait une hétérogénéité au sein du peuplement végétal. Cela concerne particulièrement les travaux exigeants en temps de travail et répétitifs pendant le cycle cultural (désherbage, ébourgeonnage, effeuillage...). Dans le cas du désherbage de la tomate par exemple, l'agriculteur peut décider d'étaler ce travail sur plusieurs jours à l'échelle de la parcelle, voire d'arrêter l'opération en cours d'exécution au cas où il doit assurer d'autres opérations prioritaires telles que l'irrigation, le

traitement phytosanitaire, l'égourmandage. Une partie de la parcelle sera alors complètement désherbée et une autre laissée enherbée jusqu'à la date du prochain désherbage prévu. D'une manière générale, l'agriculteur semble privilégier, autant que possible, des ajustements de l'organisation du travail en fonction des ressources structurelles de l'exploitation qu'il peut mobiliser facilement (main-d'œuvre familiale par exemple) au lieu de recourir à des solutions externes comme le recrutement d'ouvriers temporaires bien que le secteur agricole dispose d'une main-d'œuvre extérieure « bon marché » et abondante (représentée par les clandestins). L'organisation du travail et la conduite technique d'une culture sont étroitement liées, et on rencontre ainsi fréquemment des ajustements de l'organisation des ressources en main-d'œuvre et en équipement (Chatelin *et al.*, 1993).

- Une diversité de légumes avec différents types de culture (légumes feuilles, légumes fruits, légumes-racines et tubercules) et différents positionnement des cycles culturaux dans la succession annuelle. Cette grande diversité est à l'origine d'un découpage plus ou moins important du territoire maraîcher en parcelles culturales, qui peut être opéré aussi bien à l'échelle de la saison de culture qu'à l'échelle supra-annuelle.

A l'échelle de la saison de culture maraîchère, on retrouve les notions de lots de cultures et lots de parcelles décrites en grande culture (Aubry *et al.*, 1998). Ainsi, pour une date de semis de tomate donnée, et selon l'espace disponible dans l'exploitation et les successions culturales possibles, l'agriculteur peut implanter plusieurs parcelles de tomates, géographiquement disjointes, en constituant un lot de parcelles (même date de plantation et même itinéraire technique), ou alors implanter plusieurs parcelles de tomate à des dates différentes (lot de cultures). Notre constat se rapproche de celui de Navarrete *et al.* (1999) dont les travaux sur la planification de la production de laitue dans le sud de la France ont permis d'introduire la notion de « type de culture », défini par l'itinéraire technique et la position du cycle dans la succession annuelle.

L'incertitude d'accès au foncier pour une certaine catégorie de producteurs explique pour partie la variabilité de systèmes de culture rencontrés (culture maraîchère en intercalaire d'agrumes ou de bananiers, culture maraîchère sous cocoteraie, culture succédant à une friche). En effet, certains agriculteurs (les clandestins surtout) se font prêter un terrain ou le louent pendant une année ou une saison culturale, sans aucune garantie de pouvoir l'exploiter l'année suivante. La zone à cultiver est généralement indiquée par le propriétaire foncier. Dans ces conditions, nous avons vu qu'il était très difficile d'identifier les successions de culture à l'échelle supra-annuelle. La notion de précédent-suivant pour ces agriculteurs n'est pas prise en compte dans la constitution des systèmes de culture à l'échelle annuelle mais seulement à l'échelle infra-annuelle.

On a remarqué que le sens et la taille des parcelles culturales peuvent varier d'une année sur l'autre, mais également d'une culture à une autre suite à un redécoupage des parcelles, avec comme conséquence possible la création d'une hétérogénéité intraparcellaire en terme de précédent culturel. En effet, une même parcelle de tomate peut ainsi recouvrir deux à trois précédents culturaux : une partie de la parcelle peut avoir par exemple comme précédent du chou et une autre partie de la laitue. Ce type de situation montre ainsi la difficulté pour l'agriculteur d'appréhender l'histoire de la parcelle et de mesurer les effets précédents et cumulatifs sur la culture suivante.

Nous avons vu également que la proximité d'une source d'eau est le déterminant principal de la localisation des parcelles maraîchères en saison sèche, quelle que soit l'espèce maraîchère considérée. Pour les espèces sensibles au flétrissement bactérien des Solanacées (tomate, aubergine, poivron...), le deuxième critère de localisation des espèces est la sensibilité à des parasites telluriques.

Cependant, si l'agriculteur organise la disposition des parcelles maraîchères en fonction de l'accès à l'eau, la zone cultivable (ZC) jugée favorable en saison sèche ne le sera plus en saison des pluies compte tenu des risques d'inondations des terres. En effet, le maraîchage est surtout pratiqué dans les plaines et les zones de bas fonds. En maraîchage de plein champ, on observe donc une évolution spatio-temporelle de la variable ZC sous l'action de l'aléa climatique « pluviométrie ». Cette variable est également l'indicateur qui marque le début de la campagne de production maraîchère (de saison

sèche) et rythme en quelque sorte le calendrier cultural et le nombre de cultures possibles pendant la campagne sur une parcelle culturale donnée. Ce nombre est fonction de l'intervalle de temps pendant lequel l'agriculture peut faire cette culture. En ce qui concerne la conduite de la tomate que nous avons suivie, l'agriculteur peut réaliser au maximum deux cycles successifs de tomate pendant la saison sèche. Cet intervalle de temps IT maximum (ITmax) est délimité par la date la plus précoce pour l'implantation de la première culture (correspondant au ressuyage des terres) et la date la plus tardive pour la récolte (correspondant à l'arrivée des premières grosses pluies et des fortes chaleurs de saison des pluies).

Nous avons relevé deux stratégies possibles en matière de plantations de tomate sur l'exploitation, l'une d'étalement et l'autre de concentration. Dans le premier cas, on rencontre de la tomate sur l'exploitation pendant toute la période de saison sèche, c'est-à-dire pendant ITmax. Dans le deuxième cas, l'intervalle de temps IT est réduit pour des raisons commerciales : l'agriculteur ne plante de la tomate qu'en début de saison pour avoir de bons prix (cas de Nba). L'étalement des semis et des plantations répond à l'aléa sur les prix rencontrés en cours de saison : élevés en début de saison, faibles en pleine saison (juillet-août) et élevés à nouveau en fin de saison (novembre-décembre). Néanmoins, cette tendance n'est pas la règle : par exemple en 2007, les prix sont restés à un niveau élevé sur toute la saison sans que les raisons soient clairement identifiées (démarrage tardif de la campagne de tomate ? superficies mises en cultures inférieures aux années précédentes ? rupture d'approvisionnement en engrais ? contrôle des exploitations par la Police de l'Air et des Frontières et l'Inspection du travail ?).

Comme nous avons vu, le nombre de parcelles affectées à la tomate à chaque cycle cultural définit la sole de tomate, et on peut donc repérer plusieurs soles au cours de l'ITmax. Cette conception prend en compte la durée courte des cycles de culture en maraîchage.

La variabilité des modes de conduite peut être reliée à des caractéristiques des ressources productives des exploitations : disponibilité en équipement, main d'œuvre, disponibilité en intrants, statut du foncier. Ainsi, la date d'implantation de la tomate en début de campagne résulte avant tout d'un événement climatique (fin de la saison des pluies) et d'un niveau suffisant de ressuyage du sol permettant le labour mécanique ou le travail manuel du sol. Si le chantier de préparation d'implantation est strictement manuel, c'est la ressource en travail qui va conditionner la taille de la sole tomate. L'agriculteur n'ayant aucune emprise sur la date de fin de saison des pluies, la date du premier semis et par ricochet celles des séquences suivantes, sont assujetties à l'aléa climatique.

La date de plantation est également fonction de la disponibilité des engins agricoles, que l'agriculteur ne maîtrise pas non plus. On observe alors deux comportements selon la stratégie commerciale des agriculteurs : ceux qui acceptent un passage tardif du tracteur sur l'exploitation avec le risque de perdre les plants de tomate semés en pépinière (plants trop âgés), et ceux qui adoptent une solution de rechange en travaillant manuellement le sol dès lors que les plants en pépinière ont atteint un certain âge (20 à 25 jours) pour respecter leur programme prévisionnel de plantation. Sur l'ensemble de l'échantillon, la date de première plantation de tomate s'est étalée du 3 mai au 27 juin en 2003 et du 5 mai au 20 juillet en 2005.

L'analyse des pratiques a également mis en évidence une variabilité des modes de gestion de la végétation (tuteurage, taille, égourmandage, effeuillage) et du parasitisme dont l'impact sur la production n'est pas connu. Les techniques de traitements phytosanitaires sont mal maîtrisées (sur-dosages, sous-dosages, nombre restreint de pesticides, reconnaissance limitée des maladies et ravageurs ...) et se pose la question de l'impact des traitements sur l'état sanitaire du peuplement végétal. On a observé une forte variabilité dans le nombre de traitements au champ (4 à 25) et la date de positionnement du premier traitement (12 jours après plantation en moyenne avec un coefficient de variation de 57%). Cette variabilité traduit pour partie les difficultés qu'ont les agriculteurs chaque année à se procurer des pesticides en début de campagne. Les agriculteurs sont contraints par l'offre limitée et incertaine en pesticides, mais aussi en engrais et en semences. Sur cette dernière, certains agriculteurs usent de solutions de rechange en produisant eux-mêmes des semences ou en important directement des îles voisines par des canaux officieux pour pouvoir démarrer la campagne sans être dépendant des fournisseurs locaux d'intrants.

Nous avons vu que l'agriculteur combine, au cours du cycle cultural de la tomate, plusieurs types d'unités de gestion à des échelles spatiales différentes selon les opérations à mettre en œuvre :

- le trou de plantation pour les opérations de plantation, d'arrosage, de fertilisation, de traitements phytosanitaires et de conduite de la végétation ;
- la ligne de plantation (ou la planche) pour les opérations de taille, de désherbage ;
- la parcelle pour le labour mécanique par exemple.

L'unité de base de la gestion technique est le trou de plantation. Il constitue, au même titre que la parcelle, autre unité de gestion qui recouvre, elle, l'ensemble des unités de base, l'espace où s'appliquent mais aussi se conçoivent des techniques (Aubry *et al.*, 1998). Il y a nécessité de prendre en considération ces différentes échelles pour apporter des conseils techniques adaptés aux pratiques des agriculteurs. Ainsi, en matière de traitements phytosanitaires, l'encadrement agricole formule actuellement des recommandations en termes de dose par unité de surface alors que l'agriculteur raisonne par nombre de pieds de tomate plantés et par pulvérisateur.

En culture irriguée et fortement manuelle qui caractérise nos systèmes de cultures maraîchers, l'agriculteur ajuste régulièrement l'ordre des opérations et leur niveau de réalisation en fonction de la main-d'œuvre disponible et en se calant sur des stades repères culturaux, et cela notamment durant la période d'entretien de la culture pour des opérations consommatrices de main d'œuvre (sarclage, taille-égourmandage). Au Cameroun, en culture du sorgho (*Muskuwaari*), l'agriculteur a également du mal à bien définir les objectifs de conduite compte tenu des fréquents ajustements de l'organisation du travail dus aux événements pluviométriques au cours de l'avancement des chantiers (Mathieu, 2005).

L'agriculture mahoraise, quoique familiale, se distingue de la plupart des agricultures familiales africaines par le fait que les jeunes (enfants et adolescents) ne participent pas ou très peu aux travaux des champs pendant les week-ends et les vacances scolaires. Dans certains cas, le conjoint du chef d'exploitation participe occasionnellement à certains travaux (plantation, récolte et vente notamment). Le facteur limitant de l'extension des surfaces maraîchères semble être la ressource en main-d'œuvre. L'agriculteur qui travaille seul doit faire appel à des salariés, occasionnels ou permanents, au delà d'une certaine surface cultivée en tomate de l'ordre de 800 à 1000 m<sup>2</sup>.

Bien que la gamme de variabilité de la gestion technique n'ait certainement pas été complètement explorée compte tenu du dispositif d'enquête avec des échantillons partiellement différents d'une campagne à l'autre et de la taille réduite des échantillons, nous avons pu mettre en évidence une diversité de modes de conduite (13 types d'itinéraire technique). Cependant, nous n'avons pas trouvé de lien entre les itinéraires techniques recensés et les types de fonctionnement des agriculteurs, vraisemblablement à cause des incertitudes sur l'accès aux ressources qui les obligent à adopter souvent des solutions de rechange et des arbitrages en fonction des ressources disponibles.

Pour conclure sur cette partie, revenons enfin sur la notion d'incertitude sur les ressources. Nous avons vu que la principale est liée à la ressource foncière, et que d'autres fréquemment rencontrées sont celles liées à la disponibilité des équipements (tracteur) et à la main d'œuvre d'appoint. Notre analyse en termes de modèles d'action nous permet d'analyser les répercussions possibles de ces incertitudes sur les décisions de système de culture :

- en ce qui concerne l'incertitude foncière, nous avons vu qu'elle joue à plusieurs niveaux : sur le type de succession de cultures, mais aussi plus précisément sur les variables décisionnelles « taille de sole de tomate » et « nombre de cycles successifs » à l'échelle parcelle et enfin sur certaines décisions de conduite technique. Ainsi, la pratique de la double culture (NCS parcelle = 2) correspondrait à une forme d'adaptation à l'incertitude sur la ressource foncière (l'agriculteur ayant moins de surface qu'il avait prévu) face à l'opportunité économique d'étaler la production pour bénéficier de prix élevés sur la saison. Les agriculteurs qui ont peu de ressources en terre font à la fois des densités élevées et réalisent de forts pourcentages de tomate dans la sole maraîchère, qui peuvent entraîner des risques phytosanitaires différents sur les peuplements de tomate.
- l'incertitude sur la ressource équipement joue essentiellement sur la décision de positionnement temporel de la date de travail et donc se répercute sur la date de première plantation. A cet égard, la

traduction en est l'existence fréquente d'une modalité de rechange prévue (modalité manuelle de préparation) qui est activée dès lors qu'on dépasse une certaine date limite de plantation : c'est donc ainsi que face à une exigence prioritaire de date de plantation liée à un objectif commercial, les agriculteurs « intègrent » l'incertitude sur l'accès à l'équipement.

- L'incertitude sur la main d'œuvre (ressource temporaire) se traduit elle plutôt en termes de pilotage essentiellement dans les opérations de conduite du peuplement (opérations d'effeuillage, d'égourmandage...) : c'est, en respectant l'unité de gestion « plant » pour la conduite de ces opérations, essentiellement à travers son étalement dans le temps sur la parcelle, donc le découpage de la parcelle de tomate en plusieurs sous-unités spatiales de pilotage, que se réalise cette prise en compte. Celle-ci a du coup comme conséquence la création possible d'une hétérogénéité d'états du peuplement au sein de la parcelle. Ainsi, il est possible, c'est ce que nous verrons dans la partie diagnostic agronomique suivante, que ces adaptations par les techniques et les modes de décision se traduisent par des conséquences sur la variabilité intra parcellaire d'états, voire de production. En effet, à cette hétérogénéité liée aux opérations « végétation » ne répond pas d'adaptation des opérations de traitements phytosanitaires : celles-ci restent planifiées et réalisées à l'échelle de gestion de la parcelle de tomate.

**TROISIEME PARTIE : DIAGNOSTIC  
AGRONOMIQUE DE L'EFFET DES MODES DE  
CONDUITE DE LA TOMATE SUR LA PRODUCTION**

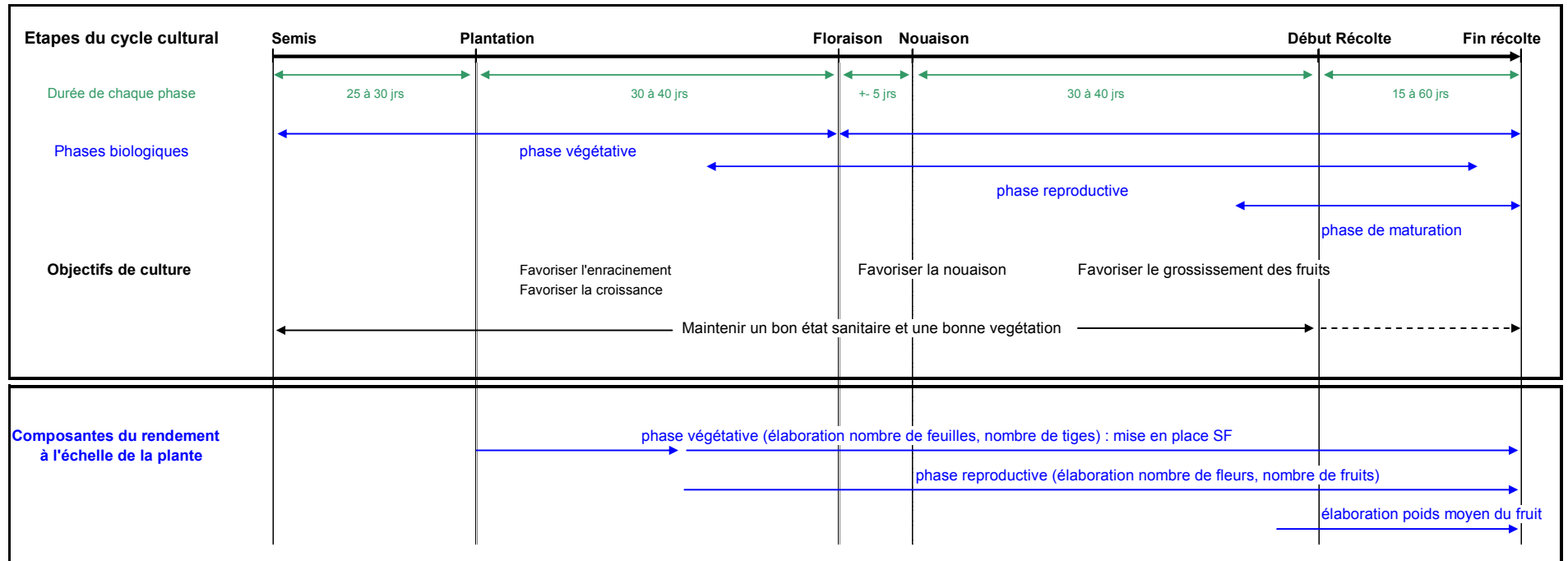




Dans ce chapitre, on cherche à expliquer *a posteriori* la variabilité des rendements de la tomate en milieu paysan et à identifier les caractéristiques du milieu et les techniques culturales à l'origine des variations de rendement. Pour cela, on s'appuie sur une méthode de diagnostic agronomique régional (Meynard et David, 1992 ; Doré *et al.*, 1997 ; Doré *et al.*, 2008). Appliqué à la variabilité des rendements dans une région donnée sur un échantillon représentatif de parcelles d'agriculteurs, le diagnostic agronomique permet de hiérarchiser les facteurs et conditions limitant la production dans les conditions locales, et donc de définir les actions prioritaires à entreprendre, en matière de conseil technique et de programmes expérimentaux. C'est un outil de base pour une démarche d'amélioration des systèmes de culture. Il comprend deux étapes complémentaires qui sont : i) l'analyse de l'élaboration du rendement en parcelles paysannes afin de déterminer la (les) phase(s) du cycle où la production a été affectée, ii) l'identification des caractéristiques permanentes du milieu et des systèmes de culture responsables des dysfonctionnements du peuplement végétal et des changements d'états du milieu.

L'analyse des modes de conduite de la tomate, détaillée au chapitre précédent, a mis en évidence un nombre important d'interventions manuelles sur la culture avec notamment des pratiques particulières de conduite de la végétation (tuteurage, taille, égourmandage, effeuillage) et de la gestion du parasitisme (effeuillage, lutte chimique). Compte tenu de l'importance des problèmes phytosanitaires en culture de tomate, du manque d'indicateurs pour quantifier leur impact sur le rendement, et de la fréquence des opérations consacrées à la conduite de la végétation, nous avons choisi de compléter le diagnostic par deux expérimentations, l'une en station, et l'autre en parcelles paysannes. L'essai effectué en station en 2004 vise à évaluer l'effet de différents modes de conduite de la végétation sur les composantes du rendement, et à fournir des références agronomiques pouvant contribuer à mieux expliquer les résultats du diagnostic réalisé en parcelles paysannes. Dans le même sens, l'expérimentation menée chez quatre agriculteurs en 2005, comparant deux stratégies de traitements phytosanitaires, a pour objectif de nous aider à mieux interpréter les observations faites sur le parasitisme dans le réseau de parcelles paysannes.

Figure III-1 : Cycle de développement de la tomate.



## CHAPITRE I : ELEMENTS DE BIBLIOGRAPHIE SUR LE FONCTIONNEMENT DU PEUPEMENT DE TOMATE

Avant d'aborder les résultats du diagnostic agronomique, nous présentons ici les principales connaissances sur la croissance et le développement de la tomate et sur le fonctionnement d'un peuplement de tomates en plein champ. L'objectif de cette synthèse bibliographique est d'aider à construire le dispositif de diagnostic agronomique en parcelles paysannes et les traitements expérimentaux, et à discuter les résultats obtenus.

### 1. Cycle de développement de la tomate et analyse des composantes du rendement

Le cycle de développement d'un plant de tomate peut être décrit schématiquement par trois grandes phases biologiques comme illustré par la figure III- 1 :

- la « phase végétative » qui correspond à la production phénologique exclusive d'organes végétatifs (feuilles et tiges) et comprise entre la levée et l'apparition de la première inflorescence ;
- la « phase reproductive » qui correspond à la période de production des fleurs et des fruits et qui démarre à la floraison pour s'achever en fin de culture ;
- la « phase de maturation » des fruits qui démarre sept à dix jours avant la récolte des premiers fruits et se termine à la récolte (Atherton and Rudich, 1986 ; Dumas, 1992).

Chez la tomate, la phase végétative et celles d'élaboration des fruits et d'accumulation des assimilats dans les fruits se chevauchent. L'analyse des composantes du rendement se révèle donc plus compliquée que pour des espèces où les phases végétative et reproductive sont bien disjointes. La tomate se rapproche en cela d'autres espèces comme le lupin, le pois ou le soja (Fleury, 1994). Par ailleurs, il existe deux grands types de variétés, celui à croissance dite déterminée et celui à croissance indéterminée. En plein champ, les producteurs cultivent surtout des variétés de type déterminé, alors que sous serre ce sont les variétés indéterminées qui priment. Une autre particularité à signaler en culture de plein champ est la conduite des récoltes, qui est fonction de la destination des fruits : en culture de tomate pour l'industrie, la récolte est unique et mécanisée alors qu'en culture pour le marché du frais, les producteurs étalent les récoltes sur plusieurs semaines. Cela a des conséquences sur la conduite de la culture en termes de gestion de la fertilisation, de l'irrigation, de la protection phytosanitaire notamment. A Mayotte, la tomate est cultivée essentiellement en plein champ et les récoltes, à l'échelle de la parcelle, sont étalées sur plusieurs semaines comme nous l'avons vu au chapitre précédent.

#### 1.1. Types de croissance de la tomate

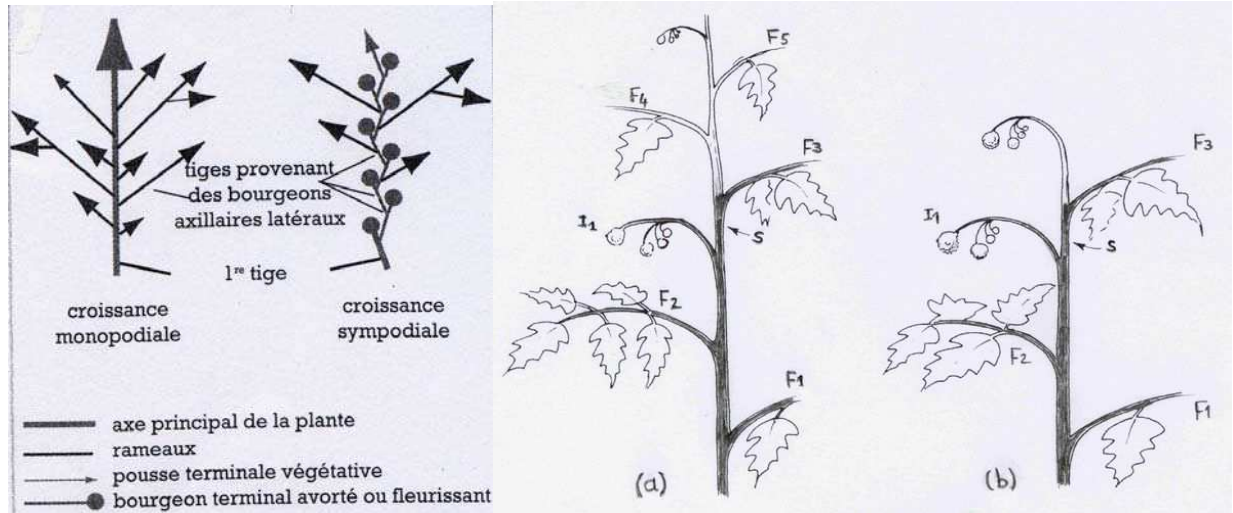
Si on parle de deux types de croissance pour la tomate, déterminée et indéterminée, il n'existe en fait qu'un seul mode de croissance sur le plan botanique. La tomate a une croissance sympodiale (Figure III-2 A). L'axe principal stoppe sa croissance précocement en avortant ou en développant une inflorescence à partir du bourgeon terminal. Les bourgeons axillaires, jusque là inhibés par la dominance apicale, permettent la reprise de croissance du plant. Le bourgeon latéral axillant la dernière feuille formée constitue un nouveau segment ou sympode qui se développe de façon identique aux précédents. Le sympode est formé typiquement de trois feuilles et entre nœuds et d'une inflorescence terminale (Figure III-2 B).

Chez les variétés de type indéterminé, dès que la première inflorescence est initiée, le bourgeon axillaire de la dernière feuille formée croît vigoureusement et forme le premier sympode. L'inflorescence et le nouveau sympode se développent parallèlement. Comme le nouveau sympode a une croissance plus rapide, l'inflorescence se trouve alors décalée en position latérale par rapport à l'axe de la tige.

Figure III-2 : Représentation du mode de croissance sympodiale de la tomate.

A : Schéma du mode de croissance  
(source : <http://sanangelo.tamu.edu>)

B : Deux types de croissance :  
(a) indéterminée, (b) déterminée  
(source : Atherton et Harris, 1986)



Légende : F1 à F5 = feuille 1 à 5 ; I1 = inflorescence 1 ;  
S = sympode

Chaque nouveau sympode se place exactement dans l'axe du sympode précédent (Figure III-2 B). Tant que les conditions de milieu sont favorables, ces plants produisent de nouveaux sympodes indéfiniment. Ces variétés sont cultivées surtout sous abri pour la production de tomate en hors-sol. Chez les cultivars de type déterminé cultivés en plein champ pour le marché du frais ou l'industrie, la croissance du bourgeon axillaire est moins vigoureuse et ne décale pas l'inflorescence déjà présente qui reste en position terminale. Chaque sympode se trouve alors en position de ramification par rapport au précédent. De plus, le nombre de feuilles et la longueur des entre-nœuds par sympode semblent diminuer avec la croissance du plant. Ceci tend à rapprocher de plus en plus les inflorescences, jusqu'à ce que finalement aucune feuille ne sépare plus les deux dernières inflorescences, ce qui met fin à la croissance du plant (Atherton and Harris, 1986 ; Migliorero *et al.*, 2004).

Dans ce qui suit, le terme de bouquet est utilisé pour désigner l'inflorescence ; celle-ci est une cyme, caractérisée par l'apparition successive des fleurs.

## 1.2. Développement de la tomate

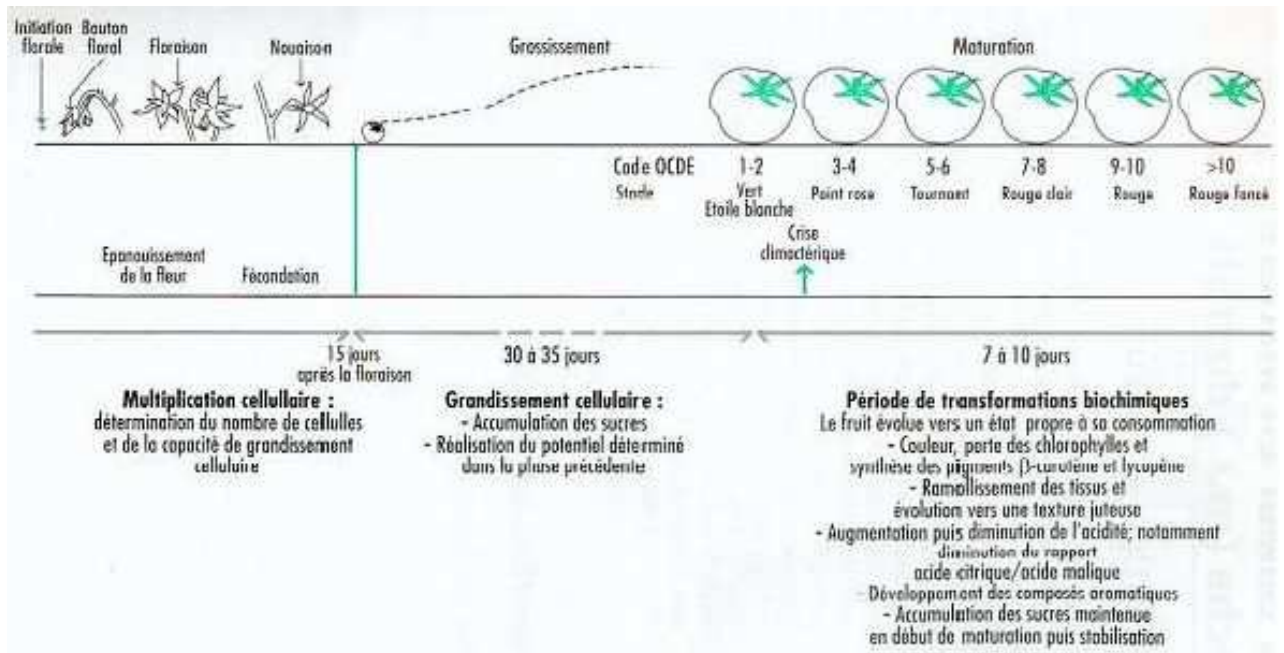
Les trois phases décrites ci-dessous prennent comme repères de début et fin de période des repères culturaux qui sont bien connus des maraîchers.

### Phase de croissance végétative : du semis à la floraison du premier bouquet

Au cours de cette phase juvénile, la transformation de l'apex en inflorescence terminale est précédée de l'émission de sept à onze feuilles, voire plus si les conditions de milieu (températures élevées et faible rayonnement notamment) sont défavorables (Atherton and Harris, 1986). Le nombre de feuilles sous le premier bouquet détermine les dimensions de l'appareil végétatif à la floraison (surface foliaire, biomasse), facteur majeur de l'équilibre ultérieur entre les appareils végétatifs et reproducteur, donc du rendement (Spithost, 1975). Cependant, dans nos conditions de culture de plein champ, les agriculteurs suppriment les feuilles apparues antérieurement au premier bouquet un peu avant ou pendant la pleine floraison du premier bouquet, comme moyen de protection contre le développement des parasites aériens. Sous serre où la température est fixée grâce au chauffage, le phyllochrone (c'est-à-dire l'intervalle de temps séparant l'apparition de deux feuilles successives) varie peu, de deux à trois jours suivant la période de l'année (la plus faible valeur en été et la plus forte en hiver), ce qui correspond à peu près à l'apparition d'un bouquet par semaine. En culture de plein champ où la température n'est pas contrôlée, le phyllochrone varie beaucoup plus que sous serre (Picken *et al.*, 1986).

L'initiation florale de la première inflorescence se produit dans les dix à vingt jours après l'écartement des cotylédons, entre l'apparition de la première feuille et le développement de la troisième feuille. Après l'initiation, il faut plus de dix à quinze jours pour que l'inflorescence soit distinguée à l'œil nu, puis encore environ quinze jours pour que s'ouvre la première fleur. La floraison débute ainsi généralement cinquante à soixante-cinq jours après le semis. La température est le principal facteur déterminant le développement des bourgeons floraux après leur initiation (Heuvelink, 2005). Les températures élevées favorisent la précocité de floraison, mais peuvent également induire l'avortement des bourgeons floraux ou leurs malformations, réduire la viabilité du pollen et par conséquent réduire le nombre de fruits (Dorais *et al.*, 2001). Ainsi, en culture de plein champ, Rylski (1979) montre que les avortements floraux du deuxième au cinquième bouquet augmentent lorsque la température passe de 17 à 27°C. A Mayotte, où les températures moyennes pendant la saison sèche sont comprises entre 23 et 29°C, des avortements floraux sont observés. Cependant, les avortements peuvent aussi bien être la conséquence d'un défaut de fécondation que de l'effet direct de la température (Levy *et al.*, 1978).

Figure III-3 : Développement d'un fruit de tomate (source : Grassely et al., 2000).



Chez les plantes exposées à un stress hydrique et à des températures élevées, une carence azotée favorise les avortements des bourgeons floraux (Abdalla and Verket, 1970). Besford and Maw (1975) ont observé des retards de floraison et des avortements de fleurs chez des plantes cultivées sur sable pauvre en potasse. Menary and Van Staden (1976) ont constaté que des plantes cultivées avec une solution nutritive privée de phosphore pendant dix jours exprimaient un retard de floraison de sept jours et une réduction du nombre de fleurs ouvertes de sept à trois sur le premier bouquet. La phase végétative peut être prolongée en cas de carence en macroéléments dans la zone racinaire. Takahashi *et al.* (1973) ont montré que l'initiation florale est retardée quand les apports en azote, en potasse et en phosphore sont faibles.

La conduite du plant en pépinière ainsi que la gestion de la fertilisation et de l'irrigation peuvent donc avoir des conséquences sur la précocité de floraison et la variation du nombre de fleurs et de fruits par bouquet. En effet, si le nombre de fleurs par bouquet est une caractéristique variétale, 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 cinq et dix et n'est pas un facteur limitant de la production (Atherton and Harris, 1986). L'épanouissement des fleurs d'un bouquet s'étale sur environ une semaine. En culture sous serre, plusieurs auteurs (Cooper and Hurd, 1968a et 1968b ; Morgan and Clarke, 1975) ont montré qu'un retard de plantation diminue la vitesse de floraison, le nombre de fleurs par inflorescence et le taux de nouaison, le poids moyen des fruits et le rendement total.

#### De la floraison au stade récolte du premier bouquet

Cette période se caractérise par la superposition de la fonction reproductrice avec le fonctionnement végétatif. Dans le cas des variétés à croissance déterminée, les sympodes successifs comportent un nombre de feuilles qui se réduit progressivement de trois à zéro. En même temps qu'apparaissent ces nouvelles unités, les premières fleurs s'épanouissent pour donner naissance à des fruits après fécondation.

Le gradient d'apparition des fleurs 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 d'une semaine. Il joue un rôle 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 en premier qui sont les plus compétitifs (Ho and Hewitt, 1986).

La période de croissance du fruit (de la nouaison à la maturité) dure environ deux mois en climat tempéré frais et dépend en grande partie de la température (Ho and Hewitt, 1986). Par exemple, pour de la tomate cultivée sous serre, cette durée peut varier de soixante-treize jours à 17°C à seulement quarante-deux jours à 26°C (Heuvelink, 2005). En zone tropicale, les températures relativement élevées permettent d'accélérer le développement du fruit et de hâter sa maturité mais elles agissent aussi sur la diminution du calibre du fruit. Au cours de cette phase, le nombre de fruits en cours de grossissement et donc la charge de fruits va augmenter sans cesse jusqu'au début de la récolte. C'est durant cette période qu'il y a la plus forte production de matière sèche et où les besoins de la plante en eau et éléments minéraux sont les plus forts (Dumas, 1992).

Le développement du fruit peut être divisé en trois phases de croissance distinctes (Ho and Hewitt, 1986 ; Grassely *et al.*, 2000) (Figure III-3) :

- i. Une première phase de croissance lente d'une quinzaine de jours après la floraison, pendant laquelle a lieu la majorité des divisions cellulaires. Pendant cette période se détermine un potentiel de croissance du fruit à travers le nombre de cellules formées. Le gain de poids est inférieur à 10%.
- ii. Une deuxième phase de croissance rapide jusqu'au stade vert mature. C'est pendant cette phase dite de grandissement cellulaire, que le potentiel généré à la première étape est plus ou moins réalisé selon les conditions climatiques et les équilibres végétatifs / génératifs de la plante.

Elle dure 3 à 5 semaines, la vitesse maximale ayant lieu à la moitié (Ho and Hewitt, 1986) ou au tiers (Jones *et al.*, 1991) de la période de croissance.

iii. Une troisième phase de sept à dix jours de faible croissance, phase de maturation, pendant laquelle le fruit évolue vers un fruit mûr, apte à être consommé. C'est essentiellement une période de transformations biochimiques qui dépend à la fois des composés stockés précédemment et de l'environnement du fruit pendant cette phase.

### De la récolte du premier bouquet à la fin des récoltes

Cette période est également marquée par la superposition du fonctionnement végétatif avec la phase reproductive. Pendant cette période, la charge en fruits devient maximale et un équilibre s'établit entre les fruits et les organes végétatifs quant à l'approvisionnement en assimilats. La biomasse produite par le couvert végétal et sa distribution entre les organes végétatifs (feuilles, tiges, racines) et reproducteurs (fleurs, fruits) sont des facteurs déterminants de l'élaboration du rendement (Grassely *et al.*, 2000). Le nombre de fruits par plante affecte la croissance des organes et la distribution des assimilats entre ces différents organes et agit directement sur la taille et l'épaisseur des organes végétatifs et le calibre des fruits. L'éclaircissage (ou taille des bouquets) par exemple conduit à augmenter le poids moyen des fruits restant sur la plante (Heuvelink, 2005).

En culture de tomate de plein champ pour l'industrie, la fin des irrigations intervient généralement une ou deux semaines avant la récolte unique pour accroître la quantité de matière dans les fruits. En revanche, pour l'approvisionnement du marché du frais, l'irrigation se poursuit jusqu'à la fin des récoltes, l'objectif étant d'étaler les récoltes.

### 1.3. Production de matière sèche

Le rendement d'une culture de tomate est déterminé par la biomasse totale, sa répartition au sein de la plante (fruits, tiges, feuilles, racines) et la teneur en matière sèche des fruits (Heuvelink and Dorais, 2005). Les rendements en plein champ de la tomate peuvent varier de 20 à 100 t/ha, alors que les rendements sous serre peuvent excéder 500 t/ha en Europe avec des maxima de 700 t/ha. Ces différences importantes de productivité sont dues : i) aux différences de durée de culture (11 à 12 mois sous serre, plus de 35 bouquets récoltés) et par conséquent au cumul du rayonnement intercepté et de la biomasse produite, ii) au contrôle et à l'optimisation des facteurs environnementaux (CO<sub>2</sub>, température, humidité et lumière), iii) aux techniques culturales intensives (culture hydroponique, densité de plantation, fertigation, taille des bouquets et effeuillage, égourmandage). En culture de plein champ, l'agriculteur n'a pas la maîtrise de certains facteurs du milieu tels que la température, la teneur en CO<sub>2</sub>, et doit par ailleurs adapter la gestion de l'irrigation et de la nutrition minérale en fonction des caractéristiques physico-chimiques du sol (Heuvelink and Dorais, 2005).

La production de biomasse d'une culture en champ peut s'interpréter comme une fonction d'efficacité du rayonnement global extérieur comme l'ont formalisé Monteith (1972), Varlet-Granchet et Bonhomme (1979). Parmi les caractéristiques du peuplement végétal susceptibles de jouer sur la biomasse, l'indice foliaire ou LAI (m<sup>2</sup> de surface foliaire/m<sup>2</sup> de sol) est le principal facteur de variation pour une espèce donnée (Varlet-Granchet et Bonhomme, 1979). En ce sens, les pratiques de taille, d'effeuillage et de palissages observées à Mayotte ont une action sur le nombre de sources photosynthétiques et par conséquent sur le potentiel photosynthétique du peuplement et la production de biomasse. Différents auteurs ont cherché à modéliser le fonctionnement d'un peuplement végétal, mais la plupart des travaux sur la tomate concernent davantage la tomate sous serre de type indéterminé que la tomate de plein champ (Bertin and Heuvelink, 1993 ; Dayan *et al.*, 1993 ; Heuvelink and Bertin, 1994 ; Gary *et al.*, 1995). En France, le modèle générique Stics (prévu également pour la tomate de plein champ) se base sur l'interception du rayonnement lumineux par le couvert végétal (Brisson *et al.*, 1998). Le modèle « Epic » (Cavero *et al.*, 1998) s'intéresse aussi au fonctionnement de la tomate de plein champ de type déterminé. Cependant, tous ces modèles simulent la croissance et le rendement d'un peuplement de tomate dans un environnement sain, exempt de maladies et ravageurs, ce qui n'est pas le



cas en plein champ surtout en zone tropicale comme à Mayotte, où les ravageurs et maladies sont nombreux et affectent indirectement la capacité photosynthétique du peuplement végétal en altérant la surface foliaire (exemple : nécrose des tissus végétaux par les champignons pathogènes) et le fonctionnement de l'alimentation hydrique et minérale.

### 1.3.1. Le rayonnement intercepté et l'indice foliaire

La quantité de rayonnement intercepté est un facteur prédominant pour la croissance de la tomate et la production de biomasse, et dépend surtout de la surface foliaire. La relation entre le rayonnement intercepté et l'indice foliaire peut être décrite comme une fonction exponentielle de l'indice foliaire (LAI) :  $y = 1 - e^{-0,83x}$  (Heuvelink and Dorais (2005)). Le rayonnement intercepté dépend de l'âge des plants (faible pour de jeunes plants), mais aussi de la distribution des feuilles au-dessus du sol et des techniques culturales (culture palissée ou non, paillage plastique au sol, effeuillage...). Pour une interception optimale et un rendement élevé en fruits d'une culture de tomate de plein champ, le LAI doit être compris entre quatre et cinq pour une densité de peuplement de 10 000 à 60 000 plants/ha, selon la variété, la fertilité du sol, le système d'irrigation et la disponibilité en rayonnement lumineux (Scholberg *et al.*, 2000). De faibles LAI réduisent l'interception du rayonnement et accroissent les pertes de rendement à cause des coups de soleil sur les fruits, tandis que les valeurs élevées de LAI peuvent retarder la nouaison et réduire l'efficacité des pulvérisations foliaires de pesticides (Scholberg *et al.*, 2000).

Heuvelink (2005) rapporte une relation linéaire entre le cumul du rayonnement photosynthétiquement actif (PAR) intercepté et la production totale de matière sèche pour une culture de tomate de type indéterminé sous serre. La pente de cette régression linéaire (exprimée en g de MS/MJ du rayonnement intercepté) varie de 2,8 à 4 g/MJ sans enrichissement de CO<sub>2</sub> dans la serre (Heuvelink and Buischool, 1995). De Koning (1993) observe une relation hyperbolique entre le PAR intercepté par une culture de tomate (2 à 7 MJ/m<sup>2</sup>/jour) sous serre et le taux de croissance du peuplement (g/m<sup>2</sup>/jour) avec une pente de 2,5 g/MJ environ. En tomate de plein champ, une pente de 2,4 g/MJ a été observée pour de la tomate semi-déterminée (Scholberg *et al.*, 2000) alors qu'une valeur de 2,4 g/MJ est généralement utilisée en culture de tomate industrielle (Cavero *et al.*, 1998).

La notion d'indice foliaire est associée à l'interception du rayonnement par un couvert homogène par unité de surface de sol. Le choix d'une surface de sol, dénominateur dans le calcul de l'indice foliaire, n'est pas toujours explicité par les auteurs (ce qui ne permet pas des comparaisons). On peut déterminer un LAI minimal qui correspond à la surface de sol maximale, celle de la parcelle cultivée (dans l'hypothèse de capture totale du rayonnement), ou un LAI maximal qui correspond à une surface de sol minimale, celle effectivement couverte par les feuilles (Navarrete, 1993). Dans notre cas, où la tomate est cultivée généralement en doubles rangs, c'est cette dernière définition que nous privilégions. Des chiffres variables sont annoncés dans la littérature sur les valeurs de LAI en culture sous serre : de 2,5 à 2,8 par Tchamitchian et Longuenesse (1991), de l'ordre de 3,9 pour Hurd *et al.*, (1979) et 8,6 pour Acock *et al.* (1978). L'indice foliaire peut être mesuré avec un planimètre mais cette mesure est destructive et nécessite d'avoir l'appareil de mesure. Comme il existe une corrélation élevée entre la surface foliaire et la masse fraîche ou sèche des feuilles (Watson, 1937), le LAI peut être estimé à partir de mesures de masses qui sont précises et faciles à réaliser. La surface massique des feuilles peut néanmoins varier au cours du cycle cultural comme l'ont montré Ma *et al.*, (1992).

### 1.3.2. L'effet de l'effeuillage sur le rayonnement intercepté et la photosynthèse

La réponse d'une feuille à la photosynthèse dépend non seulement de son âge, mais aussi de son environnement lumineux (Tchamitchian et Longuenesse, 1991) : les feuilles de la base ont une photosynthèse faible, à cause non seulement de leur âge, mais aussi du faible rayonnement incident. Cependant, 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). Toutefois sur une plante d'indice foliaire égal à 8,6, ces auteurs montrent que l'effeuillage du tiers inférieur de la plante diminue 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'effet de l'effeuillage sur la photosynthèse de la tomate a été étudié par d'autres auteurs (Aung and Kelly, 1966 ; Wolk *et al.*, 1983). L'ablation de feuilles entraîne une augmentation du taux d'assimilation des feuilles restantes (« Net Assimilation Rate » - NAR). L'effeuillage entraîne aussi un accroissement de la longueur (Fischer, 1977) et de la surface des feuilles restantes (Wolk *et al.*, 1983). Cet accroissement de surface foliaire unitaire résulte 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 des racines et tiges observée par Aung and Kelly (1966). Si l'effeuillage est réalisé très tôt, la surface foliaire en début de récolte est identique chez les plantes effeuillées et témoins (Wolk *et al.*, 1983). Acock *et al.* (1978) ont également montré qu'un effeuillage du tiers inférieur de la plante n'avait que peu d'effet sur la photosynthèse totale. Cela pourrait s'expliquer par le fait que tant que l'indice foliaire 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. De ce fait et du fait des phénomènes de compensation évoqués ci-dessus, il est probable qu'un effeuillage limité n'a pas d'effet sur le rendement. La tomate étant tuteurée à Mayotte et effeuillée au tiers inférieur (jusqu'au premier bouquet) très tôt (huit à dix jours après la plantation), on peut considérer *a priori* que cette pratique n'altérerait pas le potentiel photosynthétique de la plante.

### 1.3.3. Répartition de la matière sèche dans la plante

La répartition de la matière sèche à l'intérieur de la plante peut différer considérablement. Par exemple, Heuvelink (1989) observe que 13% de la production sèche est contenue dans les racines à l'anthèse du premier bouquet, alors que Khan and Sagar (1969) n'en trouvent que 4%. En se basant sur un modèle de simulation, Koning (1994) estime la demande totale en assimilats au double de la disponibilité offerte par la plante (calculée sur toute une saison de production). Bertin (1995) calcule un ratio sources / puits plus faible, de l'ordre de 0,3. Cette différence pourrait avoir une origine génétique car les auteurs n'utilisent pas la même variété. Nous nous intéressons seulement à la biomasse allouée aux fruits car elle seule contribue au rendement.

#### 1.3.3.1. Répartition des assimilats entre organes végétatifs et organes reproducteurs

L'équilibre entre appareils végétatif et reproducteur pour la mobilisation des assimilats est dynamique et complexe. Il dépend cependant fortement de l'état de la plante au commencement de la phase reproductive. Le potentiel photosynthétique de la plante au moment de la floraison est donc un critère important dans l'élaboration du rendement. Une relation positive entre la taille de l'appareil végétatif et le rendement total a été montrée sur pois (Brouwer, 1962, cité par Heuvelink et Marcelis, 1989) et tomate (Hurd *et al.*, 1979). Différents facteurs peuvent expliquer les différences d'états végétatifs observées en début de phase reproductive : la date de semis, la date de plantation, la variété, le rayonnement et la température (qui définit l'équilibre entre offre et demande en assimilats carbonés). Ces facteurs jouent sur l'âge physiologique à la floraison (nombre de feuilles) et sur la croissance des feuilles (vitesse et surface maximale). Plusieurs auteurs (Cooper and Hurd, 1968a, 1968b ; Morgan and Clarke, 1975) ont montré que le retard de plantation pratiqué en culture précoce sous serre pour favoriser la nouaison des premiers bouquets tendait à diminuer la vitesse de floraison, le nombre de fleurs et le taux de nouaison.

Dès la floraison, il y a croissance simultanée d'organes végétatifs et reproducteurs, ce qui complique la compréhension des phénomènes de compétition entre organes (fruits, tiges, feuilles, racines) chez la tomate. Ces phénomènes évoluent au cours du cycle. Dès la floraison de la première fleur, la quantité de matière sèche destinée à la tige feuillée et aux racines diminue, au profit des fruits (Hurd *et al.*, 1979). La réduction de la croissance végétative affecte davantage les racines que les feuilles (Heuvelink and Marcelis, 1989). La surface foliaire diminue car la croissance en surface des jeunes feuilles ne compense pas les pertes par sénescence. La croissance racinaire s'arrête environ quatre 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 sont donc en compétition avec l'appareil végétatif et de façon identique pour la partie de la tige feuillée et les racines. En effet, le ratio entre les masses de tige feuillée et des racines est constant quelle que soit la charge en fruits sur la plante (Hurd *et al.*, 1979). Pour une culture sous serre d'une année, De Koning (1993) rapporte que 71,5% de la matière sèche totale sont alloués aux fruits, tandis que Cokshull *et al.* (1992) déterminent un index de récolte de 69%, comparés aux 53 à 71% (moyenne de 58%) pour de la tomate semi-déterminée (Scholberg *et al.*, 2000) et aux 57 à 67% pour de la tomate d'industrie de type déterminée (Hewitt and Marrush, 1986, Cavero *et al.*, 1998). Selon Heuvelink (2005), ces variations de pourcentage sont à relier au nombre de bouquets récoltés et à la conduite culturale.

### 1.3.3.2. Répartition des assimilats au sein de l'appareil reproducteur

Dans le cas de la tomate, comme nous l'avons mentionné précédemment, les phases de formation et de remplissage des organes reproducteurs sont concomitantes à l'échelle de la plante, et il est par conséquent difficile de distinguer précisément la phase du cycle pendant laquelle a eu lieu la réduction de rendement, et de distinguer le facteur limitant à cette période, comme cela est pratiqué couramment sur d'autres espèces (Meynard et David, 1992). Néanmoins, 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 (Navarrete, 1993). Cela ne pose pas de problème particulier pour la tomate indéterminée sous serre qui est conduite sur une seule tige, contrairement à la tomate de plein champ de type déterminé qui n'est généralement pas taillée ou alors conduite sur plusieurs tiges sélectionnées avec des égourmandages réguliers comme c'est le cas à Mayotte.

Il existe un gradient de développement au sein d'un bouquet qui entraîne une variabilité des dates de nouaison et de récolte des fruits intra-bouquet de l'ordre d'une semaine. 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 Hewitt, 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 and Ho, 1984). Si le rayonnement est suffisant, le taux de nouaison est élevé sur les premiers bouquets, et il diminue au fur et à mesure de la charge en fruits sur la plante. Le nombre de fruits par bouquet est généralement compris entre quatre et huit. Pour une quantité d'assimilats donnée à l'échelle du bouquet, l'augmentation du nombre de fruits réduit théoriquement leur poids moyen, mais aussi la qualité (fruits creux et déformés). La technique d'éclaircissage exercée en culture sous serre vise justement à supprimer quelques fleurs du bouquet pour améliorer le calibre des fruits restants (Hurd *et al.*, 1979), mais elle n'est pas de mise en culture de plein champ.

A l'échelle de la plante, on observe le même phénomène : plus le nombre de bouquets est élevé, plus le poids d'un bouquet à la récolte est faible (Fischer, 1977). Du fait de la vitesse d'apparition des bouquets et de la durée de croissance d'un fruit, un plant de tomate (en culture sous serre) comporte, à un instant donné, environ une dizaine de bouquets. Chez la tomate, les règles d'affectation des assimilats entre les bouquets ne sont pas bien connues. Khan and Sagar (1967) montrent que sur une plante portant trois bouquets, chacun est alimenté par une douzaine de feuilles, mais ce sont les trois feuilles situées juste au-dessous qui leur fournissent la majeure partie des assimilats. Tanaka and Fujita (1974, cités par Ho and Hewitt, 1986) considèrent le bouquet et les trois feuilles situées dessous comme une unité source-puits. Cependant, cette compartimentation n'est pas stricte.

## 2. Influence des facteurs et des conditions du milieu sur le rendement

Nous présentons ci-après une synthèse des effets des différents facteurs biotiques et abiotiques sur le fonctionnement du peuplement de la tomate. Nous les empruntons surtout (mais pas exclusivement) à de la littérature traitant de la tomate de plein champ, notamment d'industrie, portant sur des variétés de type déterminé.

## 2.1. La nutrition azotée

Les besoins en éléments minéraux et la production de matière sèche sont variables selon le stade de développement de la plante (Letard *et al.*, 1995) :

- De la plantation à la nouaison du premier bouquet, la production de matière sèche et l'assimilation d'éléments minéraux sont faibles. C'est une période de fort développement du système racinaire.
- Du début de la nouaison du premier bouquet à la formation du dernier (les fruits des premiers bouquets sont récoltés) : la production de matière sèche est très forte, l'assimilation du calcium et du magnésium est faible, celles de l'azote et du phosphore fortes, celle du potassium très forte.
- De la formation du dernier bouquet à 85% de la récolte : la production de matière sèche est encore très forte, l'assimilation du potassium est faible, celle du phosphore moyenne, celles de l'azote, du magnésium et du calcium fortes.
- De 85% de la récolte à la fin de la culture : la production de matière sèche s'arrête. L'assimilation de l'azote est nulle. Elle est faible pour le potassium et le magnésium, moyenne pour le phosphore et très élevée pour le calcium.

C'est la nutrition azotée qui a été la plus étudiée, pour son action sur la croissance et le rendement. La production de une tonne de tomates rouges exporte en moyenne environ 2,5 kg d'azote (2,24 à 2,54 kg N selon les auteurs : Geisenberg and Stewart, 1986 ; Christou *et al.*, 1998 ; Tei *et al.*, 2002), 1 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et 4 kg de K<sub>2</sub>O (Dumas *et al.*, 2000). Tei *et al.* (2002) rapportent qu'à partir du 40<sup>ème</sup> jour après plantation, les premiers fruits deviennent les puits tandis que diminue progressivement le transfert des assimilats vers les tiges et feuilles. Cela suggère que la phase plantation-floraison/nouaison est déterminante pour le rendement final, car elle affecte le développement de l'appareil photosynthétique et par conséquent la disponibilité en assimilats carbonés pendant la phase de croissance du fruit et de maturation (Ho, 1996). Les variations de facteurs du milieu sont donc à analyser en référence à cette phase.

Des références permettant de juger de l'état nutritionnel de la tomate ont été établies par différents auteurs. Elles font appel soit à des analyses de teneur en éléments minéraux de feuilles matures (IFA, 1992 ; Hartz *et al.*, 1996, Hartz *et al.*, 1998 ; Hochmut *et al.*, 2005 cité par Peet, 2005), soit à l'analyse de pétioles (Sanders 2004-2005 cité par Peet, 2005). Ces méthodes d'analyse foliaire consistent à comparer des teneurs en éléments minéraux d'un organe de la plante à des références permettant de déterminer le niveau de satisfaction des besoins en ces éléments. L'interprétation des résultats n'est pas toujours facile compte tenu de la variation des références selon les auteurs, mais aussi des différents systèmes de culture (plein champ, sous serre) et climats (tempéré et tropical). En zones méditerranéenne et tropicale, par rapport aux zones tempérées, la fertilisation azotée notamment doit être adaptée à cause des conditions de minéralisation de l'azote organique en cours de culture (Cornillon et Peyrière, 1997). Dumas *et al.*, (2000) ont recherché plutôt une méthode non destructive basée sur les corrélations entre la teneur en azote du sol et la teneur en nitrates des pétioles, et entre la teneur en nitrates des pétioles et la teneur du limbe de feuilles adultes en chlorophylle (évaluée au spectrophotomètre dans les longueurs d'onde 400 à 700 nm), connues chez d'autres cultures (Yadava, 1986). Cependant, ces auteurs ne trouvent pas de bonne corrélation entre la couleur des feuilles et la teneur en nitrate des pétioles sur les trois années d'expérimentation et entre les différents sites géographiques d'étude. La méthode est néanmoins intéressante et ouvre des perspectives d'amélioration.

L'état nutritionnel peut être estimé par une autre méthode en utilisant l'indice de nutrition azotée (INN) développé par Lemaire *et al.* (1989, 1997). Elle est basée sur une relation stable entre la teneur critique en azote d'une culture et sa biomasse aérienne en phase végétative (Lemaire et Salette, 1984). Ce modèle a été adapté à la tomate d'industrie (à croissance déterminée) par Tei *et al.* (2002a).

L'expression mathématique du modèle est la suivante :

$$N\% = 4,53 \times (MS)^{-0,327}$$

où N% est la teneur critique en azote de la plante (%) qui est constante pour  $MS < 1$  t/ha ;  
MS est la biomasse aérienne sèche accumulée (t/ha).

L'indice de nutrition azotée pour un peuplement est calculé en faisant le rapport entre la teneur en azote mesurée de ce peuplement (Nm) et la teneur critique en azote (Nc) calculée selon l'équation du modèle défini ci-dessus à partir de la biomasse aérienne mesurée. Selon Lemaire *et al.* (1997), le rapport Nm/Nc est supérieur à 1 dans les conditions non limitantes en azote, et inférieur à 1 quand la nutrition azotée est limitante. Dans notre contexte, on s'accordera néanmoins une certaine souplesse en considérant un INN inférieur à 0,80 comme étant un indicateur de carence en azote.

Christou *et al.* (2003) proposent une méthode rapide basée sur l'analyse des nitrates dans les pétioles de feuilles matures pour évaluer l'état de nutrition azotée de la plante. Ces auteurs ont comparé l'évolution des nitrates dans le pétiole d'une part, et dans le limbe des feuilles d'autre part, selon deux méthodes de dosage de la teneur en nitrate : un test rapide sur du matériel frais (« Merck RQflex test strips<sup>®</sup> ») et une analyse par chromatographie ionique en laboratoire sur du matériel séché. Ils obtiennent une bonne corrélation entre les deux méthodes. Le dosage des nitrates pétiolaires par le test Merck RQflex<sup>®</sup> offre l'avantage d'être rapide, non destructif de la plante entière, peu coûteux et moins contraignant par rapport au dosage en laboratoire. Sa validité sur la tomate dans les conditions tropicales n'a cependant pas été vérifiée.

## 2.2. L'alimentation hydrique

Tout comme l'alimentation azotée, l'alimentation hydrique est un facteur déterminant du rendement et de la qualité de la tomate. L'absorption d'eau dépend en grande partie du système racinaire (densité racinaire, volume de terre exploré). La tomate repiquée au champ possède un système racinaire ramifié, largement dominé par des racines adventives (Portas and Diordo, 1980), superficiel avec 85% des racines localisées dans les trente premiers centimètres du sol. Des racines peuvent descendre jusqu'à deux mètres de profondeur mais la zone la plus active du système racinaire demeure superficielle. La courbe de consommation d'eau par une culture de tomate au cours du temps en conditions contrôlées est de type sigmoïdale (Rudich and Luchinsky, 1986) : la consommation est faible en début de cycle, puis croît progressivement jusqu'en début de floraison et atteint son maximum pendant le pic de maturité des premiers fruits. A ce moment, la surface foliaire est à son maximum. Ensuite, la consommation diminue en même temps que la croissance foliaire se ralentit. Sous serre, Forsdyke (1974, cité par Rudich and Luchinsky, 1986) a calculé qu'une culture de tomate en pleine végétation utilisait 65% du rayonnement atteignant la culture pour évaporer l'eau. A 20 °C, 585 cal/cm<sup>2</sup> sont nécessaires pour évaporer 1 cm<sup>3</sup> d'eau. La qualité de l'eau est également importante : au-delà de 1500 µS/cm, on observe une réduction du rendement (Lovatt *et al.*, 1998).

Plusieurs méthodes sont utilisées pour calculer les besoins en eau de la plante au cours du cycle cultural et piloter les irrigations. La plus classique est le bilan hydrique basé sur la demande évaporative et le coefficient cultural. Certains auteurs (Rudich *et al.*, 1981 ; Turner, 1981) ont utilisé le potentiel hydrique des feuilles qui présentait une bonne corrélation avec l'humidité du sol. Des tensiomètres peuvent aussi être utilisés pour suivre l'état de l'eau dans le sol et prévenir l'apparition de stress hydriques. La mesure de la différence entre la température foliaire et la température de l'air (effectuée au moyen de thermomètres à infrarouges) et la mesure simultanée de l'humidité relative de l'air permettent de calculer l'indice de stress hydrique d'une culture (Crop Water Stress Index ou CWSI) et d'évaluer les besoins en eau des cultures (Anconneli *et al.*, 1994 ; Dumas, 2000). Des études ont montré que les plantes bien irriguées présentent une température foliaire inférieure à celle de l'air grâce à une transpiration régulière. Cependant, d'autres facteurs liés au milieu influencent la température de la partie aérienne : le Crop Water Stress Index combine l'ensemble de ces facteurs et permet de mesurer le degré

de stress hydrique d'une culture donnée. Cette méthode nécessite cependant des moyens et des équipements, ce qui limite fortement son utilisation en usage de routine en parcelles paysannes.

Généralement, un stress hydrique entraîne une diminution du rendement en fruits frais, mais peut avoir des effets favorables sur la teneur en matière sèche des fruits, notamment pour la tomate d'industrie. Pill et Lambeth (1980) ont montré qu'un déficit hydrique induit une réduction du nombre de fruits en raison d'un taux de nouaison plus faible, ainsi qu'une diminution du poids moyen du fruit et du rendement. Ce manque d'eau favorise également l'apparition de la nécrose apicale (« *Blossom End Rot* »). La baisse de rendement est liée à une réduction de la production de matière sèche (Perniola *et al.*, 1984) : en cas de stress hydrique, les stomates se ferment rapidement et on constate une réduction de l'assimilation. Cette baisse est également liée à une réduction de l'accumulation d'eau dans les fruits. Selon la période où le stress hydrique a lieu, les effets ne sont pas les mêmes (Colla *et al.*, 1999). S'il intervient avant la nouaison, on constate une diminution du nombre de fleurs et donc du nombre de fruits ainsi qu'une baisse du rendement. Un stress pendant la phase de grossissement des fruits induit une baisse de rendement et de viscosité des fruits mais n'a pas d'effet sur la teneur en composés solubles (May et Gonzales, 1994). En revanche, un stress au début de la récolte permet d'augmenter la viscosité des fruits, mais les rendements sont diminués.

Un apport important d'eau améliore le rendement en fruits frais mais pas celui de matière sèche (Bar-Yosef *et al.*, 1980). Des stress peuvent être réalisés pour obtenir de meilleurs taux de composés solubles, sous réserve de les placer de manière adéquate au cours du cycle pour éviter une baisse de rendement, à savoir pendant la phase de développement et de maturation des fruits (Colla *et al.*, 1999).

Enfin Lin *et al.* (1983) ont testé l'efficacité sur le rendement d'une irrigation goutte à goutte par rapport à une irrigation mensuelle à la raie. L'irrigation goutte à goutte permet d'obtenir des rendements supérieurs de 20 à 40 % par rapport à l'irrigation à la raie et de 80 % par rapport à une culture non irriguée. En outre, elle permet d'améliorer la proportion de fruits commercialisables en utilisant 30 % d'eau de moins que l'irrigation à la raie. D'une manière générale, l'efficacité de l'eau en culture de plein champ est de l'ordre de 10% en comparaison à la culture sous serre. Stanghellini *et al.* (2003) rapportent que pour produire 1 kg de tomates fraîches, il faut environ 60 l d'eau en culture de plein champ alors qu'il faut 30 l sous serre non chauffée (en Israël), et 22 l sous serre en climat contrôlé en Hollande. L'efficacité de l'eau peut se traduire en gain de rendement mais aussi en nombre de m<sup>3</sup> d'eau consommé par tonne de fruit produit, et ce dans un souci de préservation de la ressource, notamment dans les pays où elle devient un facteur limitant.

## 2.3. Les facteurs biotiques

### 2.3.1. Les adventices

Plusieurs auteurs (Friesen, 1979 ; Weaver and Tan, 1983 ; Sajjapongse *et al.*, 1989) ont montré qu'un désherbage total entre le 28ème et le 35ème jour après plantation, soit vers le stade de floraison - nouaison, empêche toute baisse de rendement, tout comme le positionnement d'un herbicide de pré-émergence de 24 à 36 jours de persistance d'action, ou le positionnement d'un herbicide post-émergent dans un délai inférieur à 24 jours après plantation. Kasasian et Seeyave (1969), quant à eux, montrent que la tomate est surtout sensible à la compétition par les mauvaises herbes pendant le premier mois qui suit la plantation. Cette compétition s'exerce pour l'accès à l'eau, aux éléments minéraux et surtout pour l'interception du rayonnement, et se traduit par une baisse du poids de matière sèche des plants de tomate et du rendement. Plus courte est la période où la parcelle est exempte d'adventices ou plus le désherbage intervient tardivement après la plantation, plus la diminution du poids sec et du nombre de fruits apparaît tôt (Weaver and Tan, 1983). Il convient donc pour maximiser le rendement de maintenir la parcelle propre pendant la période critique qui s'étale de la plantation à la floraison du troisième bouquet (Bezert *et al.*, 1999 ; Dumas *et al.*, 1999), ce que semblent faire par expérience la majorité des agriculteurs à Mayotte. Après la floraison-nouaison du troisième bouquet qui survient trente à quarante jours après la plantation, l'absence de désherbage est sans conséquence sur le rendement.

### 2.3.2. Les maladies et ravageurs

La présentation ci-dessous se résume aux problèmes parasitaires rencontrés à Mayotte.

#### 2.3.2.1. *L'action des ravageurs*

Les principaux ravageurs pouvant affecter le rendement à Mayotte sont les chenilles des noctuelles, la mouche des fruits, l'acariose bronzée, les mouches mineuses et les aleurodes qui sont vecteurs du virus de la virose de l'enroulement (Tableau III-1). Les dégâts sont dus à l'activité nourricière de ces ravageurs au cours de laquelle des parties importantes de plantes peuvent être affectées. Les dégâts peuvent être le creusement de galeries à l'intérieur du mésophylle de la feuille (cas des mineuses), la transmission de virus lors de la succion du contenu des cellules épidermiques (cas de *Bemisia tabaci*), le creusement de trous à l'intérieur des fruits (cas des larves de la mouche de la tomate et des noctuelles). Les ravageurs piqueurs-suceurs (thrips, aleurodes, acariens) ne causent pas seulement la destruction de la chlorophylle, mais aussi des défoliations indirectes, et favorisent la pénétration de microorganismes pathogènes par les blessures qu'ils ont causées aux tissus végétaux (Berlinger, 1986). En zones tropicales où il n'y a pas de période de froid pour ralentir le cycle de multiplication de ces ravageurs, la pression parasitaire se maintient toute l'année et les agriculteurs ne font pas de pause dans les traitements. Il n'y a pas eu d'études à Mayotte sur la dynamique de population des ravageurs pour quantifier les populations selon les périodes de l'année et connaître leur répartition. La flore locale constitue très probablement un réservoir important pour le maintien de ces ravageurs, car elle recèle de nombreuses Solanacées indigènes (aubergine, morelle, *Datura...*). La mouche de la tomate est particulièrement dommageable car la larve fore un trou au-dessous du calice, et on s'aperçoit que le fruit a été piqué et impropre à la vente souvent au moment de la récolte ou quand il est pourri. Les nématodes à galles (*Meloidogyne sp.*) sont peu fréquents dans les parcelles maraîchères, mais les attaques sévères se traduisent également par la perte rapide de la culture.

La littérature est très pauvre sur la quantification des pertes de production et leur relation avec la densité de population des ravageurs de la tomate. Les pertes directes de rendement dues aux ravageurs attaquant les fruits et les jeunes plants repiqués sont assez faciles à quantifier, contrairement aux dégâts causés à l'appareil foliaire. Des évaluations d'impact de ravageurs sur le rendement ont été faites en testant différents niveaux de défoliation (Slack, 1981 ; Stacey, 1983), mimant les dégâts foliaires des parasites. Les feuilles proches des fruits sont de première importance. Le nombre et le poids de fruits diminuent fortement avec la sévérité de l'effeuillage (Stacey, 1983). La défoliation entraîne également un retard de floraison, mais favorise la précocité de maturation. L'activité photosynthétique dans les cellules foliaires altérées par les mineuses par exemple est très réduite, et ne se limite pas seulement aux zones minées (Berlinger, 1986). Les fruits sont plus sensibles aux mineuses quand ils sont à mi-grossissement. Les acariens en revanche agissent tôt quand les fruits sont encore petits. Ils causent une diminution du rendement en inhibant le développement des fruits.

D'une manière globale, les insectes et les acariens agissent d'une part sur la réduction de la capacité photosynthétique de la plante, et d'autre part sur la diminution du nombre de fruits et de leurs calibres par action directe ou indirecte (diminution des assimilats carbonés). Les nématodes à galles conduisent souvent à la mort du plant.

#### 2.3.2.2. *L'action des maladies*

Les principales maladies contre lesquelles les agriculteurs traitent sont l'alternariose, la corynesporiose, l'oidium, la cladosporiose et la gale bactérienne (Tableau III-2). Ces parasites affectent le feuillage et par conséquent le fonctionnement photosynthétique de la plante et causent des perturbations dans les transferts des assimilats des parties végétatives vers les organes reproducteurs. Ils gênent ainsi le grossissement normal des fruits, ce qui peut conduire à des fruits de faibles calibres.

Tableau III-1 : Principaux ravageurs et maladies affectant la tomate à Mayotte.

Nom commun	Agent causal	Symptômes	Parties de plante affectées
Bactéries Flétrissement bactérien Moelle noire Gale bactérienne	Ralstonia solanacearum Pseudomonas corrugata Xanthomonas campestris pv. vesicatoria	Flétrissement brutal. Tige creuse et pourriture. Nombreuses petites taches nécrotiques (1-2 mm).	Tiges, feuilles. Tiges. Tiges, feuilles, pétioles, fruit, fleurs.
Champignons Corynesporiose	Corynespora cassiicola	Petites taches nécrotiques	Feuilles, pétioles, tiges, fruit.
Alternariose	Alternaria solani	Petites taches nécrotiques, pourriture fruit	Feuilles, pétioles, tiges, fruits.
Cladosporiose	Fulvia fulva	Taches blanchâtres / verdâtres sur face inférieure feuille.	Feuilles.
Oïdium interne	Leveillula taurica	Taches blanchâtres / jaunâtres sur face inférieure feuille.	Feuilles.
Ravageurs Noctuelles Mouche de la tomate Mouches mineuses Mouches blanches Acarioze bronzée	Helicoverpa armigera Trirhithromyia cyanescens Lyriomiza trifolii Bemisia tabaci Aculops lycopersici	Trous dans fruit, pourriture. Pourriture. Galeries dans feuilles. Vecteur de virose Tylcv. Bronzage de la plante, nanisme.	Fruit. Fruit. Feuilles. Feuilles. Feuilles, tiges, fruits, pétioles, pédoncule.
Acariens Nématodes à galles	Tetranychus sp. Meloidogyne sp.	Aspect gratté de l'épiderme. Jaunissement de la plante, flétrissement lent, galles sur racines.	Feuilles. Racines.
Virus TLCMyV	Tomato Leaf Curl Mayotte Virus	Nanisme, chlorose, jaunissement et enroulement des feuilles avec parfois des colorations violacées.	Feuilles, tiges, fruits, fleurs.

Tableau III-2 : Caractéristiques des principales maladies affectant la tomate à Mayotte (Berlinger, 1986 ; Waterson, 1986 ; Csizinszky et al., 2005).

Nom commun	Facteurs favorisant	Méthode de lutte
Gale bactérienne	Températures élevées (28-30°C) Pluies violentes Conservation sur résidus de culture Transmission par semences	Traitements chimiques à base de cuivre Rotation culturale adaptée Désinfection des semences Brûlage résidus de culture en fin de cycle
Flétrissement bactérien	Précédent cultural (Solanacées) Pluies violentes et températures élevées Conservation sur résidus de culture et adventices Plaies racinaires et plaies de taille	Choix de variétés résistantes Greffage sur porte greffe résistant Brûlage résidus de culture en fin de cycle Rotation culturale adaptée
Moelle noire	Précédent cultural (Solanacées) Excès d'eau et fertilisation riche en azote	Brûlage résidus de culture en fin de cycle Pas d'excès d'eau, réduire apports azotés
Corynesporiose	Climat chaud et humide ou pluvieux Conservation sur résidus de culture	Traitements chimiques Brûlage résidus de culture en fin de cycle
Alternariose	Climat chaud et humide ou pluvieux Conservation sur résidus de culture	Traitements chimiques dès 1ers symptômes Brûlage résidus de culture en fin de cycle
Cladosporiose	Climat chaud et humide ou pluvieux Conservation sur résidus de culture en saprophyte Dissémination des spores par le vent ou la pluie	Traitements chimiques dès 1ers symptômes Brûlage résidus de culture en fin de cycle
Oïdium interne	Climat chaud et sec Dissémination des spores par le vent	Traitements chimiques dès 1ers symptômes Il n'existe pas de variété résistante Brûlage résidus de culture en fin de cycle



Contre le flétrissement bactérien et la moelle noire qui sont causés par des bactéries vasculaires, aucun remède chimique n'existe et les attaques se traduisent souvent par la mort du plant. Les traitements à base de cuivre peuvent atténuer le développement de la maladie mais ne l'arrêtent pas. Le greffage donne des résultats satisfaisants, mais la technique n'est pas très répandue compte tenu de la technicité nécessaire pour sa réalisation et le coût du plant. Le flétrissement bactérien touche toutes les zones humides tropicales. Les maladies évoquées ci-dessus peuvent se manifester pendant toute la durée du cycle cultural. En zone tropicale, ce sont surtout contre les maladies que les agriculteurs doivent lutter.

A part les attaques de flétrissement bactérien, voire de nématodes, où on peut dénombrer facilement le nombre de pieds atteints pour évaluer l'impact de ces parasites sur le rendement, il n'existe pas encore d'indicateurs fiables permettant de corréliser des intensités de symptômes de maladie sur le peuplement avec des pertes de rendement ou des évolutions de composantes du rendement.

A partir des années 70 ont démarré en Europe des travaux sur la lutte intégrée des cultures sous serre compte tenu de la gamme relativement limitée des ravageurs et maladies dans ces environnements circonscrits (Van Lenteren, 2000). En culture de plein champ, le programme Qualitom (tomate d'industrie) visait à mettre au point des règles de décision pour le déclenchement des traitements phytosanitaires en se basant sur des relevés de données climatiques et sur des observations et comptages au champ de parasites (Dumas *et al.*, 2000), l'objectif principal étant de réduire le nombre de traitements phytosanitaires tout en assurant une bonne protection de la culture. Cette approche agronomique correspond à des enjeux de société où s'exacerbe le souci de la protection de l'environnement et de la qualité hygiénique des productions commercialisées. La méthode utilisée, quoiqu'intéressante, est exigeante en main-d'œuvre (temps de suivi, qualification des observateurs) et n'est pas encore au point pour être utilisée comme élément de pilotage des traitements et comme indicateur de diagnostic. De plus, il faut un œil averti pour savoir reconnaître les ravageurs et maladies et distinguer les premiers symptômes d'agression parasitaire. Cette contrainte ne facilite pas le diagnostic agronomique.

### **3. Influence sur le fonctionnement du peuplement des interventions sur la végétation**

Différentes expérimentations d'effeuillage et d'ablation de bouquets ont été conduites pour mieux comprendre le transfert des assimilats entre organes, mais aussi l'effet de ces techniques sur le rendement et la qualité.

#### **3.1. L'effeuillage**

Aung & Kelly (1966) ont mené des essais d'effeuillage sur une variété déterminée et sur une variété indéterminée de tomate. La suppression des jeunes feuilles (comme l'égourmandage) a un effet positif sur la floraison alors que celle des feuilles matures réduit le nombre de fleurs. Quel que soit le stade des feuilles, l'effeuillage sous le premier bouquet diminue le nombre de fruits. Chez la variété déterminée, la défoliation a pour effet un élargissement des feuilles restantes et une réduction de la taille des fruits et du rendement total en fruits. La suppression des feuilles matures induirait une expansion des autres feuilles et un taux d'assimilation net consécutif accru accompagné d'une réduction de la croissance relative des tiges et des racines ; la suppression des jeunes feuilles conduirait à une réduction des assimilats carbonés.

Les travaux sur l'effeuillage ne convergent pas tous vers les mêmes résultats. Slack (1980) montre que l'effet dépressif de l'effeuillage sur le rendement est proportionnel à l'intensité de l'effeuillage (exprimé en pourcentage de la surface foliaire initiale) tandis que Wolk *et al.* (1983), Slack et Bezer (1984) mettent en évidence un effet dépressif non proportionnel. Slack (1980) constate que l'effeuillage jusqu'au bouquet en cours de maturation diminue le rendement total de 11%. Slack et Bezer (1984), quant à eux, ne mettent pas en évidence d'effet significatif pour un effeuillage similaire et obtiennent une diminution plus faible (7%) pour un effeuillage plus sévère (deux bouquets au dessus du bouquet mûr). Dans ces différents essais, la diminution de rendement provient surtout d'une réduction du poids moyen des fruits, et secondairement du nombre de fruits récoltés.

La diversité de résultats pourrait s'expliquer par les interactions entre la densité de plantation, l'état de la plante avant l'effeuillage (indice foliaire, charge en fruits), le climat, et par la nature des traitements expérimentaux. En effet, la suppression des feuilles concerne soit des feuilles entières à partir du bas de la plante, soit une portion constante de la surface foliaire de toutes les feuilles (Wolk *et al.*, 1983). La comparaison suppose que la position des feuilles supprimées n'ait aucun effet sur la photosynthèse et le rendement. Nous avons vu précédemment qu'il y a une allocation préférentielle des assimilats des feuilles vers les bouquets les plus proches, mais avec des transferts possibles vers les autres bouquets.

### 3.2. L'ablation de bouquets

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 des fruits) (Ho and Hewitt, 1986). L'ablation de bouquet entraîne une diminution du nombre de fruits et une augmentation du calibre des fruits restants, notamment ceux qui sont les plus proches du bouquet supprimé : l'augmentation la plus forte étant sur le bouquet immédiatement au dessus (Slack and Calvert, 1977). Ce résultat montre qu'il y a un transfert préférentiel des assimilats vers les bouquets les plus proches.

L'effet de l'ablation sur le rendement de la plante peut être supérieur ou inférieur au rendement du témoin. (Slack and Calvert, 1977, Hurd *et al.*, 1979, Navarrete, 1993). Un rendement inférieur au témoin signifie, dans le cas où l'activité photosynthétique du sympode ne serait pas altérée par la suppression des puits correspondant, que les assimilats produits n'ont pas été totalement redistribués vers les fruits (Slack and Calvert, 1977), une partie pouvant être redirigée vers les racines ou les jeunes feuilles (Hurd *et al.*, 1979). Navarrete (1993) montre que l'ablation de bouquets sur des plants en retard de croissance, en culture sous serre, permet de réduire la variabilité intra-peuplement par une action directe sur les plants dont on a supprimé des bouquets, et une action indirecte et négative sur les plantes voisines vigoureuses, à cause de l'augmentation de la compétition intra-peuplement. La technique a permis d'améliorer la qualité de la production (homogénéité des calibres), sans effet négatif sur la production par unité de surface.

## 4. Conclusion partielle

Les connaissances sur la croissance, le développement et l'élaboration du rendement de la tomate sont assez nombreuses. Elles découlent cependant davantage de travaux sur la tomate sous serre (de type indéterminé) que de travaux sur la tomate de plein champ de type déterminé, et en milieu tropical. De la synthèse bibliographique, on peut retenir les points suivants pour la suite du travail :

- Dans le cas de la tomate, les phases de formation et de remplissage des organes reproducteurs sont superposées à partir de la floraison, ce qui ne permet pas de distinguer *a priori* précisément la phase du cycle pendant laquelle a eu lieu la réduction de rendement et d'identifier le facteur limitant à cette période. En culture sous serre où la tomate est conduite en mono-tige, il serait possible de dater et d'identifier le facteur limitant en estimant la période de floraison et de croissance de chaque bouquet (Navarrete, 1993), mais difficilement dans nos conditions où la tomate est conduite en multi-tiges. Le potentiel photosynthétique de la plante (exprimé par la taille de l'appareil végétatif) au moment de la floraison serait un critère important dans l'élaboration du rendement (Hurd *et al.*, 1979 ; Heuvelink and Marcellis, 1989). Aussi, pour l'analyse du rendement, avons nous fait le choix de séparer le cycle cultural en trois grandes phases correspondant à des stades repères pour les interventions des agriculteurs : (i) plantation à floraison, (ii) floraison à début de récolte et (iii) première récolte à dernière récolte. La floraison marque généralement le début de la taille et des ébourgeonnages successifs et le début de récolte marque souvent la fin du désherbage, de la fertilisation et des traitements phytosanitaires par les agriculteurs.

- Compte tenu que les interventions manuelles sont importantes sur la végétation (suppression de tiges, ablation de bouquets, effeuillage) à partir de la floraison, on fait l'hypothèse que le nombre de fruits par plant est surtout régulé par la taille et les égourmandages successifs, plus que par des phénomènes de compétition intra-plante. On considère ainsi que le nombre moyen de tiges par plant serait une variable pertinente pour expliquer l'élaboration du nombre de fruits d'un peuplement.
- Les actions sur la surface foliaire, et par conséquent sur le potentiel photosynthétique, influencent la production d'assimilats et leur transfert vers les fruits. Selon Hurd *et al.* (1979), le transfert des assimilats vers les tiges et feuilles diminue au profit des fruits à partir du quarantième jour après plantation, soit à peu près vers le stade nouaison des premiers fruits. C'est aussi vers ce stade que les agriculteurs réalisent la taille des plants ou le premier égourmandage. Il apparaît donc intéressant d'analyser l'évolution de la biomasse aérienne avant et après la taille et leur impact sur les composantes du rendement (nombre de fruits par plant et poids moyen du fruit notamment). Ce sera l'objectif d'une expérimentation portant sur la taille. Les résultats de cet essai permettront de mieux interpréter l'effet des pratiques de taille et d'égourmandage sur la production en parcelles paysannes.
- L'effeuillage précoce (avant floraison), comme le pratiquent la plupart des agriculteurs à Mayotte, serait sans effet négatif sur la photosynthèse globale et par conséquent sur le rendement (Hurd *et al.*, 1979), ce qui pourrait ne pas être le cas des effeuillages post-floraison. En effet, les trois feuilles situées en dessous du bouquet sont celles qui alimentent en majorité les fruits du bouquet et influencent le poids moyen des fruits (Aung et Kelly, 1966). Cependant, l'effet dépressif de l'effeuillage sur le rendement est très variable (Slack and Calvert, 1977 ; Hurd *et al.*, 1979). Les facteurs de variation de la translocation des assimilats des parties végétatives vers les fruits sont mal connus. Il est possible que les attaques des bioagresseurs sur l'appareil foliaire en diminuant l'interception du rayonnement affectent le remplissage des fruits. A défaut de méthode standardisée pour évaluer l'impact de dégradations de l'appareil foliaire par des bioagresseurs sur les variations de composantes du rendement, nous faisons l'hypothèse qu'une échelle de notation simple du parasitisme peut rendre compte de l'impact des bioagresseurs sur l'état sanitaire du peuplement et *in fine* sur les composantes du rendement.
- Certains indicateurs de diagnostic agronomique disponibles ne sont pas toujours aisés d'utilisation en parcelles paysannes car ils nécessitent certains investissements importants en matériel (exemple du thermomètre à infra-rouge, du planimètre pour la mesure du LAI) ou des temps de suivi qui ne sont pas compatibles avec les moyens dont nous disposons. Nous avons ainsi préféré utiliser des méthodes plus classiques telles que les analyses des parties aériennes de la tomate pour suivre l'état nutritionnel des peuplements (en N, P et K), la méthode du bilan hydrique pour évaluer le niveau de satisfaction en eau des peuplements ou encore l'analyse des profils racinaires pour évaluer les éventuels effets des diverses modalités de travail du sol sur l'installation du système racinaire. La croissance racinaire s'arrêtant environ quatre semaines après la floraison (Van Der Post, 1968), nous avons choisi de réaliser les profils vers le début de la phase de récolte pour rendre compte de l'exploitation maximale du milieu par les racines.

Au regard de cette synthèse bibliographique, nous faisons le choix d'analyser l'élaboration du rendement selon la décomposition suivante :

$\text{Rendement (kg/m}^2\text{)} = \text{poids moyen du fruit} \times \text{nombre de fruits par bouquet} \times \text{nombre de bouquets par tige} \times \text{nombre de tiges par plant} \times \text{nombre de plants par m}^2$
--

Ce choix est justifié par les pratiques de taille/égourmandage qui agirait fortement sur l'élaboration du nombre de tiges par plant et par voie de conséquence sur le nombre de fruits par plant. Nous chercherons en outre à mettre en évidence les liens éventuels entre les différentes composantes du rendement et les états du milieu et du peuplement (infestations parasitaires, états hydriques du sol, nutrition minérale ...).

Figure III-4 : Relation entre milieu, techniques et fonctionnement du peuplement végétal (d'après Sebillotte, 1974, 1978 ; Meynard et David, 1992).

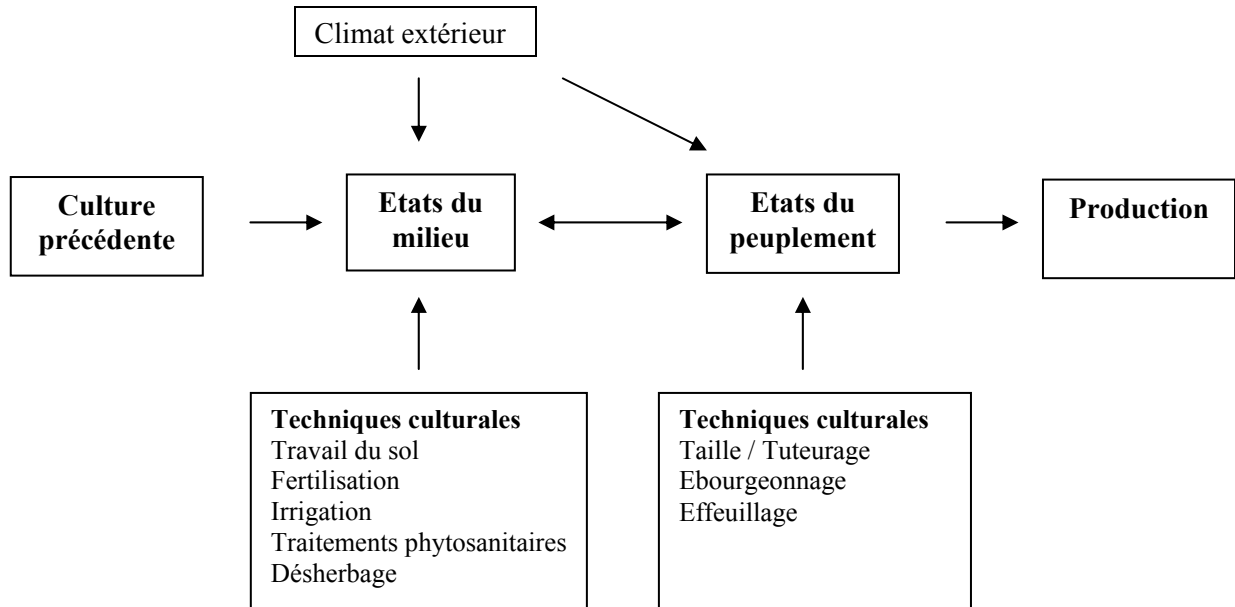


Tableau III-3 : Effectif des parcelles par zone géographique et type de systèmes de culture.

Année	Association culturale	Nord		Nord-Est			Centre			Sud-Est				Sud	
		F*	M	F	L	C	F	L	C	F	M	L	T	F	C
2003	Cocotier														1
	Fruitiers									1					
	Aucune	1		2	1	1	6	2		4				2	1
2005	Cocotier						1			2			1	1	
	Fruitiers	1						1	2	1	1				
	Aucune	2	2	1			5	5		1					1

\* Les lettres correspondent aux précédents culturaux : F = friche/interculture ; M = manioc ; L = espèce maraîchère autre que tomate ; C = céréale (maïs ou riz) ; T = tomate

## CHAPITRE II : DIAGNOSTIC SUR LA VARIABILITE DES RENDEMENTS DANS LES PARCELLES PAYSANNES

A partir des données recueillies dans un réseau de parcelles paysannes suivies pendant deux années, nous cherchons à mettre en évidence les facteurs à l'origine de la variation des rendements de la tomate. La démarche adoptée est basée sur le traitement des données collectées au niveau des parcelles cultivées. Ces données sont relatives au système milieu-plante-techniques, dont la variation des différentes composantes *in situ* est analysée (Figure III-4).

L'analyse du rendement porte sur le rendement dit biologique c'est à dire l'ensemble des fruits récoltés commercialisables et non commercialisables (cf. planche à photos n° 4). Il inclut donc les écarts de triage (fruits fendus, fruits troués, fruits pourris, fruits atteints de nécrose apicale, fruits de faibles calibres < 30 mm). Ce rendement biologique encore appelé rendement brut ou total s'oppose au rendement commercial qui comprend les fruits sains, les fruits cicatrisés, les fruits faiblement tachés et les fruits peu déformés. Les critères de distinction entre les deux types de fruits correspondent à ceux des agriculteurs.

### 1. Présentation du dispositif

#### 1.1. Choix des parcelles

Le dispositif comprend 22 parcelles suivies en première année (2003) et 28 parcelles en deuxième année (2005), réparties dans différentes zones géographiques de l'île et choisies de façon à représenter une diversité de combinaisons systèmes de culture - milieux (Tableaux III-3 et III-5, Carte 3). Les sols des différentes parcelles enquêtés sont de texture variable avec cependant une prédominance de sols argileux (Annexes 15 et 16). Mais ce sont aussi nos moyens logistiques, la disponibilité et l'intérêt des agriculteurs pour cette étude qui ont déterminé l'effectif des parcelles par zone géographique.

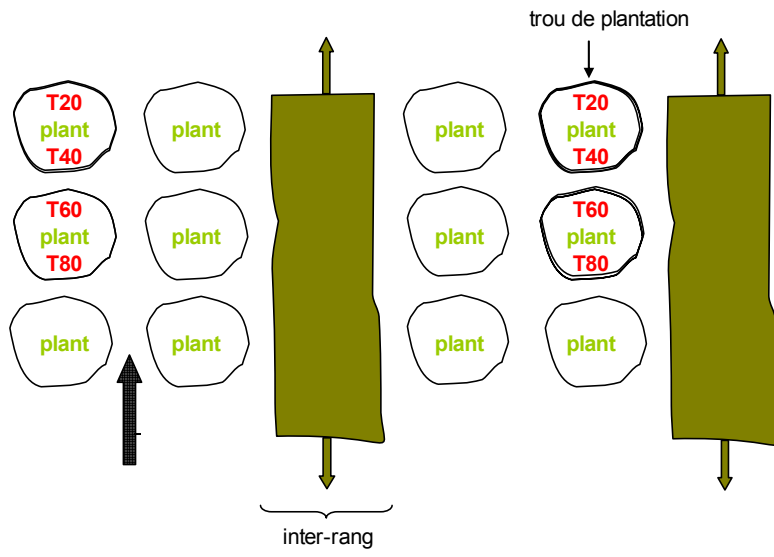
Les parcelles suivies appartiennent toutes aux agriculteurs qui ont été parallèlement enquêtés sur le fonctionnement général de leur exploitation et sur la constitution des systèmes de culture maraîchers, présentés au chapitre précédent. Selon l'agriculteur, il y a de une à trois parcelles suivies sur la saison de culture (Carte 3). La surface des parcelles enquêtées varie de 90 à 720 m<sup>2</sup>.

#### 1.2. Mesures et observations effectuées sur chaque parcelle

Nous faisons l'hypothèse que le peuplement peut être décrit par les caractéristiques de l'individu moyen, bien que le peuplement végétal en situation paysanne soit hétérogène. Pour tenir compte des hétérogénéités du peuplement et des conditions du milieu (micro-variations de types de sols, de topographie, d'exposition ...), nous avons décidé de faire les observations dans trois placettes réparties au hasard dans chacune des parcelles suivies. Les surfaces de placettes peuvent varier d'une parcelle à l'autre selon la structure de peuplement et la topographie de la parcelle. En 2005, nous avons retenu vingt-quatre plantes par placette, subdivisée en deux sous-placettes de douze plantes chacune, l'une pour y réaliser les observations et mesures *in situ*, l'autre pour effectuer les mesures destructives. En 2003, la placette a été choisie en délimitant une surface de trois lignes de plantation par quatre mètres de long environ, soit une surface variable (9 à 12 m<sup>2</sup>) selon les écartements entre les lignes de plantation.

Les observations et mesures portent sur la caractérisation des états du milieu, du système de culture (histoire des parcelles, itinéraires techniques) et sur le fonctionnement du peuplement végétal.

Figure III-5 : Disposition des tensiomètres à quatre profondeurs en cm (T20, T40, T60, T80) dans la parcelle Mhs1 en 2005.



Elles doivent permettre d'évaluer les performances de la culture de tomate. Autant que possible, nous avons privilégié des mesures et des échelles de notations assez simples et robustes pouvant être utilisées en parcelles paysannes telles que l'indice de nutrition azotée, des échelles de notation de parasites et d'adventices, et une décomposition assez fine de l'élaboration du rendement (nombre de tiges par plant, nombre de bouquets par tige, nombre de fruits par bouquet, poids moyen du fruit). Ces variables ont été déterminées *a priori*, à partir des connaissances déjà acquises sur le fonctionnement du peuplement végétal de l'espèce étudiée (cf. analyse bibliographique) et sur le milieu de la zone d'étude. Le travail de diagnostic a donc été réalisé à partir des indicateurs disponibles sans chercher à mettre au point au préalable d'autres indicateurs de diagnostic. Notre choix se justifie par le fait que l'analyse du rendement n'est qu'une partie de ce travail de thèse, l'autre partie portant sur l'analyse et la formalisation des règles de décision de constitution des systèmes de culture maraîchers et des modes de conduite de la tomate.

### 1.2.1. Caractérisation du milieu

#### - Le sol :

Des prélèvements de sol ont été réalisés dans les couches 0-20 cm et 20-40 cm de l'ensemble des parcelles suivies en 2003 et 2005, afin de déterminer leurs caractéristiques physico-chimiques. Ils ont été effectués avant la mise en culture et la fertilisation de fond. Les échantillons de terre sont composés d'un mélange de quatre carottes prises à différents points de la parcelle. Les analyses physiques (granulométrie, calcul des courbes pF 2,5 et pF 4,2 sur échantillons remaniés) ont été réalisées par le laboratoire du Cirad à Montpellier et les analyses chimiques (N, P, K, pH, C/N, matière organique, bases échangeables et CEC) ont été confiées au laboratoire d'agronomie du Cirad à la Réunion.

#### - L'état hydrique :

Ne disposant pas de moyens logistiques suffisants, ni d'appareils de mesures pour mettre en place un dispositif de collecte de données précises sur l'évolution de l'état hydrique des parcelles suivies et des peuplements végétaux, nous avons opté pour la méthode des bilans hydriques simplifiés. Ces derniers peuvent être établis à partir de l'estimation des flux d'eau entrants (irrigations paysannes, pluviométrie, remontées capillaires) et sortants (évapotranspiration réelle de la parcelle, ETa, ruissellement, drainage) de la réserve du sol entre deux dates. Pour calculer le ruissellement, le drainage et les éventuelles remontées capillaires dans chaque parcelle, il nous aurait fallu installer des appareils de mesure appropriés dans les parcelles, ce qui était très difficile compte tenu de nos moyens limités vis-à-vis du nombre et de la dispersion des parcelles. Cependant, compte tenu de la réalité, nous avons considéré ces valeurs comme négligeables : en effet, les pluies sont rares et faibles en saison sèche et l'irrigation est localisée au trou de plantation.

Le bilan hydrique (en mm) entre deux dates s'écrit selon l'équation suivante :

$$\Delta S = Ir + P - ETa$$

avec (en mm) Ir : irrigations

P : précipitations reçues entre deux dates

ETa : évapotranspiration réelle

$\Delta S$  : variation de stocks

L'évapotranspiration réelle (ETa) est difficile à mesurer. On sait néanmoins qu'elle est bornée par le besoin en eau théorique de la culture, dit « évapotranspiration maximale » ETM.

Pour calculer ETM, on utilise la formule :

$$ETM = Kc * ETo$$

L'évapotranspiration de référence (ou potentielle) ETo, anciennement appelée ETP (Maraux, 2002) est donnée par la formule de Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998).

Tableau III-4 : Liste des variables enregistrées dans le réseau de parcelles en 2003 et 2005.

Phase du cycle cultural	Variables	Observations et mesures effectuées au niveau de la placette (sauf pour les analyses de sol)	Fréquence	Année	
				2003	2005
Avant plantation	fertilité chimique du sol	Analyse chimique du sol sur horizons 0-20 et 20-40 cm / parcelle.	1 fois	x	x
	texture du sol	Analyse granulométrique sur horizons 0-20 et 20-40 cm / parcelle.	1 fois	x	x
	RU du sol	Détermination des courbes pF 4,2 et pF 2,5 et des Da sur horizons 0-20 et 20-40 cm / parcelle.	1 fois	x	x
	Age des plants à la plantation	Durée d'élevage des plants en pépinière, du semis à la plantation (en jours).	1 fois	x	x
Plantation à floraison (P - F)	Densité de plantation	Mesure des écartements entre plants sur la ligne et entre les lignes / placette.	1 fois	x	x
		Nombre de plants / placette.	1 fois	x	x
	Date de floraison	au moins 50% des plants ayant au moins une fleur ouverte sur le 1er bouquet / placette.	1 fois	x	x
	Date de nouaison	au moins 50% des plants ayant au moins un fruit de 4-5 mm sur le 1er bouquet / placette.	1 fois	x	x
	Mesure de LAI et du PAR	Mesure effectuée avec un ceptomètre placée aux 4 points cardinaux sous 3 plants / placette.	10 JAP et F		x
	Biomasse sèche	Mesure effectuée sur 3 plants (feuilles et tiges) / placette.	10 JAP et F		x
	Teneur en N, P, K	Mesure effectuée sur 3 plants (feuilles et tiges) / placette.	10 JAP et F		x
	Etat sanitaire	Evaluation de l'incidence de l'infestation (maladies et ravageurs) ; échelle de 5 notes : < 10 %, 10 à 30 %, 30 à 50 %, 50 à 75 %, > 75 %.	10-15 jours	x	x
Floraison à 1ère récolte (F - Ri)	Croissance végétative	Evaluation du taux de couverture de la ligne de plantation par la végétation ; échelle de 5 notes : < 10 %, 10 à 30 %, 30 à 50 %, 50 à 75 %, > 75 %.	10-15 jours	x	x
	Mesure de LAI et du RI	Mesure effectuée avec un ceptomètre "Accupar" placée aux 4 points cardinaux sous 3 plantes / placette.	F+15 j et Ri		x
	Biomasse sèche	Mesure effectuée sur 3 plants (feuilles, tiges, plants) / placette.	F+15 j et Ri		x
	Teneur en N, P, K	Mesure effectuée sur 3 plants (feuilles, tiges, fruits) / placette.	F+15 j et Ri		x
	Enherbement	Evaluation qualitative de la couverture du sol par les adventices ; échelle de 5 notes : < 10 %, 10 à 30 %, 30 à 50 %, 50 à 75 %, > 75 %.	10-15 jours	x	x
	Etat sanitaire	Evaluation de l'incidence de l'infestation (maladies et ravageurs) ; échelle de 5 notes : < 10 %, 10 à 30 %, 30 à 50 %, 50 à 75 %, > 75 %.	10-15 jours	x	x
	Composantes du rendement	Nombres de tiges/plant, de bouquets/tige, de fruits/bouquet sur 10 plants / placette en 2003 et 3 plants / placette en 2005.	10-15 jours	x	x
1ère récolte à fin récolte (Ri - Rf)	Densité à récolte	Nombre de plants / placette à la récolte.	1 fois	x	x
	Profil racinaire	Densité et répartition des racines, longueur maximale d'enracinement.	Ri	x	x
	Enherbement	Evaluation qualitative de la couverture du sol par les adventices ; échelle de 5 notes : < 10 %, 10 à 30 %, 30 à 50 %, 50 à 75 %, > 75 %.	10-15 jours	x	x
	Etat sanitaire	Evaluation de l'incidence de l'infestation (maladies et ravageurs) ; échelle de 5 notes : < 10 %, 10 à 30 %, 30 à 50 %, 50 à 75 %, > 75 %.	10-15 jours	x	x
	Composantes du rendement	Nombres de tiges/plant, de bouquets/tige, de fruits/bouquet sur 3 plants / placette.	chaque réc .		x
		Nombre de fruits récoltés par catégorie : commercialisables et écarts de triage sur 10 plants / placette en 2003 et 3 plants / placette en 2005. Les causes de dépréciation des fruits sont notées.	chaque réc .	x	x
		Poids de fruits récoltés par catégorie : commercialisables et écarts de triage.	chaque réc .	x	x

Légende : JAP = jours après plantation ; F = floraison ; Ri = 1ère récolte ; Rf = dernière récolte ; LAI = indice foliaire



Le coefficient cultural Kc (paramètre sans dimension) qui dépend de la culture et de son stade de développement a été ajusté en fonction du taux de couverture du sol par la végétation de tomate et du taux de mouillage du sol (Allen *et al.*, 1998). L'annexe 7 présente la procédure opératoire pour le calcul des bilans hydriques. Les bilans hydriques ont été calculés pour les trois phases du cycle plantation-floraison, floraison-début de récolte, début de récolte-fin de récolte, celles-ci correspondant généralement à des changements de pratiques d'irrigation (fréquence et/ou doses d'apport).

Nous avons également calculé la réserve utile du sol (RU en mm) avant plantation à partir de la formule standard suivante (Rieul et Ruelle, 2003) :

$$RU \text{ (mm)} = (HpF_{2,5} - HpF_{4,2}) * da * p$$

avec da = densité apparente du sol. Pour chaque horizon, du sol est prélevé avec des cylindres standardisés de 100 cm<sup>3</sup>, puis mis à l'étuve à 105°C pendant 48h avant d'être pesé.  
H : humidité aux pF 2,5 (capacité au champ) et pF 4,2 (point de flétrissement) (en %).  
p : profondeur d'enracinement en dm. Compte tenu du fait que la majeure partie du système racinaire de la tomate est concentrée dans les 25-30 premiers centimètres du sol, nous nous sommes limités aux horizons 0-20 cm et 20-40 cm.

En 2005, nous avons équipé une parcelle paysanne avec deux batteries de tensiomètres du type SMS à capteur tensimétrique électronique pour suivre l'état hydrique du sol. La parcelle (Mhs) a été choisie toute proche de la station agronomique de Dombeni pour pouvoir réaliser les relevés assez facilement, et parce qu'elle est située dans une zone alluvionnaire représentative des zones où le maraîchage est largement pratiqué. Les tensiomètres ont été installés à 20, 40, 60 et 80 cm de profondeur dans la zone d'enracinement du plant et en bordure du trou de plantation (Figure III-5). Les relevés tensiométriques, bien que non représentatifs de ce qui se passe dans l'ensemble des parcelles du dispositif, présentent néanmoins l'utilité de fournir des informations quantitatives sur l'état hydrique d'un sol maraîcher alluvionnaire, aucune référence n'étant disponible à Mayotte sur le sujet.

#### - Le climat :

Les données pluviométriques et de températures proviennent des stations d'enregistrement de la météo nationale implantées sur l'île. Nous avons retenu seulement les stations situées dans les zones où nous avons des parcelles à suivre (Annexe 8). Le rayonnement global n'est disponible que pour le site aéroportuaire de Pamandzi localisé en Petite Terre, aucune autre station de la météo nationale n'enregistrant le rayonnement.

#### 1.2.2. Caractérisation des systèmes de culture

Les enquêtes sur les pratiques culturales et leurs déterminants (voir partie 1) ont permis d'enregistrer l'histoire de la culture depuis la préparation du sol et le semis jusqu'à la récolte. Pour chaque parcelle, de nombreuses informations sont collectées régulièrement sur les opérations culturales : leur nature, la date d'intervention, les quantités d'intrants apportées et leur fréquence d'apport (engrais, pesticides, eau). Le précédent cultural, la variété de tomate cultivée, le mode de culture (culture de tomate en pure ou en intercalaire d'arbres fruitiers), le type d'exposition (plus ou moins ensoleillée en fonction de la nature de la strate arbustive) sont également notés pour chaque parcelle.

#### 1.2.3. Caractérisation du fonctionnement du peuplement végétal

Les observations et mesures sur le peuplement végétal se limitent à la période plantation - fin de récolte, sans tenir compte de la pépinière. Bien que l'état du plant en sortie de pépinière ait une influence sur sa croissance et développement au champ (Spithost, 1975 ; Navarrete, 1993), nous n'avons pas pu prendre en considération ce facteur à cause de contraintes logistiques.

Elles ont été réalisées en moyenne tous les 10 à 15 jours à partir de la plantation ou à des stades repères de la culture et portent sur des variables susceptibles d'avoir une influence sur la variation du rendement (Tableau III-4). Le protocole détaillé est présenté en annexe 9.

Etant donné la taille réduite de la plupart des parcelles suivies et par conséquent du nombre de plants, nous avons privilégié des mesures non destructives, surtout en 2003, avec deux types de données : des données qualitatives (annotations à partir de grilles de lecture) et des données mesurées ou quantitatives (nombre de plants, nombre de tiges, LAI...).

Les observations et mesures portent particulièrement sur :

- la caractérisation des stades du cycle cultural (plantation, floraison, début et fin de récolte) ;
- l'évolution de la densité de peuplement (après plantation et avant récolte) ;
- l'évolution de la surface foliaire (LAI) et de la biomasse sèche ;
- l'évolution de l'état nutritionnel du peuplement (indice de nutrition azotée, teneurs des plantes en phosphore et en potassium) ;
- les profils racinaires à la floraison (en 2003) et en début de récolte (en 2003 et en 2005) ;
- l'évolution de l'état sanitaire du peuplement ;
- l'évolution des composantes du rendement (nombre de pieds, nombre de tiges, nombre de bouquets, nombre de fruits, poids moyen du fruit par plant)

## **2. Les expérimentations agronomiques**

Les expérimentations ont été conduites chez quatre producteurs en 2005 et à la station expérimentale de Dembéni en 2004.

### **2.1. Evaluation de l'effet de différentes modalités de traitements phytosanitaires en parcelles paysannes sur l'état sanitaire du peuplement (campagne 2005)**

#### ***2.1.1. Objectif***

Plusieurs études à Mayotte antérieures à notre travail ont montré la prégnance des problèmes phytosanitaires sur tomate aussi bien en saison sèche qu'en saison des pluies et la difficulté des agriculteurs à les contrôler (Mawois, 2003 ; Blondeau, 2004) pour des raisons de disponibilité de produits de traitement, d'identification des parasites mais aussi de maîtrise des techniques de traitement. Le suivi des pratiques culturales en 2003 et 2005 nous a aussi renseignés sur la variabilité des modes de protection phytosanitaire. Dans notre situation, nous cherchons à évaluer les conséquences d'une lutte chimique raisonnée sur l'état sanitaire du peuplement végétal, et sur certaines composantes du rendement telles que le nombre de fruits et le poids moyen du fruit, et sur un critère de qualité comme le pourcentage de fruits commercialisables. Nous formulons l'hypothèse qu'en empêchant ou en limitant l'action des parasites aériens qui affectent le plus les surfaces foliaires vertes, c'est-à-dire le potentiel de capacité photosynthétique de la plante, on favorise la production de matière sèche et le transfert des assimilats vers les fruits. Cela se traduirait par un plus grand nombre de fruits et un meilleur poids moyen du fruit de la parcelle expérimentée (TC) en comparaison de la parcelle témoin (TP). Une telle expérimentation permet donc d'élargir la gamme des états du peuplement obtenus par rapport à ceux observés en situation paysanne.

#### ***2.1.2. Matériel et méthodes***

Nous comparons quatre couples de parcelles de tomate conduits chacun par un même agriculteur. Ces couples de parcelles sont localisées chez Lep, Ord et Inr à Combani, et chez Mhs à

Dembéni. Les deux parcelles du couple sont situées l'une à côté de l'autre. Pour pouvoir comparer les effets du facteur étudié, les parcelles ne doivent se différencier que par une seule caractéristique de milieu ou du système de culture (Boiffin *et al.*, 1981). Dans notre étude, il s'agit de la conduite des traitements phytosanitaires, les autres opérations culturales étant gérées de la même façon par l'agriculteur. Les deux modes de conduite des traitements sont notés TP et TC : TP (témoin avec P comme Planteur) est le programme de traitements phytosanitaires décidé entièrement par l'agriculteur ; TC (avec C comme CIRAD) est le calendrier de traitements préventifs défini par le CIRAD.

La conduite phytosanitaire se définit en termes de fréquence de traitements, de nombre de produits utilisés et par les dosages. Dans la modalité TC, la gamme des pesticides est élargie par rapport aux produits couramment utilisés à Mayotte. Les différents programmes de traitements sont présentés en annexe 10.

### 2.1.3. Observations et mesures

Ce sont les mêmes que celles effectuées dans le cadre du diagnostic agronomique en parcelles paysannes (cf. ci-dessus) avec trois placettes par parcelle et trois plants de référence par placette. Elles sont réalisées tous les dix jours en moyenne, avant un traitement chimique. Pour chaque traitement, aussi bien la modalité paysanne TP que la modalité TC, on enregistre :

- la date du traitement,
- les noms et la quantité de produits par pulvérisateur ;
- le volume de bouillie par pulvérisateur ;
- la surface ou le nombre de plantes traitées ;
- le nombre de pulvérisateurs utilisés pour la surface traitée.

## 2.2. Essai taille en station (campagne 2004)

### 2.2.1. Objectif

Il s'agit d'évaluer les conséquences de la taille en elle-même (sans compétition entre plantes pour la lumière, l'eau et les éléments minéraux) sur la croissance et le développement de la tomate. Pour cela on choisit une densité de plantation très faible avec un écartement entre plants de 1,5 m par 1,5 m. De cette façon on suppose que tous les plants sont soumis aux mêmes conditions micro-climatiques et de sol. Les résultats contribueront à enrichir l'interprétation du diagnostic agronomique de la variabilité des rendements en parcelles paysannes et à proposer une piste d'innovation technique.

### 2.2.2. Matériel et méthodes

Nous testons pour cela six traitements correspondant à trois modalités de conduite du couvert végétal (T0, T1, T2) combinées à deux niveaux de fertilisation minérale (F0, F1), selon un dispositif statistique en randomisation totale à six répétitions (cf. protocole détaillé en annexe 11). Chaque parcelle élémentaire compte cinq plantes. La variété de tomate choisie est Calinago (hybride F1 à croissance déterminée.)

Les six traitements testés sont les suivants :

- T0F0 : aucune taille, fertilisation réduite
- T0F1 : aucune taille, fertilisation pléthorique
- T1F0 : taille intermédiaire, fertilisation réduite
- T1F1 : taille intermédiaire, fertilisation pléthorique
- T2F0 : taille paysanne, fertilisation réduite
- T2F1 : taille paysanne, fertilisation pléthorique

avec :

**PLANCHE A PHOTOS N° 4**  
**Diversité de modes de culture de la tomate**



Culture pure de tomate en plein air



Culture sous cocoteraie clairsemée



Tuteurage + taille à 2 tiges



Culture tuteurée en intercalaire d'agrumes



Conduite libre sans taille



Taille sans tuteurage

- **T0** : pas de taille, ni de tuteurage du plant.
- **T1** : taille légère consistant en un effeuillage du bas de la plante, de la première feuille située au dessus des cotylédons jusqu'à la feuille précédent le premier bouquet, et en la suppression des axillaires au moment de la floraison pour n'en garder que trois vigoureux. Aucun égourmandage n'est réalisé pendant le cycle cultural.
- **T2** : taille paysanne. Comme dans le traitement T1, au moment de la floraison on réalise un effeuillage du bas de la plante, de la première feuille située au dessus des cotylédons jusqu'au 1<sup>er</sup> bouquet, et on supprime les axillaires pour n'en garder que trois. Les plants sont ensuite égourmandés à deux reprises entre la floraison et le début des récoltes pour ne garder que les trois tiges initiales.
- **F0** : fertilisation modérée proche de la pratique paysanne avec une quantité totale de 12 g d'engrais 10-10-20 par plant répartie sur deux apports :
  - à la plantation : 6 g / plant,
  - à la floraison : 6 g / plant.
- **F1** : fertilisation pléthorique avec une quantité totale de 36 g de 10-10-20 par plant fractionnée en trois apports successifs (plantation, floraison, trois semaines après floraison) de 12 g / plant.

### 2.2.3. Observations et mesures

- Les mesures destructives sont réalisées sur un plant par répétition et par traitement à trois dates : 15 jours après plantation (JAP), 35 JAP et 55 JAP. Elles portent sur la croissance végétative (hauteur et largeur du plant), l'évolution de la surface foliaire, et le poids sec des différentes parties aériennes (feuilles, tiges, fruits).
- Les observations et mesures non destructives sont réalisées chaque semaine sur un plant par répétition et par traitement à trois dates. Elles portent sur la notation des dates de floraison, de nouaison, de début et fin de récolte, sur la croissance des plants (hauteur, largeur) et sur le dénombrement des composantes du rendement (nombre de tiges, nombre de bouquets, nombre de fruits, poids moyen du fruit).  
Les mesures de hauteur et de largeur de plant permettent de calculer le volume de l'appareil végétatif, considéré comme un indicateur de croissance globale du peuplement et pouvant être mis en relation avec l'évolution de la surface foliaire et avec des composantes du rendement. La hauteur et la largeur du plant peuvent être utilisées aussi chacun comme indicateur de croissance ou de vigueur de la plante. Ces indicateurs ont comme intérêt d'être non destructifs.

## 3. Traitement des données

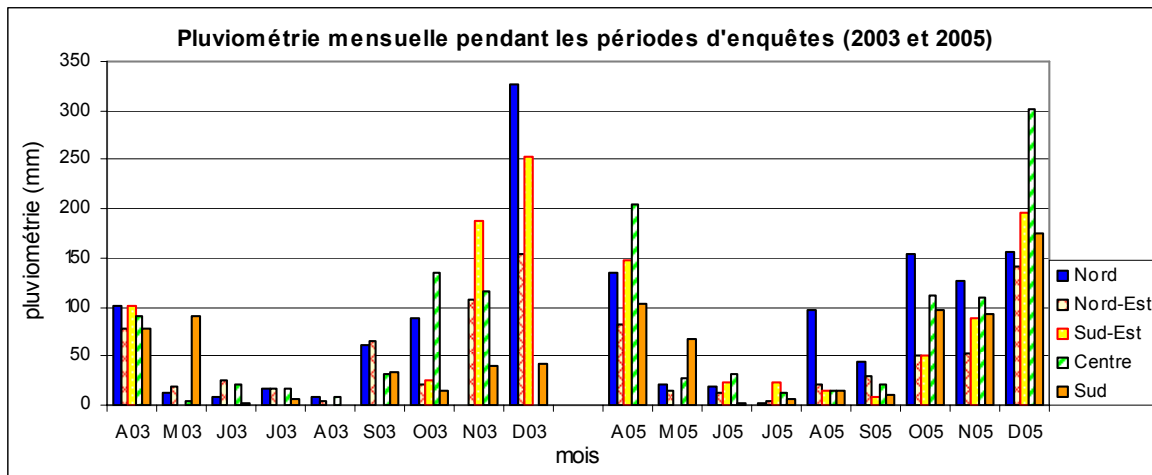
Les traitements statistiques des données sont faits avec le logiciel Stat Box Agri. Sauf indication contraire, les différentes valeurs présentées pour chaque parcelle correspondent à la valeur moyenne calculée à partir des données enregistrées dans les trois placettes de suivi. En ce qui concerne particulièrement les données de composantes du rendement, les valeurs de chaque placette correspondent à la moyenne des valeurs relevées sur les plants de référence (10 en 2003 ; 3 en 2005). Nous utilisons la régression linéaire simple pour rechercher des relations entre le rendement et les composantes, et pour mettre en évidence l'influence des états du milieu et des pratiques sur les composantes du rendement. Les comparaisons de moyennes sont effectuées par le test T de Student (quand la normalité est supposée), et par des tests non paramétriques de Wilcoxon, de Mann et Whitney (quand les données sont appariées ou indépendantes). Les valeurs significativement différentes sont identifiées par des lettres différentes dans les tableaux. Dans le cas de l'essai taille où le dispositif statistique est une randomisation totale, les traitements expérimentaux sont évalués par analyse de variance. Dans le cas de différences significatives, la séparation des moyennes est faite avec le test de Newman-Keuls ou de la plus petite différence significative (ppds) au seuil  $\alpha = 5\%$ . Les traitements significativement différents sont identifiés par des lettres différentes dans les tableaux.

Tableau III-5 : Caractéristiques agro-climatiques des zones étudiées en 2003 et 2005 et du site de Petite-Terre (Pamandzi).

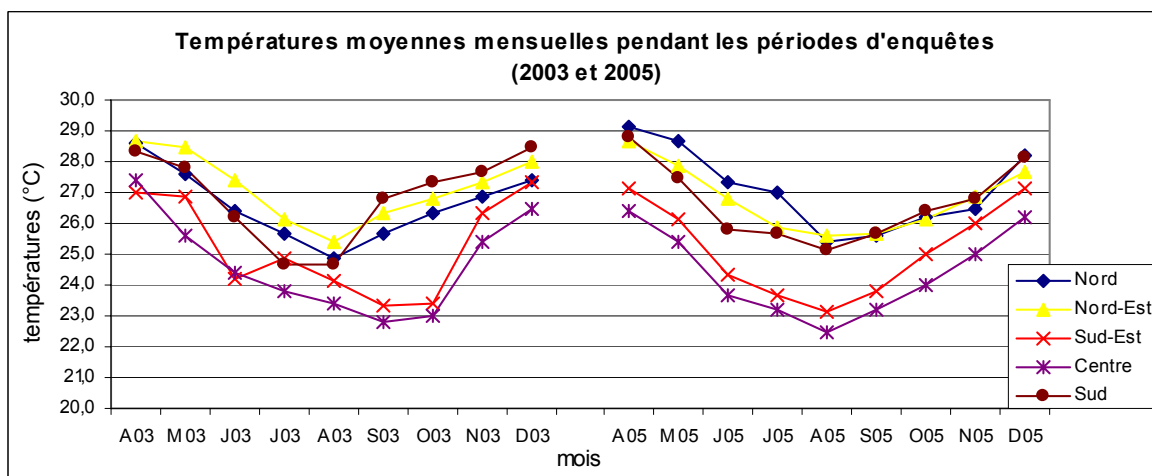
Variable	Année	Nord	Nord-Est	Centre	Sud-Est	Sud	Petite Terre
Pluviométrie annuelle (mm)	2003	1 593	1 358	1 571	1 430	1 027	
	2005	1 501	1 194	1 709	1 111	1 114	
Température moyenne (°C)	2003	27,1	27,4	25,0	25,8	27,3	26,9
	2005	27,6	27,3	25,3	25,9	27,3	
ETo (mm)	2003						4,8
	2005						4,9

Figure III-6 : Evolution de la pluviométrie mensuelle et de la température moyenne mensuelle dans différentes zones de l'île pendant la période d'enquêtes en 2003 et 2005 (source : météo nationale).

#### A – Pluviométrie mensuelle



#### B – Températures moyennes mensuelles



## 4. Résultats sur le diagnostic agronomique

### 4.1. Caractéristiques climatiques des deux années d'études

Nous présentons comme seules données climatiques pour les différents sites et les années d'études la pluviométrie et les températures moyennes. Le rayonnement global enregistré sur le site de Pamandzi permet d'approcher l'évaporation transpiration potentielle (ETP ou ETo) au niveau de l'île. Les principales caractéristiques agro-climatiques annuelles sont reportées dans le tableau III-5. On note des différences de températures très faibles entre les deux années (Figure III-6 B), ce qui n'est pas le cas pour la pluviométrie. Dans les zones Nord, Nord-Est et Sud-Est, la pluviométrie était plus élevée en 2003 qu'en 2005. En revanche, la pluviométrie mensuelle était moins forte en avril 2003, en fin de saison des pluies, qu'en avril 2005 (Figure III-6 A), ce qui a conduit les agriculteurs à démarrer plus tardivement la campagne de saison sèche de tomate en 2005 comparativement à 2003. Pendant la pleine saison sèche, de juin à septembre, qui correspond à la pleine saison de production, la pluviométrie a été inférieure à 32 mm/mois sauf dans le Nord et le Nord-Est en septembre 2003 (respectivement 62 et 66 mm) et dans le Nord en août 2005 (98 mm). On peut supposer que l'effet du climat sur la variation interannuelle du rendement a été peu significatif compte tenu de la très faible variation des températures moyennes observée et de la faible pluviométrie en saison sèche. Les agriculteurs arrosent quotidiennement les tomates sauf si une pluie forte (au moins 5 à 10 mm) survient le jour où la veille de l'arrosage prévu, ce qui reste rare pendant la pleine saison sèche.

### 4.2. Analyse de la variabilité des rendements et de ses composantes

A partir des données recueillies dans les parcelles agricoles et auprès des agriculteurs, on se propose d'analyser les causes de variation du rendement de la tomate, selon la démarche suivante (Meynard et David, 1992) : tout d'abord on décrira le processus d'élaboration du rendement (relations entre ses différentes composantes) et les phases du cycle où le peuplement végétal exprime des signes de dysfonctionnement. Ensuite, nous chercherons à identifier les états du milieu (états hydriques, nutritionnels, infestations parasitaires...) supposés être à l'origine des dysfonctionnements et donc des variations de rendement. Enfin, nous examinerons l'influence des éléments du système de culture sur les états du milieu.

#### 4.2.1. Une forte variabilité des rendements

Sur l'ensemble des deux années d'étude, on a relevé une **importante variabilité des rendements biologiques** (Figure III-7), entre années, mais surtout entre parcelles (Annexe 12). En 2003, les rendements ont varié de 0,7 à 45,3 t/ha (19,9 t/ha en moyenne) entre parcelles contre 8,1 à 89,1 t/ha (34,2 t/ha en moyenne) en 2005. En 2005, les rendements en moyenne sont supérieurs, mais les variations entre parcelles sont plus faibles (rapport de 1 à 11). Comme on l'a vu ci-dessus, le climat semble ne pas en être à l'origine vu les faibles écarts de température entre les deux campagnes. En revanche, les échantillons entre les deux années d'étude sont partiellement différents : ils ne comptent que six agriculteurs communs (Adb, Lep, Mhs, Sma, Nba, Ybo) avec un pourcentage de producteurs immigrés plus important en 2005 (70%) qu'en 2003 (20%) et un nombre de productrices plus fort en 2003 (6/15) qu'en 2005 (1/20). Les producteurs anjouanais et grands comoriens sont réputés être de bons producteurs et s'investissent dans la recherche du rendement maximum.

Dans la gamme des rendements observés, le taux de transfert de matière sèche vers les fruits ou « Harvest Index » (poids sec des fruits/poids sec biomasse aérienne) a varié de 31 à 69% avec une moyenne de 50% (CV = 17%). Ces valeurs se situent un peu en-dessous de celles trouvées par d'autres auteurs (Heuvelink et Dorais (2005) dans des situations de bonnes productions (58 à 65%).

Figure III-7 : Variabilité des rendements biologiques (en t/ha) dans le réseau de parcelles paysannes en 2003 et en 2005.

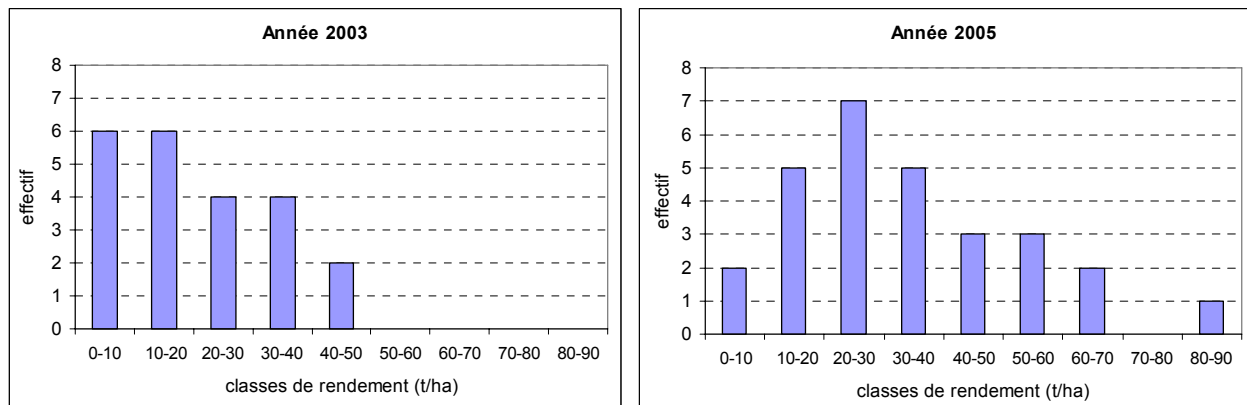
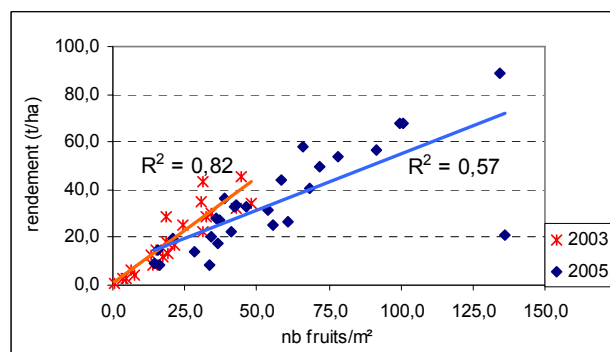


Tableau III-6 : Variations des rendements biologiques et commerciaux, nombres moyens de plants/m<sup>2</sup> à la plantation (P) et à la récolte (Ri), nombre total de fruits/m<sup>2</sup>, nombre de fruits commerciaux/m<sup>2</sup>, nombre de tiges/m<sup>2</sup>, nombre de bouquets/m<sup>2</sup> et poids moyen d'un fruit en 2003 et 2005 dans les parcelles paysannes.

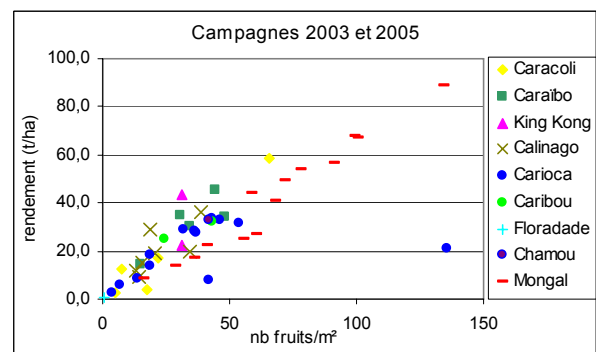
	Année 2003					Année 2005					moyenne 2 années				
	moyenne	min	max	écart type	CV	moyenne	min	max	écart type	CV	moyenne	min	max	écart type	CV
Rendement biologique (t/ha)	19,9	0,7	45,3	13,4	68%	34,2	8,1	89,1	20,3	59%	27,9	0,7	89,1	18,9	68%
Rendement fruits comm. (t/ha)	16,9	0,6	40,4	12,1	72%	26,9	0,3	78,8	19,1	71%	22,5	0,6	78,8	17,0	75%
Nb plants/m <sup>2</sup> à P	2,4	1,1	5,4	0,1	41%	3,2	1,5	4,7	0,9	27%	2,9	1,1	5,4	1,0	35%
Nb plants/m <sup>2</sup> à Ri	2,1	0,8	5,1	0,1	47%	3,0	1,3	4,5	0,9	30%	2,6	0,8	5,1	1,1	40%
Nb-tot fruits/m <sup>2</sup>	21,8	0,7	48,2	13,7	63%	55,7	14,3	135,9	32,6	59%	40,8	0,7	135,9	30,9	76%
Nb-fruits comm./m <sup>2</sup>	17,4	0,6	40,0	12,0	69%	37,1	0,3	102,2	27,1	73%	28,4	0,3	102,2	23,7	84%
Nb moy. tiges/m <sup>2</sup>	5,5	1,9	16,3	3,6	66%	14,6	4,8	41,9	7,6	52%	11,3	1,9	41,9	7,8	69%
Nb moy. bq/m <sup>2</sup>	10,4	3,4	24,5	6,2	60%	43,8	16,0	108,5	20,1	46%	31,7	3,4	108,5	23,1	73%
Poids moy. fruit (g)	89	55	157	26	29%	66	23	95	18	27%	76	23	157	24,6	32%

Figure III-8 : Relation entre le rendement biologique (t/ha) et le nombre total de fruits par m<sup>2</sup> dans le réseau de parcelles en 2003 et en 2005.

A : Représentation des deux campagnes



B : Avec le positionnement des variétés





#### 4.2.1.1. Variabilité des rendements, des nombres de fruits et des poids moyens des fruits, relations entre les composantes

Comme le rendement, **le nombre de fruits par m<sup>2</sup> est caractérisé par une forte variabilité** (Tableau III-6). On retrouve des écarts différents entre les deux années comme pour la variable rendement. Il existe une bonne **corrélation entre le rendement biologique et le nombre de fruits par m<sup>2</sup>**, pour chacune des années prises séparément ( $r^2 = 0,82$  en 2003 et  $r^2 = 0,57$  en 2005). Le point excentré sur la Figure III-8A correspond à une parcelle (Lep1) qui a été affectée par une virose. Cela s'est traduit par un rendement de 21 t/ha avec un grand nombre de fruits de petits calibres (47 g en moyenne, contre une moyenne de 67 g pour l'ensemble des autres parcelles en 2005). Si l'on ne tient pas compte de cette parcelle, le coefficient de corrélation est bien meilleur ( $r^2 = 0,89$ ). En représentant les variétés sur la Figure III-8B, on s'aperçoit qu'il n'y a pas d'effet significatif apparent de la variété sur le nombre de fruits par m<sup>2</sup>. Pour une gamme donnée de variation du nombre de fruits par m<sup>2</sup>, on observe plusieurs variétés : par exemple, de 10 à 60 fruits par m<sup>2</sup>, on trouve Carioca, Calinago, Caracoli, Caraïbo. Néanmoins, on s'aperçoit que la variété Mongal se démarque des autres par sa plus forte production de nombre de fruits par m<sup>2</sup>.

Les figures III-8A et III-9A montrent que **les rendements sont surtout liés au nombre de fruits par m<sup>2</sup> et non pas au poids moyen d'un fruit (PmF)**. Il n'y a pas de corrélation entre le rendement et le poids moyen d'un fruit quelle que soit l'année. On observe des poids moyens faibles avec des rendements élevés et inversement. Le poids moyen le plus faible enregistré en 2005 (23,5 g) correspond à la parcelle Pet et à la variété Carioca. Cette parcelle a été peu entretenue (pas de taille, ni tuteurage, ni désherbage) par le producteur contrairement à ce qu'il avait annoncé en début de culture. En fait, ayant eu un désaccord avec le propriétaire du terrain, il a abandonné l'entretien de la culture un peu après la plantation.

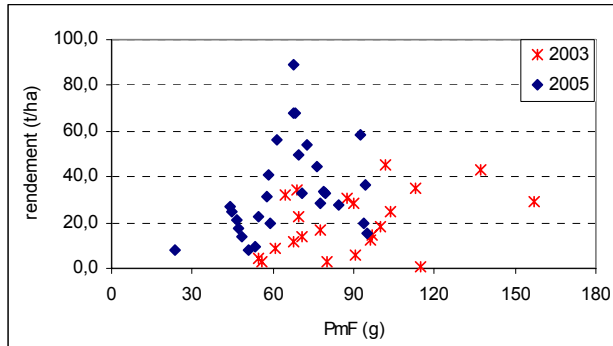
Si le PmF n'est pas corrélé au rendement, et si la gamme de variation de cette composante est plus faible que celle du nombre de fruits par m<sup>2</sup>, cette composante paraît néanmoins limiter le rendement dans certaines situations. En effet, en 2005 le PmF moyen (toutes variétés confondues) était plus faible qu'en 2003 (66 g contre 89 g). Cela s'expliquerait par le fait que la principale variété cultivée était Mongal, variété connue pour des calibres de fruits plutôt moyens et inférieurs à ceux de Calinago et King-Kong par exemple (Figure III-9B & C). Néanmoins, si Carioca était dans la même gamme de poids moyen pendant les deux campagnes, Calinago a eu un poids moyen très inférieur en 2005, ce qui suppose donc que le facteur variétal n'est pas le seul facteur qui permet d'expliquer la variation du poids moyen et qu'il existe donc d'autres facteurs limitants.

Nous n'avons pas de base de données sur les rendements potentiels de ces variétés à Mayotte, même si elles sont cultivées depuis plusieurs années sur l'île. Les évaluations qualitatives données par Technisem (société de production de semences) sont King-Kong > Caracoli > Calinago > Carioca et Mongal. En annexe 2, on trouvera une description des fruits selon les informations recueillies auprès du distributeur de semences (Technisem), celles-ci faisant apparaître des calibres de fruits plus importants que ce nous avons observé dans nos parcelles.

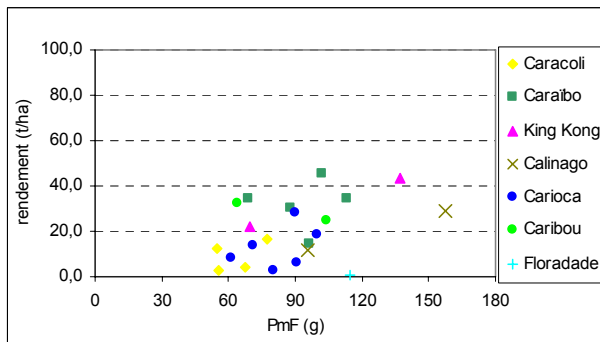
Ces constats amènent à étudier les relations entre le rendement et les sous-composantes du nombre de fruits.

Figure III-9 : Relation entre le rendement biologique (t/ha) et le poids moyen d'un fruit (g) dans le réseau de parcelles en 2003 et en 2005.

A - Campagnes 2003 et 2005



B - Campagne 2003 avec représentation des variétés



C - Campagne 2005 avec représentation des variétés

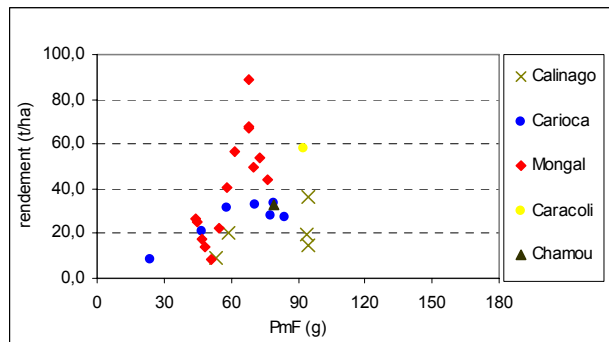
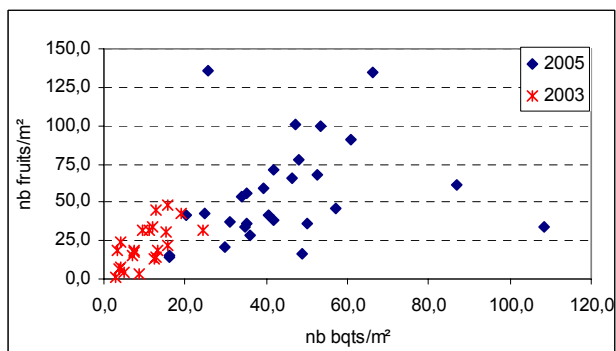


Figure III-10 : Relation entre le nombre total de fruits par m<sup>2</sup> et le nombre de bouquets par m<sup>2</sup> dans le réseau de parcelles en 2003 et en 2005.



#### 4.2.1.2. Variabilité du nombre de fruits

##### i. Relation entre nombre de bouquets par m<sup>2</sup> et nombre de fruits

La figure III-10 montre une tendance à une corrélation positive entre le nombre de bouquets et le nombre de fruits par m<sup>2</sup> si l'on considère la courbe enveloppe du nuage de points, c'est-à-dire la droite joignant, pour une gamme de valeurs de l'abscisse, les valeurs d'ordonnées les plus fortes (Makowski *et al.*, 2007). Cela signifie que les faibles nombres de bouquets sont toujours associés à des faibles nombres de fruits. En effet, le nombre de fruits par bouquet est généralement limité par la taille du bouquet et le faible nombre de bouquets n'est pas compensé par le nombre de fruits par bouquet (sauf dans un cas, celui de la parcelle virosée déjà évoquée (Lep1), qui témoigne d'un dysfonctionnement physiologique important : le TLCMyV ralentit fortement la croissance du plant et induit la formation de bouquets avec de nombreux petits fruits). En revanche, les nombres de bouquets par m<sup>2</sup> plus élevés peuvent être associés dans certains cas à des nombres de fruits par m<sup>2</sup> élevés (parcelles sur la courbe enveloppe), ou dans d'autres cas beaucoup plus faibles (parcelles en dessous de la courbe enveloppe). Cette variation du nombre de fruits par m<sup>2</sup> pour un même nombre de bouquets par m<sup>2</sup> traduit une **forte variabilité du nombre de fruits par bouquet** pour un nombre de bouquets donné. En faisant abstraction de la parcelle Lep1, on a une courbe enveloppe qui passe par un maximum de 135 fruits par m<sup>2</sup> pour 66 bouquets environ (parcelle Ord2).

Pour les deux campagnes, on observe cependant un coefficient de variation important pour le nombre de bouquets par m<sup>2</sup> : 60 % en 2003 et 46% en 2005. Le nombre moyen de bouquets par m<sup>2</sup> est bien plus élevé en 2005 qu'en 2003. Cela pourrait s'expliquer par un problème méthodologique lié à la taille du fruit : les observateurs ont compté en 2005 les bouquets qui possédaient au moins un fruit noué visible à l'œil nu de 3 à 4 mm, alors qu'en 2003 seuls les bouquets avec au moins un fruit de la taille d'un petit pois (7 à 8 mm) ont été enregistrés. Cette pratique a pu conduire à maximiser le nombre de bouquets notés en 2005, avec des répercussions également sur la gamme des rendements observés. Les observations que nous avons faites ne nous permettent pas malheureusement d'évaluer l'importance de ce biais méthodologique. L'autre explication qui nous paraît plus pertinente serait liée à une taille plus sévère en 2003 ayant conduit à supprimer davantage de tiges, et par conséquent de bouquets : 2,5 tiges en moyenne par plant en 2003 contre 4,7 en 2005. De plus la densité moyenne de plantation était supérieure en 2005 (3,05 plant par m<sup>2</sup> contre 2,09 plant par m<sup>2</sup> en 2003).

De ces observations, on retient que :

- la gamme des nombres de fruits par m<sup>2</sup> est en partie liée à l'établissement du nombre de bouquets par m<sup>2</sup> ;
- que le nombre de fruits par bouquet peut être très variable pour un même nombre de bouquets par m<sup>2</sup>.

##### ii. Relation entre nombre de bouquets et nombre de tiges par m<sup>2</sup>

**Le nombre de bouquets par m<sup>2</sup> est corrélé au nombre de tiges par m<sup>2</sup>** (Figure III-11). La valeur du coefficient de régression linéaire  $r^2$  pour l'ensemble des parcelles des deux campagnes est de 0,91. En considérant chaque campagne séparément,  $r^2$  est égal à 0,87 en 2003, et 0,89 en 2005. Il existe néanmoins une variabilité du nombre de bouquets par tige qui n'est pas complètement négligeable et que nous analyserons un peu plus loin.

A l'exception de Pet qui n'a pas taillé ses plants de tomate (à titre exceptionnel), tous les autres agriculteurs ont tuteuré et taillé les plants, et les ont ébourgeonnés à plusieurs reprises par la suite. Ce sont ces techniques de gestion de la végétation qui conditionnent *in fine*, en grande partie, le nombre de tiges par plant. Pet a en fait abandonné la culture très tôt en début de cycle (avant floraison).

Figure III-11 : Relation entre le nombre de bouquets par m<sup>2</sup> et le nombre de tiges par m<sup>2</sup> en 2003 et en 2005.

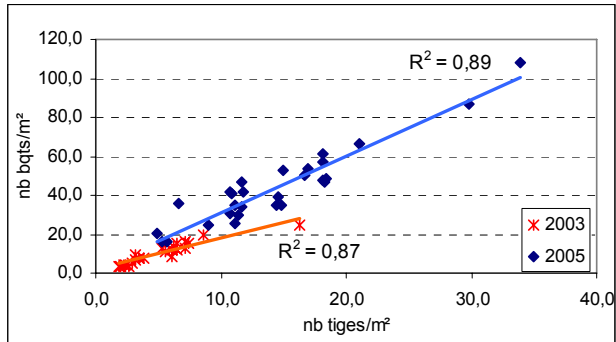
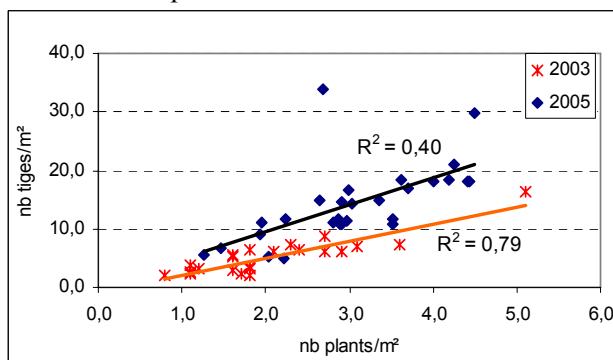


Tableau III-7 : Sous composantes du rendement par plant pour les parcelles du réseau en 2003 et 2005.

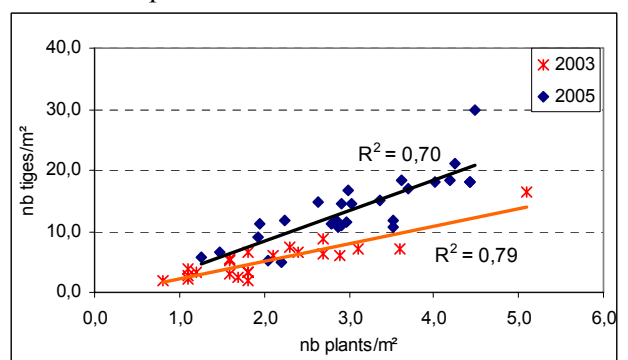
Année		Nbr moy bqt / tige	Nbr moy fruits / bqt	Nbr moy fruits / tige	Nbr moy tiges / plant	Nbr moy bqt / plant
2003	moyenne	1,9	2,3	4,5	2,5	4,8
	min	1,4	1,7	2,7	1,1	1,9
	max	2,3	2,9	5,8	3,5	7,1
	écart type	0,2	0,3	0,9	0,8	1,6
	coef. var	12%	15%	20%	30%	33%
2005	moyenne	3,2	1,1	3,6	4,5	13,8
	min	2,3	0,2	0,5	2,2	7,8
	max	4,9	2,0	8,3	8,6	24,4
	écart type	0,6	0,4	1,7	1,2	3,7
	coef. var	20%	41%	48%	26%	27%
2 années	moyenne	2,7	1,5	3,9	3,8	10,5
	min	1,4	0,2	0,5	1,1	1,9
	max	4,9	2,9	8,3	8,6	24,4
	écart type	0,8	0,7	1,5	1,4	5,4
	coef. var	29%	46%	39%	38%	51%

Figure III-12 : Relation entre le nombre de tiges par m<sup>2</sup> et le nombre de pieds par m<sup>2</sup> dans le réseau de parcelles en 2003 et en 2005.

A : Toutes les parcelles



B : Sans la parcelle Pet



Le nombre de tiges dans le réseau de parcelles a varié d'un rapport de 1 à 2 environ entre les deux campagnes : 1,1 à 3,5 tiges/plant en 2003 (moyenne = 2,5 tiges/plant ; CV = 30%), 2,2 à 8,6 tiges/plant en 2005 (moyenne = 4,5 tiges/plant ; CV = 26%) en incluant la parcelle Pet, et 2,2 à 5,7 tiges/plant sans Pet.

Si l'ébourgeonnage est réalisé rigoureusement et régulièrement, on observe environ 2 tiges en moyenne par plant, et dans le cas contraire on compte jusqu'à 5,7 tiges par plant (Cas de Ari, Sso) (Tableau III-7).

### **iii. Relation entre nombre de tiges et nombre de pieds par m<sup>2</sup>**

La figure III-12A illustre la tendance à une **corrélation positive entre le nombre de tiges par m<sup>2</sup> et le nombre de pieds par m<sup>2</sup> à la récolte**. La figure III-12B fait abstraction de la parcelle Pet qui n'a pas été taillée contrairement aux autres parcelles. Pour chaque année de suivi, le coefficient de régression linéaire  $r^2$  est élevé : 0,79 en 2003 et 0,70 en 2005. Le nombre de tiges par m<sup>2</sup> est donc d'autant plus élevé que le nombre de pieds vivants par m<sup>2</sup> à la récolte est élevé, ce qui signifie que la pratique de taille ne permet pas de réduire la variabilité de densité de tiges par m<sup>2</sup>. En effet, comme nous l'avons vu au chapitre précédent sur l'analyse des modes de conduite de la tomate, l'agriculteur raisonne la taille au plant et non à une unité de surface. Au moment de la taille, il laisse le même nombre de tiges par plant quelle que soit la densité de plantation. L'augmentation de la densité de peuplement ne se traduit pas par une diminution du nombre de tiges par plant (Figure III-13)

La pente de la droite de régression est plus forte en 2005 qu'en 2003 (Figure III-12), ce qui traduit un nombre plus important en moyenne de tiges par m<sup>2</sup> (et par plant) en 2005 qu'en 2003 (comme nous l'avons souligné au paragraphe précédent).

#### **4.2.1.3. Variabilité du nombre de pieds**

La densité de peuplement présente une forte variabilité sur les deux années et aux deux stades du cycle cultural où elle a été calculée (à la plantation et à la récolte) (Tableau III-6). Le nombre moyen de pieds récoltés s'écarte peu du nombre moyen de pieds plantés comme le montre la figure III-14, à l'exception de quelques parcelles. En 2003, le nombre moyen de pieds plantés était de 2,4/m<sup>2</sup> et celui de pieds récoltés de 2,1, soit une perte moyenne de plants de 12,5%. En 2005, la perte était de 5% pour 3,2 plants repiqués. Ces moyennes masquent cependant quelques fortes disparités. En effet, les parcelles qui ont connu les plus fortes mortalités sont Ybo, Sma, Smd en 2005 et Mas2, Mbo, Aso, Lep1, Mas1 et Lep 2 en 2003 avec respectivement 15%, 31%, 38%, 18%, 22%, 33%, 39%, 50% et 56%. Le diagnostic sur ces mortalités est assez aisé à faire car elles sont dues en grande partie au flétrissement bactérien (causé par la bactérie *Ralstonia solanacearum*) et aux nématodes à galles dans le cas d'Aso, avec des symptômes bien visibles.

Quand on analyse la relation entre la densité de peuplement à la récolte et le nombre total de fruits par m<sup>2</sup>, on n'observe pas de relation nette entre ces deux variables pour chaque année (Figure III-15). Néanmoins, si l'on considère les valeurs d'ordonnées les plus fortes pour une gamme de valeurs de l'abscisse (à l'exception du point Lep1 en 2005), on peut dire que le nombre total de fruits par m<sup>2</sup> est lié au nombre de plants par m<sup>2</sup>. Pour les parcelles qui se situent au dessous de la courbe enveloppe, d'autres facteurs importants sont à l'origine de la variation du nombre de fruits, en particulier *via* le nombre de fruits par bouquet.

Figure III-13 : Relation entre le nombre de tiges par plant et la densité de plantation dans le réseau de parcelles en 2003 et en 2005.

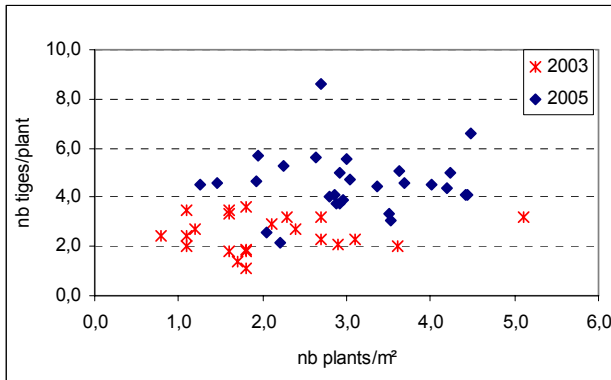


Figure III-14 : Ecart entre le nombre de plants/m<sup>2</sup> à la plantation (P) et le nombre de plants/m<sup>2</sup> à la récolte (Ri) dans le réseau de parcelles en 2003 et 2005.

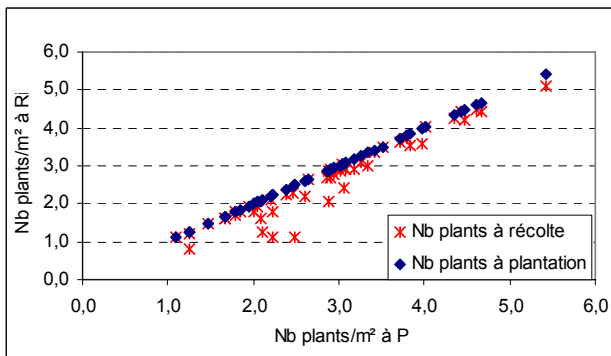
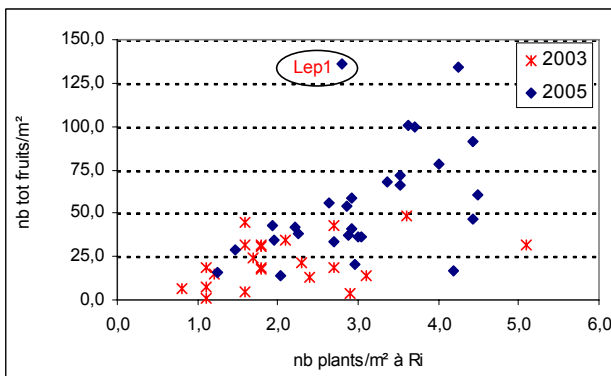


Figure III-15 : Relation entre le nombre de plants/m<sup>2</sup> à la récolte (Ri) et le nombre total de fruits/m<sup>2</sup> en 2003 et en 2005.



#### 4.2.1.4. Conclusion partielle

L'analyse de l'élaboration du rendement montre les rôles déterminants du nombre de fruits par m<sup>2</sup>, du nombre de bouquets et du nombre de tiges par m<sup>2</sup> sur les variations de rendement. La composante « poids moyen du fruit » apparaît moins variable, et son analyse est rendue difficile *a priori* par le fait que nous avons plusieurs variétés dont certaines ne recouvrent qu'une seule parcelle (Chamou, Floradade).

La variation du nombre de fruits s'explique en partie par l'établissement du nombre de bouquets par m<sup>2</sup> lui-même très lié au nombre de tiges par m<sup>2</sup>. On observe cependant une assez forte variabilité du nombre de fruits par bouquet, surtout en 2005. La période d'élaboration de la composante nombre de fruits par m<sup>2</sup> constitue donc une période de différenciation significative des rendements entre parcelles. Les interventions manuelles fréquentes sur la végétation (taille, éourmandeages), à partir de la floraison jouent sur les différentes sous-composantes (nombre de tiges, nombre de bouquets, nombre de fruits). Dans ce cadre, la variété semble ne pas être un facteur déterminant de l'évolution de ces sous-composantes, mais bien les pratiques culturales de taille et d'éourmandage. Il n'y a pas non plus de relation entre la densité de peuplement et le nombre de tiges par plant comme l'illustre la figure III-13.

L'analyse des profils de fruits à l'échelle de la tige et de la plante entière (réalisable sur les parcelles suivies en 2005 seulement) devrait pouvoir nous renseigner sur le poids de ces composantes dans la constitution du rendement à l'échelle de la plante.

Figure III-16 : Production moyenne par plant (en kg) et nombre total moyen de fruits récoltés par plant pour chaque parcelle suivie en 2003 et en 2005.

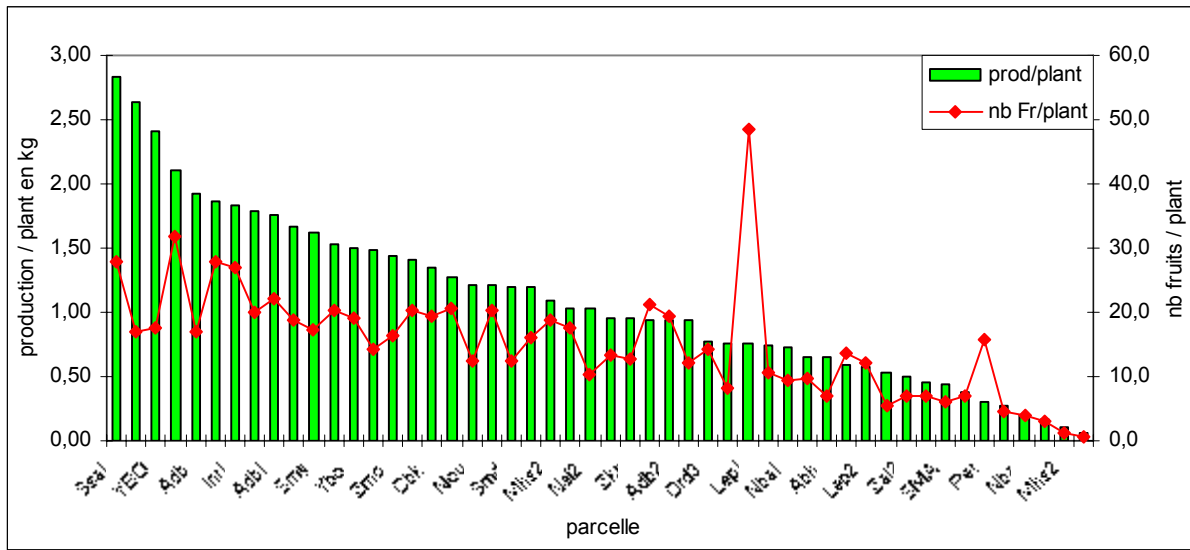


Tableau III-8 : Moyennes des nombres de fruits par tige et par bouquet selon leur ordre d'apparition sur la plante dans les parcelles suivies en 2005.

Moy	N° tige								
	n° bqt	1	2	3	4	5	6	7	8
B1	3,0	2,2	0,9	0,5	0,4	0,2	0,2	0,2	0,3
B2	2,6	1,4	0,5	0,2	0,1	0,0	0,0	0,1	0,3
B3	1,2	0,3	0,1	0,0	0,0				
B4	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0				
B5	0,1	0,0	0,0						
B6	0,0								
B7	0,0								

C.V.	N° tige						
	n° bqt	1	2	3	4	5	6
B1	30%	35%	73%	77%	78%	110%	141%
B2	36%	55%	109%	116%	117%	265%	141%
B3	53%	103%	185%	259%	185%		
B4	103%	203%	274%	237%	332%		
B5	139%	269%	458%				
B6	256%						
B7	458%						

Tableau III-9 : Maximum et minimum des nombres de fruits par tige et par bouquet selon leur ordre d'apparition sur la plante enregistrés dans le réseau de parcelles suivies en 2005.

Min	N° tige							
	1	2	3	4	5	6	7	8
B1	1,7	0,6	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,3
B2	0,4	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
B3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
B4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
B5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
B6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
B7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Max	N° tige							
	1	2	3	4	5	6	7	8
B1	4,4	3,4	2,6	1,1	0,9	0,6	0,3	0,3
B2	4,3	3,0	1,4	0,6	0,4	0,2	0,1	0,3
B3	2,2	1,1	0,7	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0
B4	1,4	0,5	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
B5	0,4	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
B6	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
B7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



#### 4.2.2. Analyse des composantes à l'échelle de la plante

##### 4.2.2.1. *Production par plant*

La figure III-16 montre l'évolution de la production par plant en relation avec le nombre de fruits par plant. Les deux points de la courbe « Nb fruits/plant » qui se détachent complètement des autres correspondent à la parcelle Lep1 (déjà signalée, confrontée à des attaques de viroses avec pour conséquence de nombreux fruits de très petits calibres) et à la parcelle Pet (également signalée, non taillée et abandonnée par l'exploitant en cours de cycle avec pour conséquence des fruits de faible poids). La production par plant tend à diminuer avec la baisse du nombre de fruits total par plant. Les profils de fruits réalisés pendant la saison 2005 devraient nous renseigner sur le rang des bouquets et des tiges qui interviennent le plus dans l'élaboration du rendement.

##### 4.2.2.2. *Nombre de bouquets par tige et par plant*

Le nombre de bouquets par plant a varié de 1,9 à 7,1 en 2003 (CV = 33%) et de 7,8 à 24,4 en 2005 (CV = 27%) (Tableau III-7). Ce nombre de bouquets plus ou moins élevé est à mettre en relation avec le nombre de tiges comme nous l'avons vu précédemment (Figure III-11) : le nombre moyen de bouquets par plant tend à augmenter avec le nombre de tiges par plant.

Le suivi du comptage du nombre de bouquets par numéro de tige montre que le nombre moyen de bouquets par tige est plus faible sur les jeunes tiges que sur les tiges âgées (Tableau III-8), la tige n° 1 étant la tige principale, c'est à dire la plus âgée. Ainsi, on relève en moyenne 7 bouquets sur la première tige, 5 bouquets sur les tiges n° 2 et 3, 4 bouquets sur les tiges n° 4 et 5 et 3 bouquets sur les trois dernières tiges.

##### 4.2.2.3. *Nombre de fruits par bouquet et par tige à la récolte*

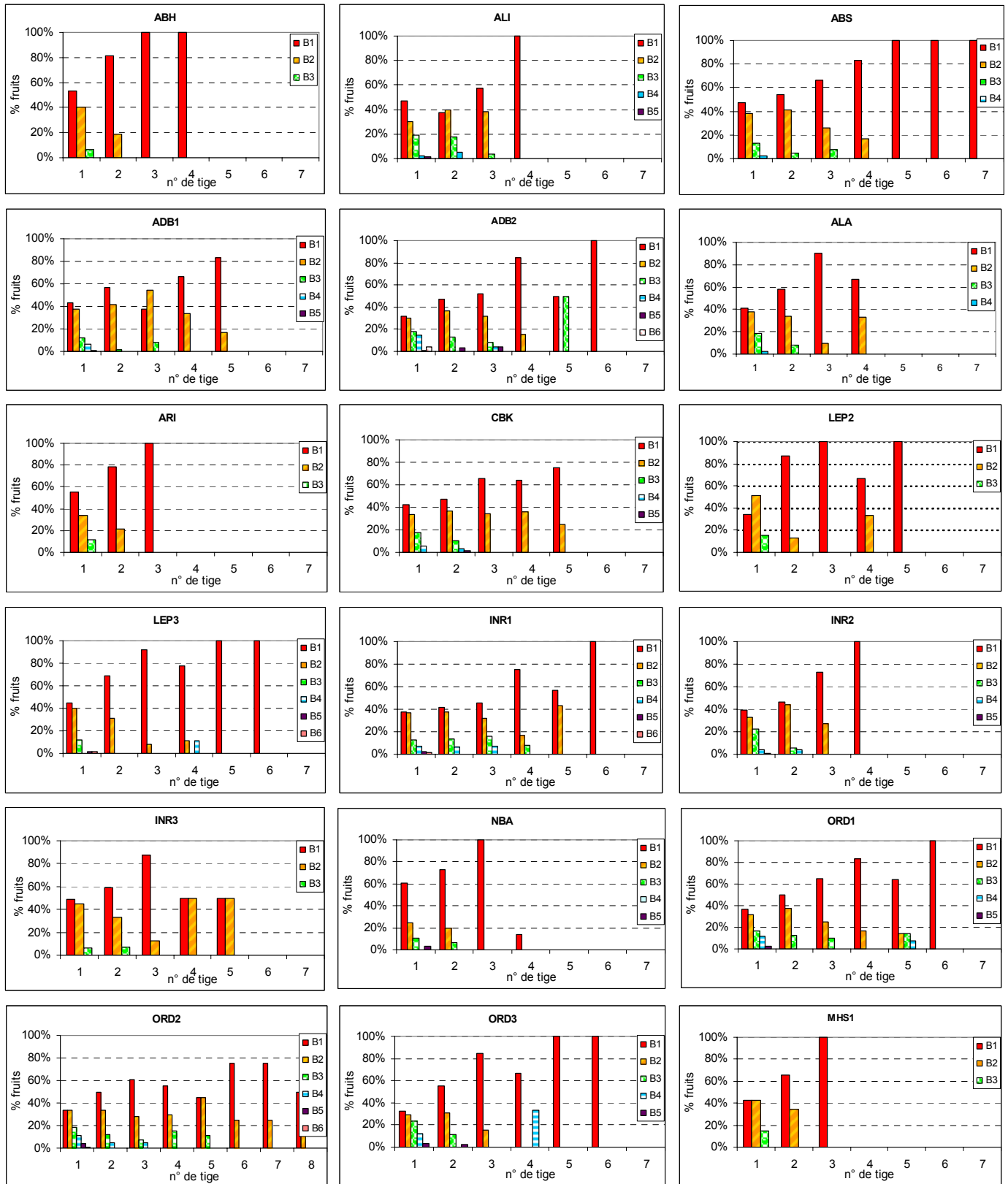
On a cherché à savoir comment se répartissaient les effectifs de fruits selon le rang du bouquet sur une tige donnée et selon le rang de la tige sur la plante. Les résultats ne concernent que l'année 2005.

On observe une grande variation du nombre de fruits par bouquet, qui s'accroît fortement d'une part avec l'ordre croissant d'apparition des bouquets sur une tige donnée et d'autre part avec l'ordre croissant d'apparition des tiges pour un rang de bouquet donné (Tableau III-8). Cela traduirait une certaine compétition entre les fruits du premier bouquet en phase de croissance (remplissage cellulaire) et les fruits des bouquets suivants en phase de multiplication cellulaire, cette compétition étant davantage profitable aux fruits noués sur le premier bouquet. Les coefficients de variation très élevés pour les bouquets et tiges de rang supérieur à trois traduisent une grande hétérogénéité entre parcelles pour ces variables. Le nombre moyen de fruits sur la 1<sup>ère</sup> tige a varié de 1,7 à 4,4 sur le 1<sup>er</sup> bouquet, de 0,4 à 4,3 sur le 2<sup>ème</sup> bouquet et de 0,2 à 2,2 sur le 3<sup>ème</sup> bouquet (Tableau III-9).

Les différentes parcelles suivies en 2005, représentées sur la figure III-17, montrent un schéma général identique avec une forte contribution des deux premiers bouquets des deux premières tiges dans l'élaboration du rendement. Cependant, on a des valeurs différentes pour un même rang de tige et de bouquet, et des vitesses de décroissance (ou de croissance) différentes quand on passe à des rangs de tiges et de bouquets supérieurs. Selon les parcelles suivies, pour la tige n° 1, 28 à 61% des fruits de la tige sont portés par le bouquet 1, et 12 à 53% sont sur le bouquet 2. Pour la tige n° 2, 38 à 87% des fruits sont sur le 1<sup>er</sup> bouquet et 19 à 56% des fruits sont sur le bouquet 2.

En moyenne, 70% des fruits récoltés (intervenant dans le rendement total) se trouvent sur les deux premiers bouquets des deux premières tiges. Les valeurs extrêmes sont 49% (Ord2) et 89% (Ari).

Figure III-17 : Pourcentage moyen du nombre de fruits par bouquet et par rang de tige dans les parcelles suivies en 2005.



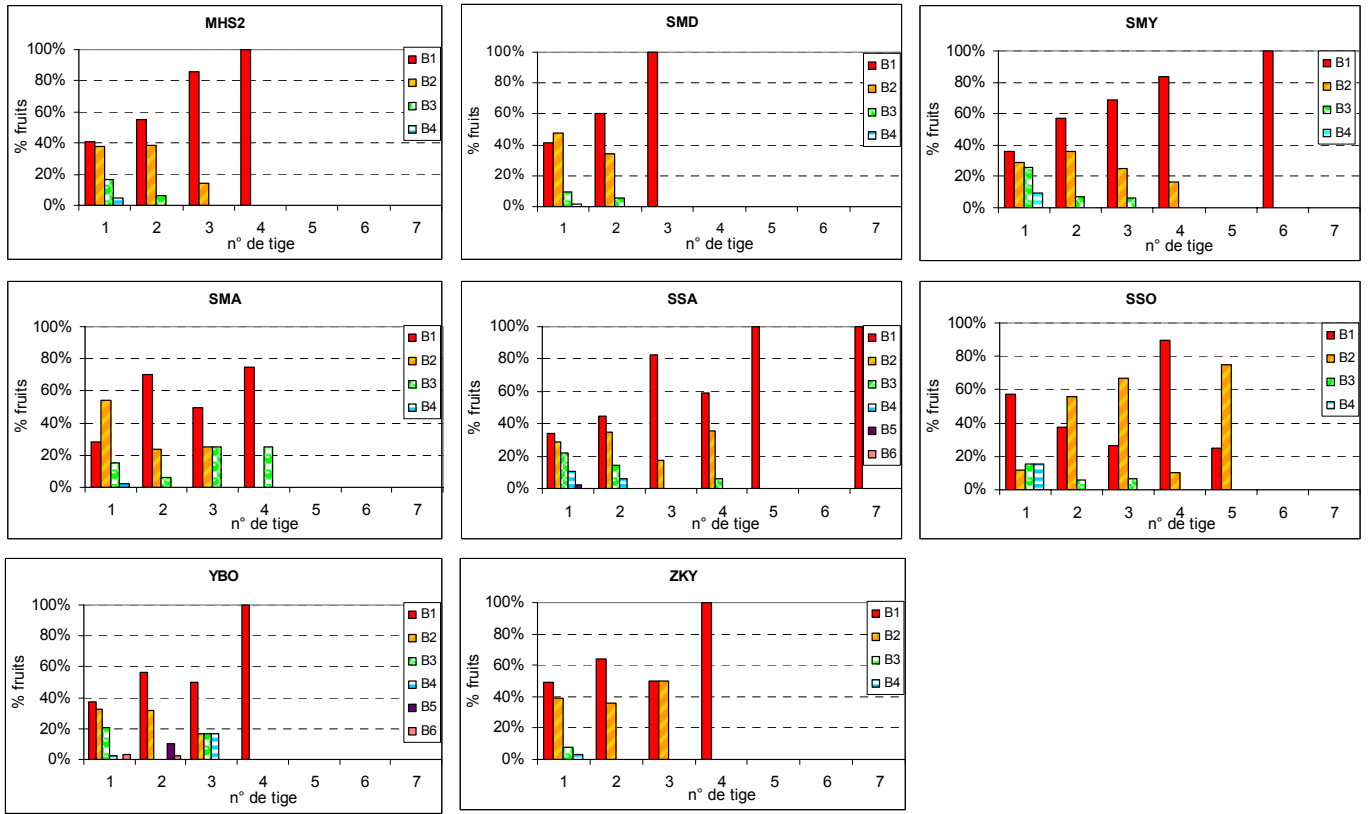


Figure III-18 : Relation entre le nombre de fruits par bouquet et le nombre de bouquets par plant en 2003 et en 2005.

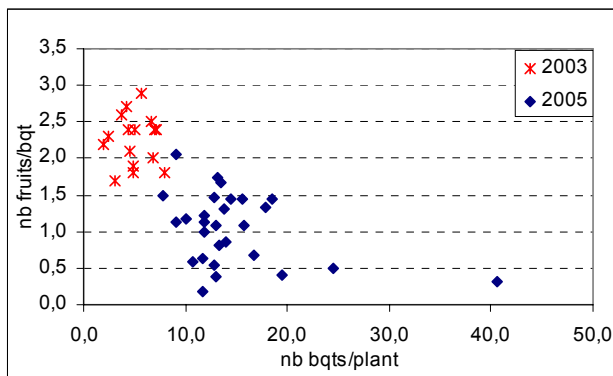
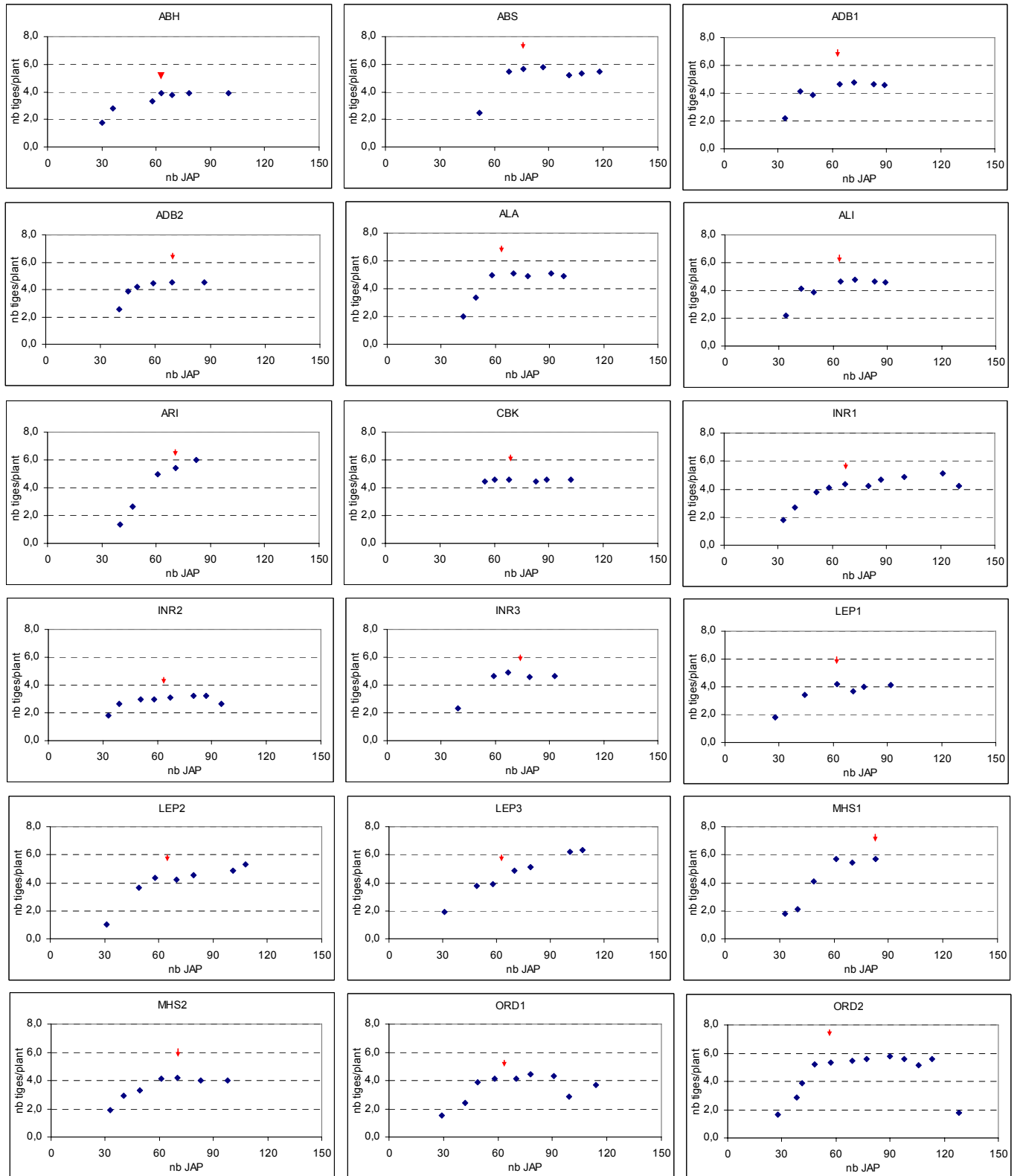


Figure III-19 : Evolution du nombre moyen de tiges au cours du cycle cultural en 2005.  
*(La flèche rouge représente le début de la période des récoltes)*



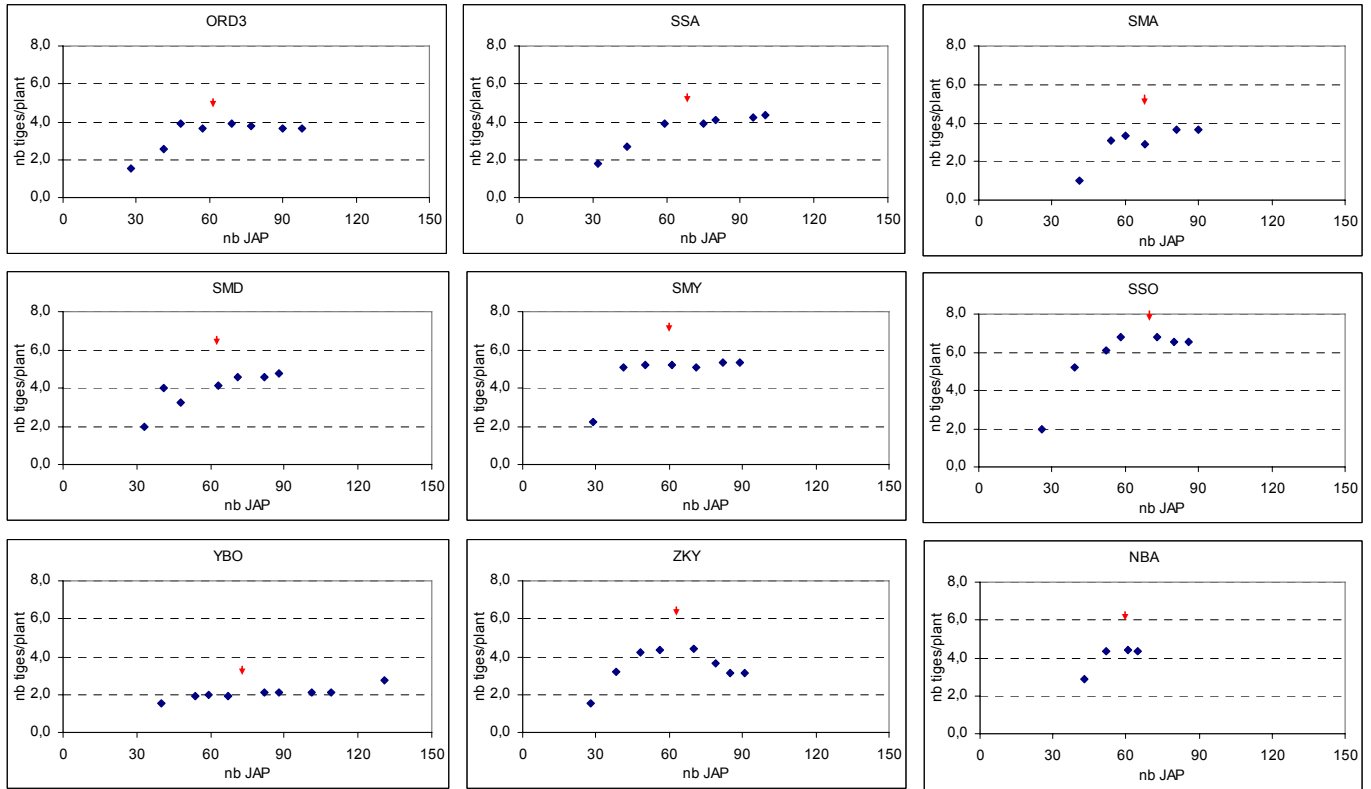


Figure III- 20 : Relation entre le nombre moyen de tiges par plant et la durée de la phase de récolte en 2003 et en 2005.

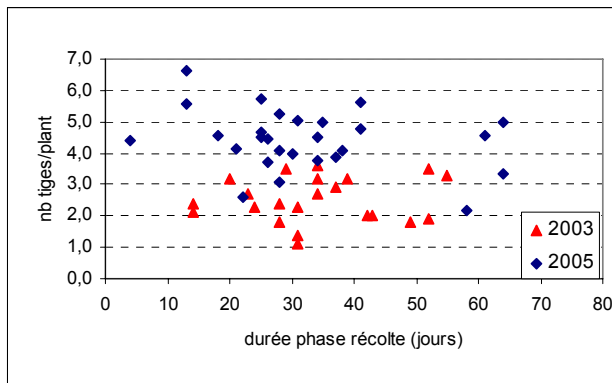
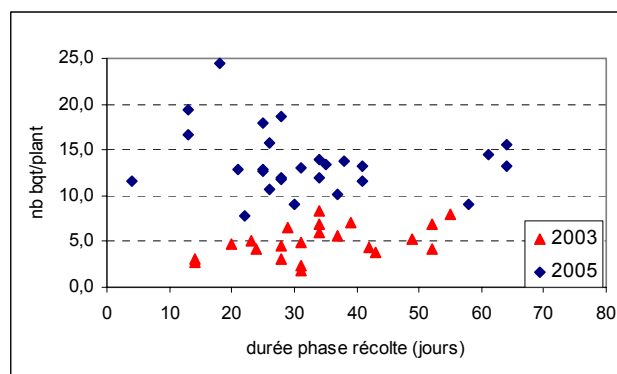


Figure III-21 : Relation entre le nombre moyen de bouquets par plant et la durée de la phase de récolte en 2003 et en 2005.



Par ailleurs, on constate que c'est le premier bouquet qui contribue le plus au rendement d'une tige, quel que soit le rang de la tige sur la plante sauf pour cinq parcelles (Abd1, Lep2, Smd, Sma et Sso) où c'est le deuxième bouquet qui manifeste la meilleure contribution (Figure III-17).

En considérant les deux premiers bouquets de la tige n°3, en moyenne 9% des fruits récoltés sont issus de ces bouquets ; les valeurs extrêmes sont de 2% (Ybo) et 18% (Sso).

Comme le montre le nuage de points de la figure III-18, le nombre de fruits par bouquet tend à diminuer lorsque le nombre de bouquets par plant augmente. Les nombres de fruits par bouquet sont les plus élevés (compris entre 1,7 et 2,9) lorsque les nombres de bouquets par plant sont les plus faibles (compris entre 2,2 et 6,9). Néanmoins, on observe une variation plus importante du nombre de fruits par bouquet lorsque le nombre de bouquets par plant est supérieur à 7, ce qui suppose l'existence d'autres facteurs explicatifs de la variation du nombre de fruits par bouquet. Il existe donc une **forte variabilité du nombre de fruits par bouquet** pour un nombre de bouquets donné, comme nous l'avons montré précédemment en considérant le nombre de fruits et de bouquets par m<sup>2</sup>.

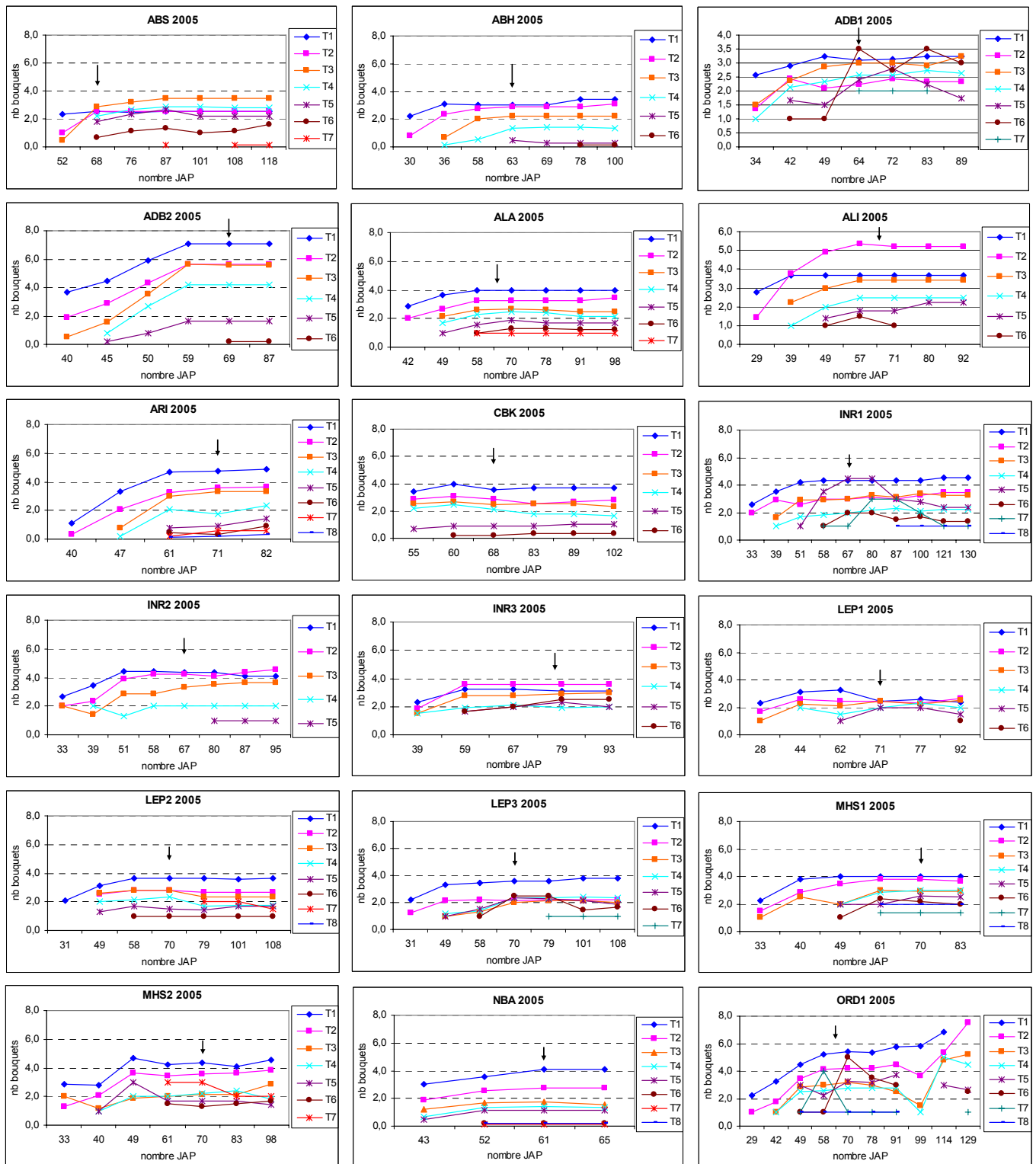
#### 4.2.2.4. Evolution du nombre de tiges et de fruits par bouquet au cours du cycle

Comme chez la tomate on continue à observer l'apparition de nouveaux bouquets et de nouveaux fruits noués sur les tiges émises pendant la phase de récolte, il est utile de vérifier la contribution de ces nouveaux bouquets dans le rendement final. Pour cela on s'intéresse à l'évolution de certaines variables avant et après la première récolte : i) le nombre moyen de tiges par plant, ii) le nombre de bouquets par plant et iii) le nombre maximum de fruits par plant.

La figure III-19 montre l'évolution du nombre moyen de tiges par plant pour chacune des parcelles suivies en 2005. Les observations ont démarré à partir de la taille qui a lieu vers le stade de la floraison ou un peu après. Pour trois parcelles, Nba, Abs et Cbk, les observations ont démarré plus tardivement après la floraison, respectivement à 43, 52 et 55 JAP. On observe que le nombre moyen de tiges par plant s'étend de 1,0 à 2,6 au stade de la floraison (1,8 en moyenne) et qu'il progresse ensuite régulièrement jusque vers le début de la période de récolte. Pendant la période des récoltes, le nombre de tiges varie globalement peu (d'une unité environ) ; il tend à stagner dans la plupart des parcelles, augmente légèrement chez Lep2, Lep3 et Smd et chute significativement chez Zky. Ont été comptabilisées seulement les tiges portant au moins un bouquet. Cela signifie qu'un gourmand ne portant pas de bouquet à une date donnée n'est pas enregistré mais le sera à l'observation suivante s'il porte un bouquet et qu'il n'a pas été supprimé par l'agriculteur. Notre méthode d'observation et la pratique d'ébourgeonnage plus ou moins régulière ainsi que les casses involontaires de tiges expliquent les variations importantes que l'on observe chez certains agriculteurs tels que Ord1 (entre le 91<sup>ème</sup> et 114<sup>ème</sup> JAP), Sma (entre le 60<sup>ème</sup> et 81<sup>ème</sup> JAP). Le rapport de la différence enregistrée entre le nombre maximum de tiges avant et après la première récolte sur le nombre maximum de tiges pendant le cycle cultural est en moyenne de 7% (CV = 131%), les parcelles présentant les plus grandes valeurs étant Saa (9%), Ari (10%), Inr1 (13%), Smd (15%), Lep2 (19%), Lep3 et Sma (22%), Ybo (33%). On n'enregistre aucune différence entre les valeurs maximales dans dix parcelles (sur 28) et seulement 2% de différence dans cinq parcelles.

On en déduit que le nombre de tiges portant des bouquets varie peu après la première récolte dans la plupart des cas, et c'est donc pendant la phase floraison-début de récolte que cette composante du rendement varie le plus. Ce constat peut être également fait en considérant la variable « nombre de bouquets par plant ». L'absence de relation entre le nombre moyen de tiges par plant d'une part (Figure III-20) et le nombre moyen de bouquets par plant d'autre part (Figure III-21), avec la durée de la phase de récoltes (première à dernière récolte), laisse supposer que les émissions de nouveaux bouquets pendant la phase de récolte sont faibles à nulles, ou alors que les nouveaux bouquets ne porteront pas ou porteront peu de fruits commercialisables (taux de nouaison très faible, avortement de jeunes fruits, fruits de petits calibres < 30 mm).

Figure III-22 : Evolution du nombre de bouquets par rang croissant de tige dans les parcelles suivies en 2005.





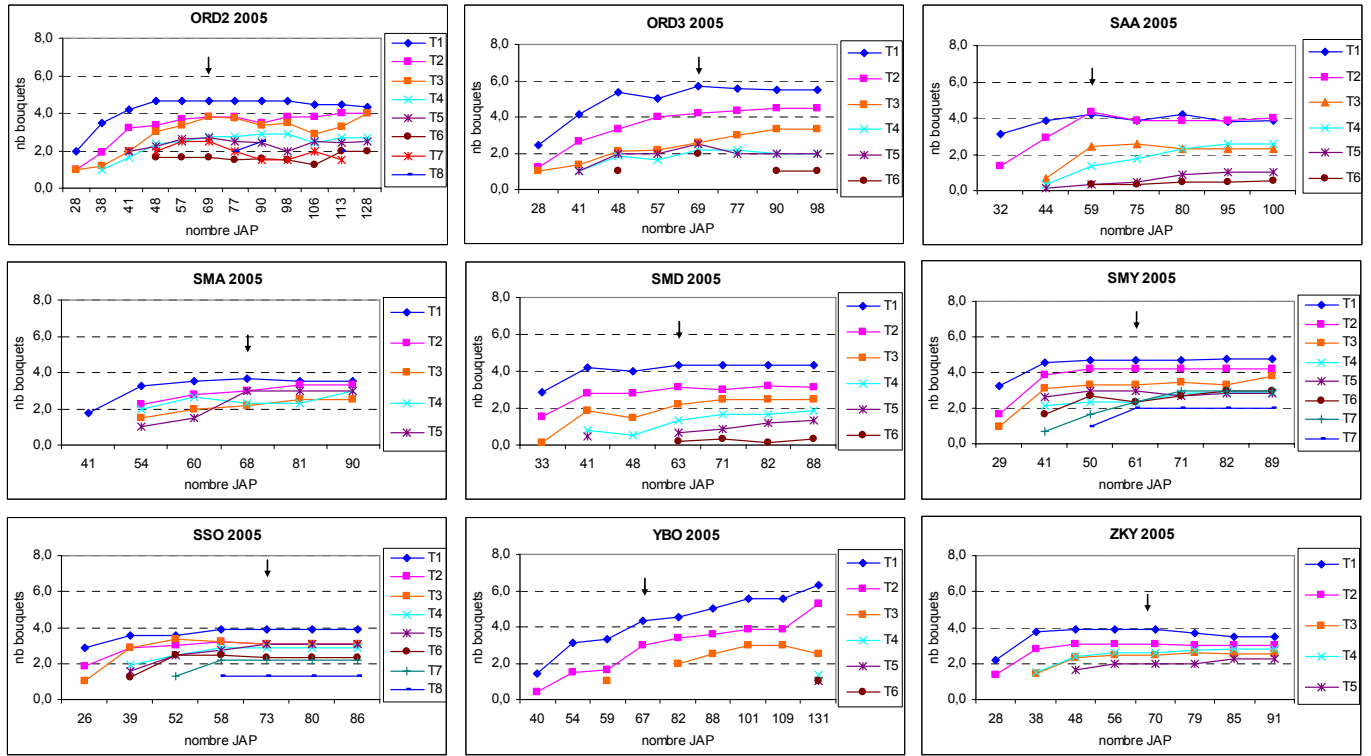


Figure III-23 : Poids moyen du fruit selon la position du bouquet sur la tige enregistré dans quatre parcelles paysannes suivies en 2005.

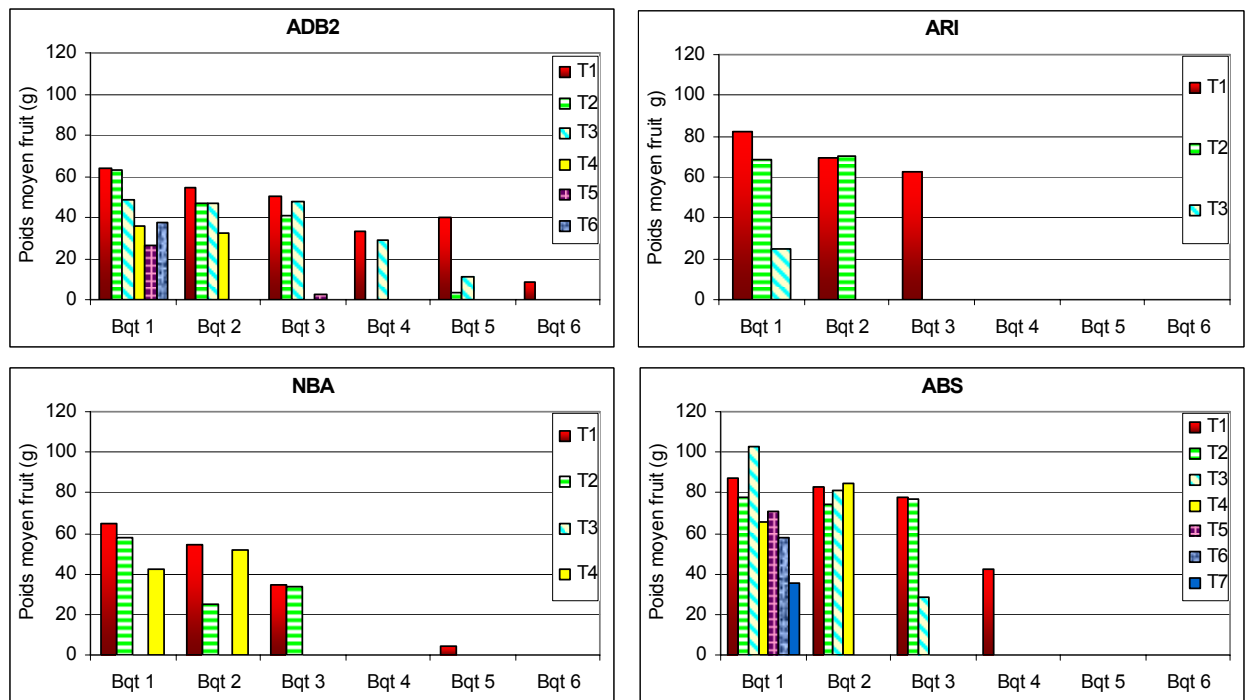
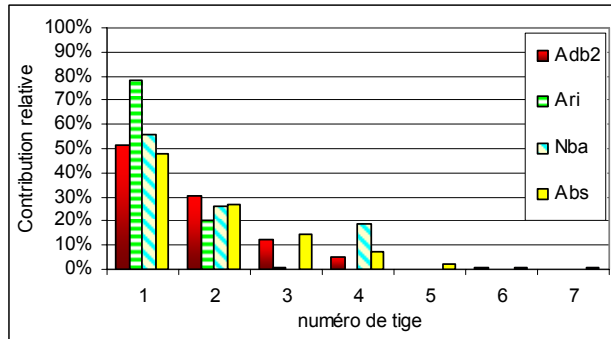


Figure III-24 : Contribution relative (en %) des différentes tiges à la production totale du plant dans quatre parcelles paysannes suivies en 2005.



Sur la figure III-22 qui illustre l'évolution du nombre de bouquets par rang croissant de tige pendant le cycle cultural pour chacune des parcelles suivies en 2005, on s'aperçoit que le nombre maximal de bouquets par plant, quel que soit le rang de la tige, est atteint au plus tard au moment de la première récolte. On parvient à la même conclusion en analysant le graphique de l'évolution du nombre de bouquets moyen par plant au cours du cycle cultural (non représenté ici). On relève également que le nombre de bouquets par tige tend à diminuer avec l'accroissement du rang de la tige (c'est-à-dire que le nombre de bouquets sur la tige principale ou T1 (la plus âgée) > T2 > T3 ... > dernière tige émise). Le rythme d'émission de bouquets est plus intense, et ce quel que soit le rang de la tige, entre la floraison et les trente jours qui suivent ce repère cultural.

Il apparaît donc pertinent de s'intéresser en particulier aux états du milieu et aux pratiques culturales pendant la phase du cycle floraison-début de récolte pour voir comment ils ont pu influencer le fonctionnement du peuplement végétal et les variables nombre de fruits, nombre de tiges et nombre de bouquets par plant.

#### 4.2.2.5. Poids moyen du fruit selon la position du bouquet sur la plante

Nous avons enregistré le poids moyen des fruits par bouquet et par tige dans quatre parcelles du réseau en 2005 (Abs, Ari, Abs, Adb2). Le manque de main-d'œuvre et de temps ne nous a pas permis de recueillir les données dans toutes les parcelles.

Le poids moyen des fruits a tendance à être plus élevé sur les bouquets de rangs inférieurs à 3. Il est toujours supérieur sur le 1<sup>er</sup> bouquet de la première tige, excepté pour Abs où c'est le premier bouquet de la tige 3 qui a porté les plus gros fruits (Figure III-23). Les bouquets de rangs supérieur ou égal à 4 portent de petits fruits inférieurs à 40 g. La première tige porte généralement plus de la moitié de la production, et les deux premières tiges (les plus âgées) contribuent à la majeure partie du rendement total d'un plant : entre 76% et 98% selon la parcelle (Figure III-24).

Pour bien comprendre l'élaboration du rendement de la tomate dans nos conditions, il conviendrait donc d'accorder une importance particulière aux conditions et états du milieu et à la conduite culturale pendant la formation des bouquets et le grossissement des fruits sur les deux premières tiges.

#### 4.2.2.6. Conclusion partielle

L'analyse de l'élaboration des composantes du rendement à l'échelle du plant confirme la forte influence du nombre de fruits par plant sur les variations de la production du plant. Le nombre de fruits est très fortement lié au nombre moyen de bouquets par plant, lui-même lié au nombre moyen de tiges par plant. En moyenne, 70% du rendement sont portés par les deux premiers bouquets des deux premières tiges, et dans de nombreuses situations, plus de la moitié de la production est portée par la première tige. La tige n° 3 quant à elle porte en moyenne 9% des fruits récoltés (le maximum étant de 18%). Aucune parcelle n'a présenté de contribution plus forte sur les autres bouquets et tiges. Ces observations nous orientent vers une analyse plus particulière des conditions du milieu et des pratiques culturales qui ont pu influencer les états du milieu et le fonctionnement du peuplement végétal pendant la phase d'élaboration de ces sous-composantes qui, dans nos conditions de culture, s'étale entre la floraison et le début de récolte.

Ceci nous amène à donner un poids particulier, dans l'analyse, aux facteurs du milieu et aux techniques qui influencent fortement l'élaboration des bouquets et des fruits et la production d'assimilats à l'origine du remplissage des fruits. C'est le cas des pratiques de taille et d'égourmandage qui jouent doublement sur certaines composantes du rendement (nombre de tiges, nombre de bouquets, nombre de fruits) et sur la surface foliaire (par conséquent sur le potentiel photosynthétique) en la réduisant, en comparaison à une culture non taillée.

Tableau III-10 : Taux de satisfaction hydrique des parcelles pour chacune des phases du cycle cultural : plantation-floraison (P-F), floraison-1<sup>ère</sup> récolte (F-Ri), 1<sup>ère</sup> à dernière récolte (Ri-Rf).

Code parcelle	Année	Bilan hydrique (en mm) : (Irr+pluvio) - (EToxKc)			Taux de satisfaction : apports/besoins		
		P-F	F-Ri	Ri-Rf	P-F	F-Ri	Ri-Rf
Lep3	2005	2,3	-2,8	-2,9	282%	37%	38%
Lep2	2005	2,7	-2,3	-2,4	319%	44%	45%
Ala	2005	2,5	-2,5	-2,3	292%	44%	50%
Pet	2005	6,2	-2,2	-4,1	593%	47%	0%
Ybo	2003	1,4	-1,7	-2,3	214%	51%	36%
Mhs2	2005	4,1	-1,9	-2,1	430%	54%	49%
Mhs1	2005	4,4	-2,0	-1,9	445%	55%	55%
Mas2	2003	2,8	-1,6	-2,4	331%	55%	33%
Ybo	2005	1,5	-1,4	-3,5	221%	67%	21%
Nba1	2003	4,7	-1,2	-1,6	475%	71%	62%
Mas1	2003	4,3	-0,9	-0,3	515%	73%	90%
Adb1	2005	1,4	-1,1	1,3	208%	74%	131%
Sma	2005	2,4	-1,0	0,3	290%	77%	106%
Ssa1	2003	1,9	-0,9	-3,2	247%	79%	25%
Ssa2	2003	1,2	-0,8	-3,2	195%	80%	25%
Lep1	2003	3,0	-0,3	-0,8	430%	87%	62%
Adb2	2005	2,8	-0,4	-1,6	327%	90%	61%
Abs	2005	5,7	-0,4	-1,7	543%	92%	62%
Aso	2003	4,7	-0,1	-2,0	610%	97%	40%
Mhs1	2003	7,5	-0,1	0,1	681%	98%	102%
Mhs2	2003	7,1	0,0	0,0	659%	100%	100%
Nba2	2003	6,3	0,2	-1,2	604%	105%	70%
Hat	2003	2,6	0,2	0,2	377%	106%	107%
Inr1	2005	5,4	0,5	0,8	524%	111%	117%
Inr2	2005	5,4	0,5	-0,1	522%	112%	97%
Ali	2005	3,9	0,8	-0,3	403%	118%	93%
Ari	2005	4,6	1,3	4,4	469%	131%	202%
Inr3	2005	6,1	1,7	1,8	577%	138%	139%
Cbk	2005	10,4	1,7	0,6	913%	138%	113%
Nou	2003	3,3	1,1	1,8	485%	140%	166%
Zal1	2003	4,8	1,8	1,5	580%	144%	136%
Saa	2005	3,7	2,1	2,3	388%	148%	155%
Mbo	2003	5,1	2,1	2,4	538%	149%	157%
Zky	2005	6,4	2,1	4,7	613%	150%	216%
Sma	2003	7,1	2,2	2,4	658%	154%	158%
Abh	2005	7,0	2,3	-1,9	667%	158%	55%
Ord3	2005	6,4	2,5	2,8	609%	160%	167%
Nba	2005	8,0	2,6	-4,1	736%	162%	0%
Sso	2005	6,3	2,8	2,6	589%	163%	161%
Lep1	2005	2,7	2,7	-2,4	318%	164%	44%
Zal2	2003	4,6	2,4	1,7	486%	167%	148%
Zmo	2003	6,0	2,7	-0,8	586%	170%	79%
Nai1	2003	2,6	3,0	3,5	355%	173%	183%
Nai2	2003	2,6	3,0	3,5	355%	173%	183%
Smd	2005	5,3	2,5	2,1	557%	173%	163%
Ord1	2005	7,0	3,1	4,0	657%	174%	191%
Adb	2003	5,7	3,7	0,9	674%	194%	124%
Ord2	2005	8,8	4,9	5,8	804%	217%	231%
Smy	2005	7,5	7,1	6,2	695%	271%	242%
Lep2	2003	4,0	6,3	0,4	491%	298%	115%

Taux de satisfaction < 60% : très faible

Taux de satisfaction entre 60% et 80% : moyen

Les parasites foliaires peuvent jouer également sur le potentiel photosynthétique en altérant les tissus végétaux avec pour conséquence de limiter la quantité d'assimilats disponibles pour la nouaison et le grossissement des fruits. Les différences de nombre de fruits par m<sup>2</sup> entre parcelles peuvent aussi trouver leur origine dans les pertes de pieds entre la plantation et la récolte. Enfin nous, tenterons d'apprécier l'influence de l'alimentation hydrique et azotée au cours du cycle cultural sur l'élaboration du rendement compte tenu de leur rôle déterminant sur la production (Heuvelink and Dorais, 2005).

### 4.3. Etats du milieu à l'origine des variations de rendement

#### 4.3.1. *Analyse de l'alimentation hydrique*

##### 4.3.1.1. *La réserve utile des sols*

Le calcul de la réserve utile (RU) montre une grande variabilité de la RU dans les deux couches de sols analysées pendant les deux campagnes : respectivement 19 à 64 mm (CV = 38%) et 20 à 68 mm (CV = 21%) pour les profils 0-20 et 20-40 cm en 2003, 18 à 58 mm (CV = 16%) et 19 à 57 mm (CV = 17%) pour les profils 0-20 et 20-40 cm en 2005.

En considérant l'ETo moyenne sur la période de suivi des parcelles en 2003 (4,8 mm) et la RU calculée dans chacune des parcelles, il faut respectivement 4 à 13 jours et 4 à 14 jours, selon les parcelles, pour épuiser la RU<sub>0-20cm</sub> et la RU<sub>20-40cm</sub>. On obtient approximativement les mêmes résultats en 2005. En pondérant les besoins de la culture par le coefficient cultural, le stock d'eau dans le sol s'épuise plus lentement, Kc étant inférieur à 1 durant tout le cycle cultural. Cette approche du bilan hydrique par la RU reste très approximative. Elle est critiquable car elle fait abstraction des pertes par drainage et des éventuelles remontées capillaires et du fait que les racines vont peut être au-delà de 40 cm de profondeur. En effet, le profil racinaire a été réalisé dans un seul plan de coupe. Cette approche des consommations en eau par la RU renforce néanmoins l'hypothèse que les plantes sont en général plutôt sur-irriguées que sous-irriguées pendant la période plantation - début de récolte.

##### 4.3.1.2. *L'analyse des bilans hydriques*

Les quantités d'eau apportées par les agriculteurs au cours du cycle cultural ont été évaluées à partir de leurs pratiques d'irrigation et comparées aux besoins théoriques de la plante (calculés par Kc x ETo journalière). Nous cherchons à savoir si les plants subissent des stress hydriques pendant la culture et si un éventuel stress hydrique a eu une incidence sur des composantes du rendement.

Les bilans hydriques des parcelles font ressortir des situations de déficit hydrique plus ou moins accentuées selon les parcelles et les périodes du cycle cultural (Tableau III-10). Les déficits hydriques se sont produits essentiellement pendant la phase de grossissement des fruits (F-Ri) et pendant la période des récoltes (Ri-Rf). De la plantation à la floraison, aucun déficit n'a été recensé dans les parcelles, et les taux de satisfaction calculés sont compris entre 195 et 913% avec une moyenne de 491% pour l'ensemble des parcelles. Ces valeurs très élevées traduisent une sur-irrigation en début de cycle.

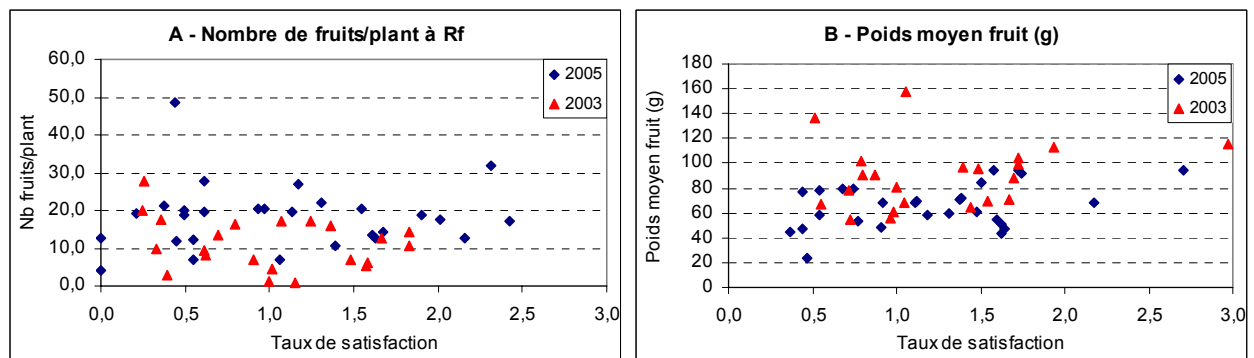
Pendant la phase F-Ri, le déficit hydrique estimé est moyen (satisfaction < 80%) et/ou important (satisfaction < 60%) sur 27% des parcelles en 2003 et 32% en 2005. Pour la période Ri-Rf ces proportions s'élèvent à 36% des parcelles en 2003 et 43% en 2005. Les déficits peuvent être très importants dans certains cas (Lep2, Lep3, Mhs2, Pet...).

Ces bilans hydriques sont certes approximatifs, car ils ne tiennent pas compte des éventuels drainages en profondeur et/ou de possibles remontées capillaires, et par ailleurs les calculs des Kc ne sont pas faciles à réaliser. Les volumes d'eau apportés lors des irrigations ont été évalués à partir des informations communiquées par les agriculteurs et de leurs pratiques d'irrigation, et il existe donc une imprécision sur les quantités d'eau réellement apportées (Annexe 13).

Tableau III-11 : Caractéristiques du système racinaire en 2003 et 2005 en fonction du type de travail du sol (mécanisé ou manuel).

Année	Descripteur statistique	Travail du sol	Au stade Floraison		Au stade Récolte	
			Profondeur (cm)	Largeur (cm)	Profondeur (cm)	Largeur (cm)
2003	moyenne	mécanisé	17	35	18	37
		manuel	20	33	17	39
	minimum	mécanisé	14	23	14	31
		manuel	14	21	12	27
	maximum	mécanisé	20	42	27	40
		manuel	29	42	21	46
	écart-type	mécanisé	2	6	4	4
		manuel	5	7	4	6
	coef. var.	mécanisé	12%	16%	22%	10%
		manuel	26%	21%	22%	15%
2005	moyenne	mécanisé			24	53
		manuel			23	49
	minimum	mécanisé			17	33
		manuel			15	21
	maximum	mécanisé			29	61
		manuel			30	63
	écart-type	mécanisé			4	10
		manuel			4	11
	coef. var.	mécanisé			17%	18%
		manuel			20%	23%

Figure III-25 : Relations entre le taux de satisfaction hydrique pendant la période F-Ri et les composantes du rendement : (A) nombre total de fruits/plant à la récolte, (B) poids moyen du fruit (g).



Cependant ces indicateurs indiquent clairement des apports trop importants en début de cycle dans la totalité des parcelles, et des apports nettement insuffisants dans la seconde moitié du cycle (à partir de la floraison) pour 40% des parcelles. On relèvera que dans 36 % des parcelles les apports hydriques ont été largement supérieurs aux besoins du peuplement pendant toute la durée du cycle cultural avec un taux de satisfaction supérieur à 120%.

La mise en relation des valeurs du taux de satisfaction hydrique de chaque parcelle sur la période floraison-fin de récolte avec les variables « nombre total de fruits par plant en fin de récolte » et « poids moyen du fruit », ne permet pas de mettre en évidence, ni un effet des déficits hydriques (taux satisfaction < 80%) calculés sur cette période, ni un effet des excès d'irrigation sur ces composantes du rendement (Figure III-25A & B). En effet, pour une valeur donnée du taux de satisfaction, on observe une forte variation, aussi bien du nombre de fruits par plant que du poids moyen du fruit, pour les deux années de suivi.

#### 4.3.1.3. L'analyse des profils racinaires

Les profils racinaires ont été réalisés en début de période de récoltes dans l'ensemble des parcelles suivies en 2003 et 2005, et seulement au stade floraison en 2003. En première analyse, on constate que les racines :

- restent localisées en surface, le front racinaire étant limité à une profondeur comprise entre 12 et 30 cm ;
- n'ont pas rencontré d'obstacles chimiques ou physiques apparent à l'enracinement en profondeur ;
- exploitent très partiellement l'espace interligne (largeur du système racinaire comprise entre 21 et 63 cm).

L'absence de racines au-delà de 30 cm de profondeur lors du creusement des fosses nous laisse à penser que cette localisation du système racinaire en surface pourrait être liée au mode de travail superficiel du sol et au mode d'implantation de la culture. En effet, bien que la tomate dispose normalement d'un système racinaire peu profond avec 80% des racines concentrées dans les vingt premiers centimètres (Yosef *et al*, 1980), des racines peuvent descendre jusqu'à deux mètres de profondeur pour alimenter la plante (Portas and Dordio, 1980 ; Rudich and Luchinsky, 1986).

En 2003, nous avons observé peu de différence entre les profondeurs et largeurs moyennes maximales du système racinaire entre les profils réalisés à la floraison et à la récolte (Tableau III-11) : respectivement 19 et 34 cm à la floraison, 17 et 38 cm à la récolte, avec des coefficients de variation compris entre 14 et 23 %. Cela rejoint les observations de Portas et Dordio (1980) qui montrent que la croissance racinaire est très active pendant la phase de végétation mais ralentit peu après la floraison-nouaison. Cette croissance racinaire active en début de cycle va de pair avec la croissance végétative.

En comparant les deux années, les profondeurs et largeurs moyennes mesurées sont plus élevées en 2005. La profondeur a varié de 12 à 27 cm en 2003 contre 15 à 30 cm en 2005. Quant à la largeur du système racinaire, elle a varié de 27 à 46 cm en 2003 et de 21 à 63 cm en 2005, sans que les différences soient significatives entre les deux années. Les racines de tomate n'explorent que très peu l'inter-rang et restent généralement inféodées au trou de plantation.

En considérant les variables « profondeur maximale » et « largeur » du système racinaire, nous avons décrit trois formes de profils racinaires ayant comme point commun d'exhiber un système racinaire concentré dans un faible volume de sol (Figure III-26) :

- Type A : système racinaire en forme de pot cylindrique ; il intéresse 20 parcelles (sur 47) dont 4 parcelles avec un enracinement en profondeur inférieur à 20 cm ;

Figure III-26 : Les différents types de profils racinaires rencontrés dans l'ensemble des parcelles suivies en 2003 et 2005 : forme en pot cylindrique (type A), forme d'entonnoir (type B), forme pyramidale (type C).

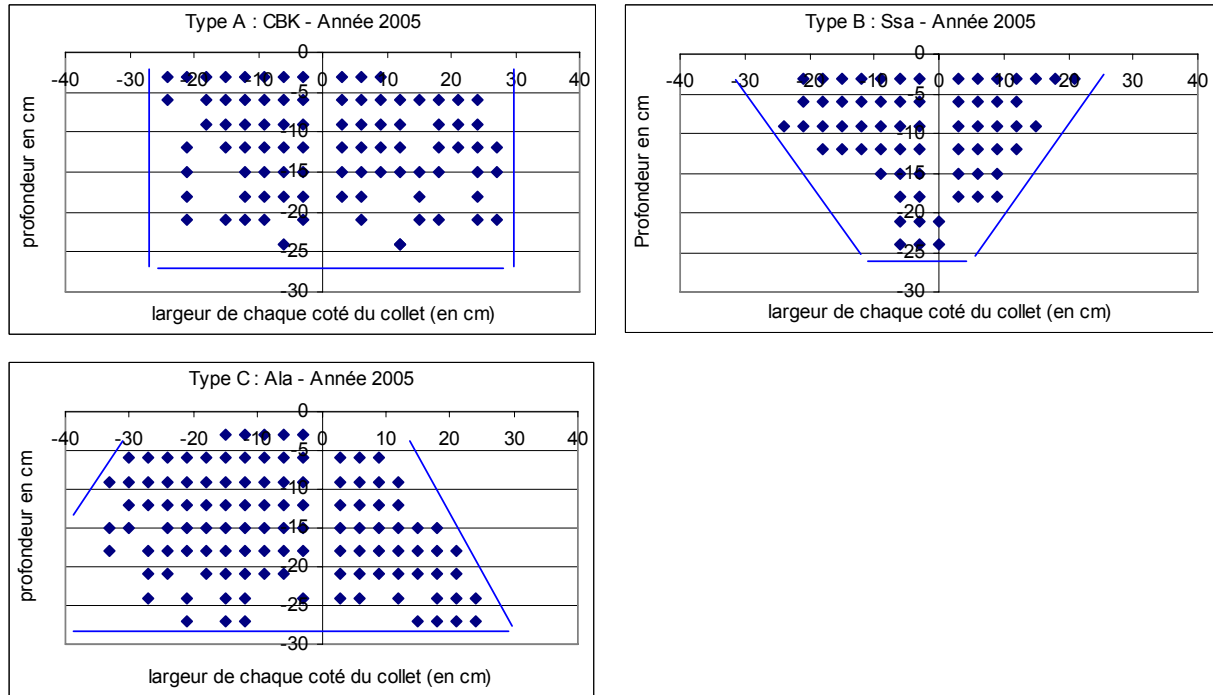


Figure III-27 : Evolution du potentiel hydrique à quatre profondeurs (20, 40, 60 et 80 cm) dans la parcelle Mhs1 en 2005, entre la plantation et le début de récolte.

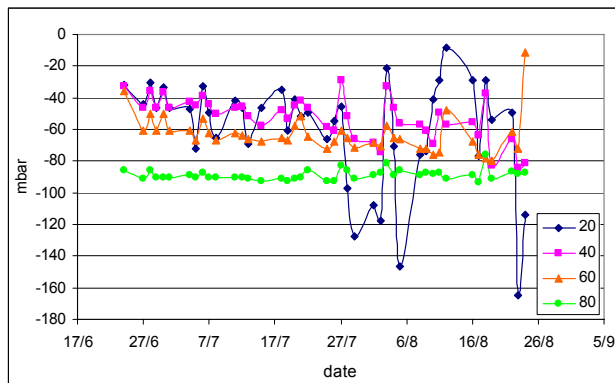
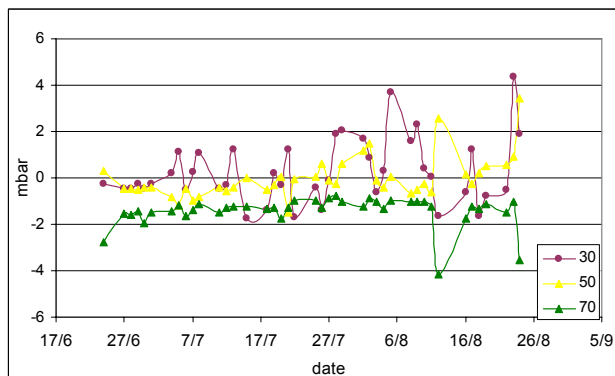


Figure III-28 : Evolution des gradients de potentiel entre les différentes profondeurs d'implantation des tensiomètres dans la parcelle Mhs1 (30, 50 et 70 cm).





- Type B : système racinaire en forme d'entonnoir ; il concerne 24 parcelles dont 15 parcelles avec un enracinement en profondeur inférieur à 20 cm ;
- Type C : développement du système racinaire en forme de pyramide ; c'est le cas de 3 parcelles.

Nous avons reporté en annexe 14 les profils observés dans l'ensemble des parcelles à la récolte.

Dans notre étude, aucune relation n'a été trouvée entre le type de travail du sol (labour mécanisé à la charrue ou travail au pic localisé au trou de plantation) et la qualité d'enracinement (Tableau III-11) en termes de profondeur et de largeur du système racinaire.

Compte tenu des écartements de plantation (64 cm au minimum en moyenne entre deux rangées de tomate), de la faible largeur du système racinaire (moins de 63 cm) et du mode d'arrosage localisé au trou de plantation, on peut considérer que la concurrence entre deux rangées de plants pour l'alimentation en eau est nulle. Les irrigations étant réalisées très régulièrement, les racines trouvent probablement dans un volume très restreint, en l'occurrence celui correspondant au volume de terre remanié après le creusement du trou de plantation, les éléments nutritifs et l'eau dont la plante a besoin pour sa croissance. L'examen des caractéristiques chimiques des sols dans les horizons 0-20 et 20-40 cm ne fait apparaître aucune contrainte particulière à la croissance racinaire (Annexe 15).

Ces profils très concentrés dans le trou témoigneraient donc d'une influence d'apports excessifs d'eau en début de cycle, qui n'incitent pas les racines à explorer le sol en profondeur. En retour et en conséquence, on peut donc être certain que les excès d'eau réalisés en début de cycle se perdent en drainage inutile. Il y a peut-être aussi lixiviation des éléments minéraux apportés ou présents dans le sol. On peut donc se poser la question de savoir si des remontées capillaires peuvent alimenter les cultures en fin de cycle en puisant dans les couches profondes qui ont réceptionné les trop-pleins d'eau du début.

#### 4.3.1.4. Le suivi tensiométrique dans une parcelle

Les relevés de tensiométrie ont été réalisés dans l'une des parcelles du dispositif en 2005. Le sol de Mhs1 se caractérise par une réserve utile de 21 mm pour la couche 0-20 cm et 20 mm pour la couche 20-40 cm. La texture est argileuse (54% d'argiles et 24% de limons). L'arrosage est réalisé au tuyau tous les trois jours.

L'analyse de l'évolution du potentiel hydrique montre que la tension a surtout beaucoup varié dans les couches superficielles (20 et 40 cm) et peu dans les couches profondes (60 et 80 cm), en lien vraisemblablement avec la concentration et le fonctionnement des racines dans les horizons superficiels et les apports hydriques fréquents dans cette zone (Figure III-27). Les brusques augmentations du potentiel à 20 cm traduisent bien que l'absorption racinaire se fait surtout dans cette zone. Nous avons calculé également les gradients de potentiel entre les différentes profondeurs d'implantation des tensiomètres (Figure III-28). Les évolutions des potentiels à 20 et 40 cm et aussi des gradients deviennent plus fortes à partir de la fin de juillet. Cela correspond au changement de régime hydrique avec une forte diminution des doses d'apport. Ce changement intervient à partir du stade floraison/nouaison. A 50 cm, le gradient est souvent faiblement négatif jusque vers la fin juillet, ce qui témoigne d'un faible drainage, puis devient assez souvent positif. A 70 cm, il est toujours négatif, indiquant *a priori* du drainage en permanence. Le drainage au-delà de 50 cm doit être certainement dû à la quantité d'eau qui passe au-delà de 50 cm après chaque irrigation et qui ensuite s'écoule lentement. L'eau qui a été stockée entre la surface et 50 cm de profondeur est consommée par le système racinaire qui est globalement concentré entre 0 et 20 cm. Dans la seconde moitié du cycle, il y a des dessèchements plus importants de l'horizon 0-20 cm, mais pas très prononcés car les tensiomètres n'ont pas « décroché ».

Tableau III-12 : Teneur en azote total et en matière organique, dans la couche 0-20 cm, des parcelles suivies en 2005.

code agri	Rendement biologique (t/ha)	Apports par l'agriculteur				Contribution du sol		
		Quantité fumier apporté (t/ha)	Estimation en N tot (kg/ha) *	Quantité engrais NPK apporté (kg/ha)	Equivalent en N (kg/ha) **	Estimation apports totaux N (k/ha)	N total du sol (g/kg)	Taux de matière organique (%)
Abh	19,35	4,6	34	0	0	34	2,71	4,58
Abs	67,63	5,6	42	1 086	163	205	2,63	4,13
Adb1	33,88	0	0	663	99	99	1,38	2,68
Adb2	13,84			457	69	69	1,38	2,68
Ala	44,34	4,4	33	1 321	198	231	1,89	3,77
Ali	40,66	8,6	64	2 638	396	460	2,95	5,02
Inr1	67,56	19,0	142	887	133	276	2,09	3,49
Inr2	49,64	19,2	144	883	132	276	2,09	3,49
Inr3	33,14	23,3	175	1 091	164	339	2,09	3,49
Lep1	21,02	14,7	15	1 005	151	165	2,51	3,89
Lep2	17,36	15,2	114	1 023	153	267	2,51	3,89
Lep3	24,87	13,2	99	1 066	160	259	2,51	3,89
Mhs1	28,21	8,4	63	402	60	123	2,71	5,18
Mhs2	31,27	7,5	56	298	45	101	2,71	5,18
Ord1	58,36	8,8	66	1 581	237	303	2,71	4,51
Ord2	89,06	10,9	82	1 958	294	375	2,71	4,51
Ord3	22,45	7,9	59	1 427	214	274	2,71	4,51
Pet	8,06	0	0				2,52	4,78
Saa	56,44	11,1	83	756	113	196	3,45	6,09
Sma	9,17	0	0	133	20	20	1,52	2,94
Smd	15,01	0	0	0	0	0	2,32	3,54
Smy	36,44	3,6	27	1 017	153	179	1,89	2,80
Ybo	33,19	6,5	6	770	116	121	1,41	2,60
Zky	27,42	0	0	974	146	146	3,62	6,50

\* Estimation de la quantité de N total restituée au sol selon le type de fumier utilisé (Chabalier *et al.*, 2006)

16 tonnes fumier poules pondeuses élevés sur litière copeaux de bois fournissent 120 kg azote total disponible

4 tonnes de fientes de poules fournissent 120 kg azote total disponible

22 tonnes compost de déchets verts fournissent 20 kg azote total disponible

10 tonnes fumier de lapins fournissent 10 kg azote total disponible

\*\* Calcul de la quantité d'azote minéral selon le type d'engrais NPK utilisé : 15-12-24 ou 10-20-20

Il faut souligner que les mesures de tension n'ont pas été faites en continu, et par conséquent elles ne reflètent pas les évolutions exactes des potentiels hydriques. Quoiqu'il en soit, les évolutions observées traduisent bien un confort hydrique du peuplement pendant la première phase du cycle (plantation-floraison), puis de fortes variations de tension dans les horizons superficiels (20 et 40 cm) en lien avec le fonctionnement racinaire et une diminution des apports d'eau. Ce résultat confirme l'estimation faite par la méthode du bilan hydrique qui a mis en évidence un taux de satisfaction de 455% pendant la période plantation-floraison (c'est-à-dire un excès d'eau), puis un taux de satisfaction de 55% pendant le reste du cycle (c'est-à-dire une longue période de manque d'eau par rapport aux besoins théorique du peuplement).

Nous avons cherché à savoir s'il y avait un lien possible entre les périodes de déficit hydrique (estimé par la méthode du bilan hydrique) et la texture du sol ou les densités de peuplement, mais aucune relation n'a été mise en évidence.

#### 4.3.2. *Analyse de la nutrition azotée*

L'état nutritionnel de la culture en azote a été mesuré seulement lors de la campagne 2005. Les indices de nutrition azotée (INN) calculés selon la formule de Tei *et al.* (2002) sont supérieurs à 1 dans toutes les parcelles suivies aux stades floraison-nouaison, grossissement des fruits et début de récolte.

Pour la première date de mesure qui se situe pendant la phase de végétation (entre 7 et 23 jours après plantation), quinze parcelles sur vingt-quatre ont un INN compris entre 0,23 et 0,80 (Abs, Adb1, Adb2, Ala, Inr3, Lep1, Mhs2, Or1, Ord2, Ord3, Pet, Sma, Smd, Ybo, Zky). Un INN inférieur à 1 selon Lemaire *et al.* (1997) traduit un état nutritionnel en azote sous-optimal vis-à-vis de la croissance. Nous considérons qu'il y a véritablement un stress azoté pour des valeurs inférieures à 0,80.

Parmi les quinze parcelles ayant présenté un stress azoté en début de cycle, six ont reçu une fumure de fond constituée de fumier (de poules ou de lapins) ou de compost et d'engrais minéral 15-12-24, trois ont été fertilisées seulement avec du fumier et quatre avec de l'engrais minéral (Tableau III-12). Deux parcelles (Pet et Smd) n'ont pas reçu de fumure de fond, mais elles présentaient des sols avec des teneurs en matière organique et en azote total élevées (respectivement 4,78 % et 3,54 %, 2,52 et 2,32 g/kg) (Latrille, 1981 ; Légier, 1992). Ybo dont la parcelle présentait un INN de 0,44 à 13 JAP a enregistré 33,2 t/ha. Il est vraisemblable que ces états nutritionnels azotés sous optimaux vis-à-vis de la croissance en début de cycle n'ont pas affecté véritablement la croissance des plantes pendant le reste du cycle cultural. Mais on peut se poser également la question de la validité, dans nos conditions locales, de la formule établie par Tei *et al.* (2002).

Aux stades floraison, grossissement des fruits et début de récolte, toutes les parcelles ont exprimé un INN supérieur à 1 : entre 1,13 et 3,09 (CV = 22%) à la floraison, entre 1,74 et 4,17 au stade grossissement des premiers fruits (CV = 23%), et entre 1,57 et 3,61 à la récolte (CV = 21%).

Entre la floraison et le début des récoltes, l'INN augmente et passe par un maximum sauf pour cinq parcelles : Adb1, Nba, Ord1, Sma, Smd (respectivement 2,41 à la récolte et 2,52 à la floraison ; 2,06 et 1,23 ; 3,09 et 2,94 ; 1,95 et 1,57 ; 1,85 et 1,61). L'accroissement des INN entre les deux stades traduit une amélioration des conditions de nutrition azotée (disponibilité et absorption), qui pourrait être le résultat des apports d'engrais minéral, généralement réalisés vers le stade floraison, d'une part, et de la minéralisation de la matière organique apportée au moment de la plantation, d'autre part. Le constat d'un INN supérieur à 1 dans toutes les parcelles à partir de la floraison laisse supposer que la contribution du sol en azote fut suffisante pour répondre aux besoins de la plante. Cette hypothèse est à mettre en relation avec la dynamique d'absorption des éléments nutritifs au cours du cycle cultural. En effet, les prélèvements de la plante sont d'abord faibles pendant la phase végétative, et localisés dans l'horizon supérieur du sol. Ils augmentent ensuite à l'apparition des premiers bouquets, culminent pendant la période « floraison-nouaison-grossissement des fruits », puis redeviennent plus faibles durant la maturation (Bezert *et al.*, 1999).

Figure III-29 : Relation entre l'état azoté du peuplement en début de récolte et le nombre de fruits par plant (A), le nombre de bouquets par plant (B), le poids moyen des fruits (C) pour l'année 2005.

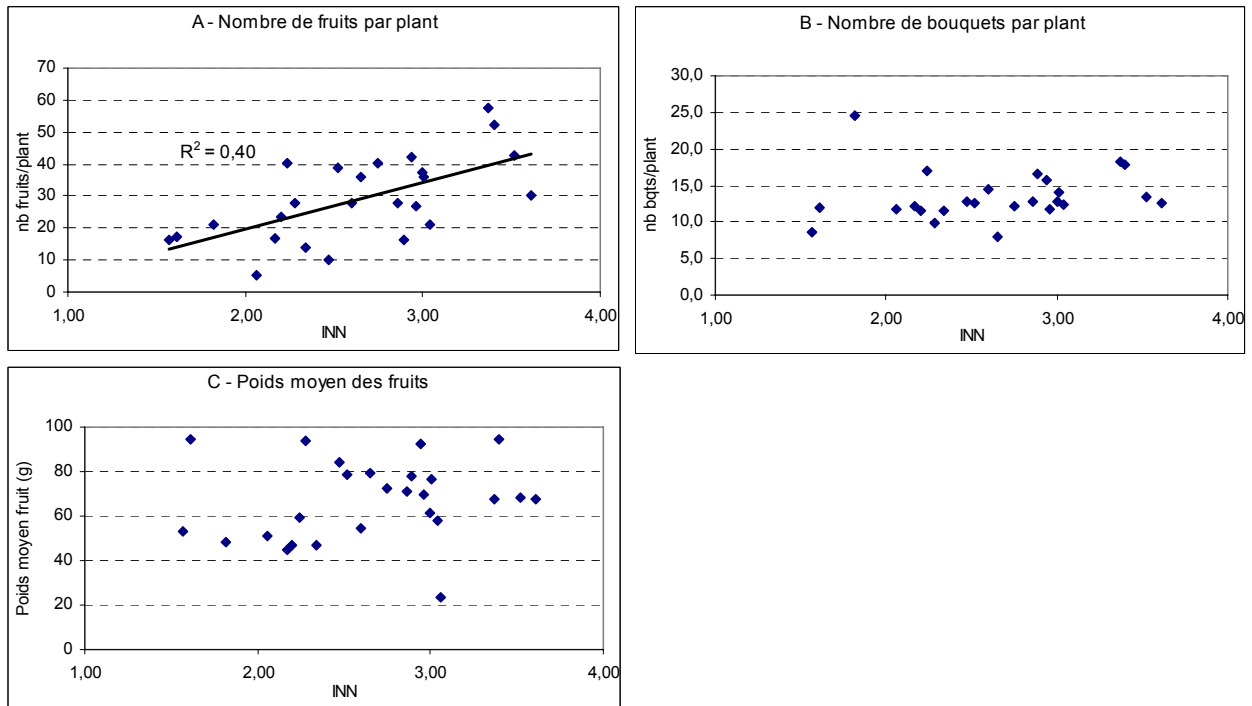


Figure III-30 : Relation entre l'index foliaire (LAI) et l'indice de nutrition azotée (INN) en 2005 aux stades floraison (A) et début de récolte (B) pour l'année 2005.

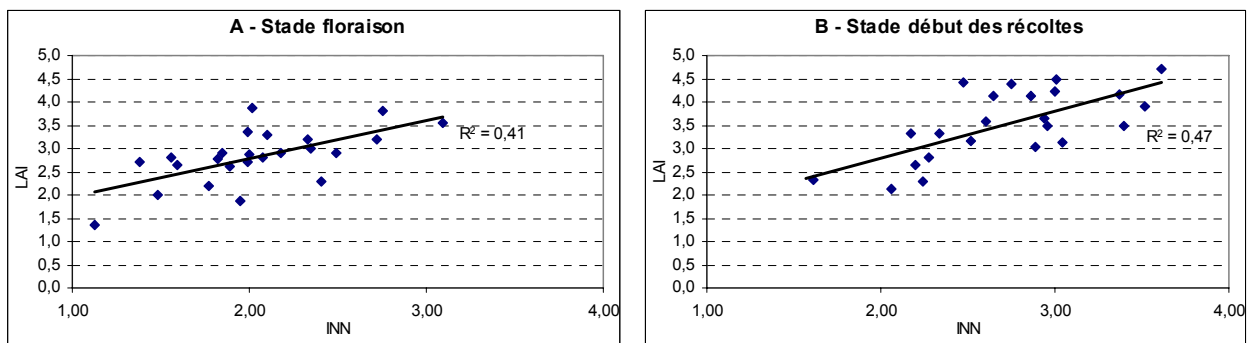
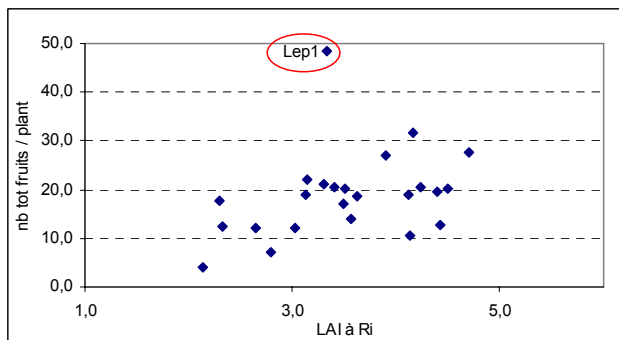


Figure III-31 : Relation entre le nombre total de fruits par plant et le LAI en début de récolte pendant la campagne 2005.



Les analyses de sol de la couche superficielle (0-20 cm) n'ont pas révélé de carence en azote, les parcelles suivies étant pour la majorité normalement pourvues en azote ( $N > 1,5$  g/kg). Seules quatre parcelles (Ybo, Sma, Adb1, Adb2) ont des teneurs du sol en azote, comprises entre 1,52 et 1,38 g/kg, jugées comme des valeurs moyennes sans risque de carences azotées (Latrille, 1981 ; Odet, 1989).

#### *4.3.2.1. Effets de l'alimentation azotée sur le nombre de fruits par plant, le nombre de bouquets par plant et le poids moyen des fruits*

La relation entre le nombre de fruits par plant et l'INN à la récolte montre une légère tendance à l'augmentation du nombre de fruits avec l'amélioration de l'état azoté du peuplement ( $r^2 = 0,40$ ) (Figure III-29A). On ne retrouve pas cette tendance en croisant le nombre de bouquets par plant avec l'INN (Figure III-29B). Que ce soit le nombre de fruits par plant ou le nombre de bouquets par plant, on observe une variabilité assez forte de ces composantes pour une valeur donnée d'INN, ce qui laisse supposer l'influence d'autres facteurs sur la variation de ces composantes. Par contre, les variations du poids moyen des fruits sont indépendantes des valeurs de l'INN comme l'illustre la figure III-29C.

L'état nutritionnel azoté du peuplement influencerait pour partie le développement de la végétation comme le montrent les figures III-30 A et B ; Aux stades floraison et récolte, l'indice foliaire (LAI) tend à augmenter avec l'indice de nutrition azotée (INN). Une alimentation azotée optimale pour la croissance ( $INN > 1$ ) favorise l'activité photosynthétique de la plante en augmentant la surface foliaire, et de surcroît la disponibilité en assimilats.

L'augmentation du LAI avec les indices croissants de nutrition azotée se traduit par une tendance à l'augmentation du nombre total de fruits par plant avec une variation du nombre de fruits plus forte aux indices de LAI élevés (Figure III-31). Le point qui se démarque bien des autres en haut du graphique correspond à la parcelle Lep1 avec de nombreux petits fruits par plant, conséquence d'une attaque virale.

L'évaluation du taux de couverture du sol par la végétation de la tomate, tout comme la mesure du LAI, vise à calculer une surface foliaire par unité de sol. Nous avons vérifié en 2005 si la mesure du LAI pouvait être remplacée par une variable qualitative comme le taux de couverture qui est facile à évaluer sur le terrain. On n'observe pas de relation nette entre ces deux variables (Figure III-32) : pour les valeurs les plus fortes du taux de couverture maximale (observé pendant la phase de grossissement des fruits), on relève une grande variation du LAI à la récolte. La mise en relation du taux de couverture maximale de la végétation avec le nombre total de fruits par  $m^2$  montre que ce dernier tend à augmenter légèrement avec l'accroissement du taux de couverture, pour les points situés en haut de la courbe enveloppe (Figure III-33).

Même si ces relations sont frustrées, on peut cependant retenir que le nombre de fruits par plant est partiellement influencé par la nutrition azotée, d'autres facteurs intervenant sur les variations de cette composante.



#### 4.3.2.2. Origine de la variabilité des indices de nutrition azotée

Nous nous intéressons ici seulement aux différentes sources azotées susceptibles d'influencer l'état nutritionnel des plantes en azote : la teneur des sols en matière organique et en azote total, ainsi que les apports d'engrais. Les résultats des analyses chimiques dans les couches 0-20 et 20-40 cm pour chaque parcelle sont reportés en annexe 15.

##### i. La teneur des sols en matière organique

Les teneurs moyennes des sols en matière organique étaient de 3,8% en 2003 et de 4,2% en 2005 dans la couche 0-20 cm, avec des variations assez importantes entre les parcelles (CV = 31,5 % en 2003 et 26,2% en 2005). Dans la couche inférieure 20-40 cm, les teneurs sont moins élevées (moins de 1,8 point en moyenne) et la variation encore plus grande entre les parcelles (CV = 40% en 2003 et 32% en 2005). On peut expliquer des teneurs en matière organique plus importantes dans l'horizon 0-20 cm que dans l'horizon 20-40 cm par le fait que le fumier est localisé au trou de plantation et que le travail du sol est superficiel. On note par ailleurs que les parcelles qui ont un taux de matière organique élevé sont, pour la plupart, celles qui reçoivent du fumier en fumure de fond. Dans l'horizon 0-20 cm, on a recensé 45% de parcelles avec des teneurs en matière organique élevées (> 4%), alors que dans l'horizon 20-40 cm, la majorité des parcelles (42%) ont une teneur assez faible inférieure à 2% (Figure III-34).

En se basant sur les quantités et le type de matière organique apportés dans les parcelles avant la plantation (fientes de volailles mélangées aux copeaux de bois, fumier de lapins, compost de déchets végétaux), on peut évaluer les quantités d'éléments fertilisants (N, P, K) apportées à la culture (Chabalier *et al.*, 2006). Ces apports sont de l'ordre de 30 à 100 kg/ha de N, 10 à 12 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et 30 à 50 kg/ha de K<sub>2</sub>O. Le fumier selon les quantités apportées dans certaines parcelles a donc un effet fertilisant supérieur aux engrais apportés dans les mêmes parcelles (Inr, Mhs, Ord), en plus de ses effets sur les propriétés physiques et la biologie du sol. Le type de fumier et les quantités apportés à la culture peuvent varier d'une saison à l'autre, voire entre des parcelles de tomate d'une même exploitation, selon ce que l'agriculteur aura pu obtenir à un moment donné. Ce problème de disponibilité peut également être à l'origine de micro-variations de teneur en matière organique (et par conséquent d'azote) à l'échelle de la parcelle.

Le rapport C/N permet d'évaluer l'importance de la transformation de la matière organique en éléments minéraux. En sol cultivé, C/N doit être compris entre 8 et 12, avec un optimum à 10 (Odet, 1989). L'ensemble des échantillons se situe dans cette gamme, ce qui signifie que la transformation de la matière organique se fait correctement.

##### ii. Les apports d'engrais

Les apports d'engrais minéral NPK ont varié de 0 à 2686 kg/ha. Huit parcelles (4 en 2003 et 4 en 2005) n'ont reçu aucun apport d'engrais. Sur ces huit parcelles, trois n'ont reçu aucun apport de fumier (Smd, Sso et Pet), et par conséquent aucun apport d'azote. Cependant, les INN des peuplements de ces parcelles sont élevés aussi bien au stade floraison (2,3 à 2,5) qu'au stade de récolte (2,1 à 3,2), ce qui laisse supposer que l'absence d'apport d'azote pendant le cycle cultural n'a pas entraîné de carence azotée au niveau du peuplement. Cette hypothèse est à mettre en relation avec les teneurs en azote total et en matière organique du sol de ces trois parcelles, dont les contributions ont été vraisemblablement suffisantes pour compenser les besoins azotés des plantes (teneur en matière organique et en azote total compris respectivement entre 3,54 et 4,78%, et entre 2,32 et 2,48 g/kg). En conclusion, on a du mal à déterminer l'origine des variations d'INN entre les parcelles et les valeurs élevées des INN à partir du stade floraison. Les teneurs des sols en azote total et en matière organique semblent avoir été suffisantes, dans les cas où il y a eu absence d'apports de fumier et d'engrais, pour prévenir des états de carence azotée du peuplement végétal. Nous avons pu enregistrer les INN que pendant l'année 2005 et sur un nombre assez limité de parcelles (26), aussi faut-il considérer ces résultats obtenus sur une seule année avec une certaine prudence.

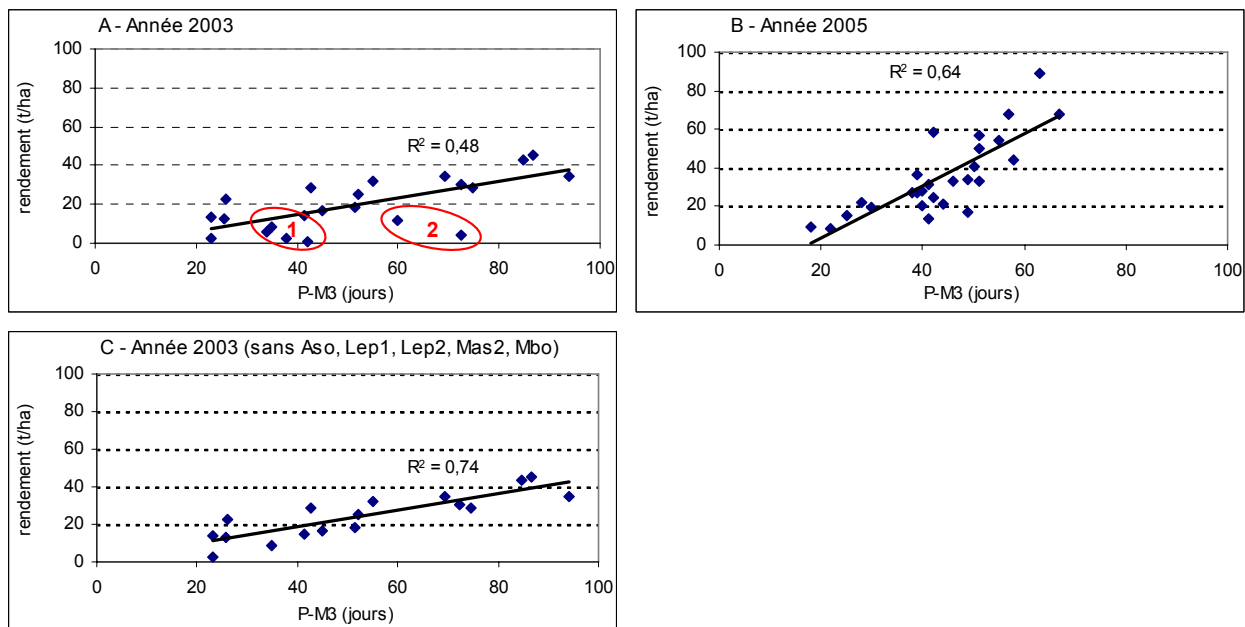
Tableau III-13 : Effectif de parcelles par classe d'indice d'enherbement à trois périodes du cycle de culture dans les parcelles du réseau : plantation à floraison du 1<sup>er</sup> bouquet (P-F1), floraison du 1<sup>er</sup> au 3<sup>ème</sup> bouquet (F1-F3), floraison du 3<sup>ème</sup> bouquet jusqu'au début des récoltes (F3-Ri).

A - Année 2003

B - Année 2005

Classe indice	P-F1	F1-F3	F-Ri	Classe indice	P-F1	F1-F3	F3-Ri
1		14	10	1	11	6	10
]1 - 2]		3	4	]1 - 2]	12	15	6
]2 - 3]			3	]2 - 3]	4	5	8
]3 - 4]				]3 - 4]	1	2	3
]4 - 5]				]4 - 5]			1

Figure III-35 : Relation entre le rendement (t/ha) et le nombre de jours entre la plantation et le stade critique M3 (P-M3) dans les parcelles du réseau.





#### 4.3.3. Influence de l'enherbement sur l'état nutritionnel

Le tableau III-13 montre l'évolution de l'indice moyen d'enherbement au cours de trois périodes du cycle cultural (plantation à floraison du 1<sup>er</sup> bouquet, floraison du 1<sup>er</sup> bouquet à celle du 3<sup>ème</sup> bouquet, floraison du 3<sup>ème</sup> bouquet à début de récolte). On note que la plupart des parcelles sont tenues relativement propres jusqu'à la floraison du 3<sup>ème</sup> bouquet : 100% des parcelles en 2003 et 82% en 2005 ont un indice maximal de 2 (10 à 30% de recouvrement du sol par les adventices). Seules 5 parcelles (Inr2, Inr3, Smd, SSo, Ybo) ont eu un indice d'enherbement compris entre 2 et 4 pendant la phase précédant la floraison. Les faibles niveaux d'infestation des parcelles par les adventices se traduisent par une faible compétition entre les mauvaises herbes et le peuplement de tomate pour l'accès à la lumière, aux éléments minéraux et à l'eau, ce qui pourrait expliquer les valeurs élevées des INN pendant la phase post-floraison. Compte tenu des pratiques paysannes visant à maintenir la parcelle propre pendant tout le cycle cultural de la plantation à la récolte, et confirmées par l'évolution des indices d'enherbement, on admet en première analyse que les adventices n'ont pas perturbé la nutrition azotée du peuplement ni la mise en place des composantes de l'élaboration du rendement. Les principales mauvaises herbes que nous avons rencontrées dans les parcelles sont : *Portulaca oleracea*, *Cardiospermum halicacabum*, *Melochia domingensis*, *Solanum nigrum*, *Cyperus rotundus*, *Malvastrum coromandelianum*, *Sida acuta*, *Plantago lanceolata*, *Commelina diffusa*, *Amaranthus viridis*, *Bidens pilosa*, *Conyza sumatrensis*, *Fridax procumbens*, *Senna occidentalis*.

#### 4.3.4. Analyse des nutriments minéraux autres qu'azotés

Les analyses minérales dans la plante, comme pour l'azote, ont été réalisées seulement en 2005, à quatre stades du cycle cultural (début de cycle, floraison, floraison + 15 jours, début de récolte).

##### 4.3.4.1. L'alimentation en phosphore

En l'absence de courbe de dilution du phosphore par rapport à la matière sèche, le diagnostic sur la nutrition en phosphore des peuplements est réalisé à partir des teneurs moyennes en P de la plante (en pourcentage de la matière sèche). Ces valeurs sont comparées à un seuil de carence de 0,4% de P par rapport à la matière sèche (IFA, 1992). N'Dienor (2006) a retenu le même seuil de carence après confrontation de différentes valeurs trouvées dans la littérature.

Les teneurs des peuplements en P font ressortir de faibles valeurs, proches du seuil de carence, dans seulement six parcelles en début de cycle : 0,24% (Pet), 0,36% (Ala), 0,43% (Ybo et Abs), 0,47% (Adb2), 0,48% (Sma). Aucune relation n'a été mise en évidence entre les teneurs et des composantes du rendement. Dans les trois autres prélèvements, les teneurs en P sont comprises entre 0,53 et 2,25%.

##### 4.3.4.2. L'alimentation en potassium

Nous avons effectué le même type d'analyse pour le potassium avec un seuil de carence fixé à 2,5% de K par rapport à la matière sèche (IFA, 1992). On observe la même situation que pour le cas du phosphore. Aucun peuplement n'a révélé de teneur en P inférieure à 2,5% de matière sèche, la plus faible valeur étant de 2,7%. Les teneurs en K% de matière sèche ont varié de 2,7 à 12,3% en début de cycle (prélèvement pendant la phase végétative) et de 4,7 à 18,0% dans les trois autres prélèvements. Ici aussi, aucune relation n'a pu être mise en évidence entre les teneurs de l'élément minéral et des composantes du rendement.

#### 4.3.5. Influence de l'action des ravageurs et maladies sur la production

Les figures III-35A&B montrent une relation assez bonne entre le rendement et le nombre de jours entre la plantation et le stade critique M3 (intervalle noté P-M3) pour les deux années prises séparément ( $r^2 = 0,48$  en 2003 et  $0,64$  en 2005). Le même type de relation est observé entre le nombre de fruits par m<sup>2</sup> (principale composante explicative du rendement) et l'intervalle P-M3 (Figure III-36).

Figure III-36 : Relation entre le nombre de fruits par m<sup>2</sup> et le nombre de jours entre la plantation et le stade critique M3 (P-M3) en 2003 et 2005.

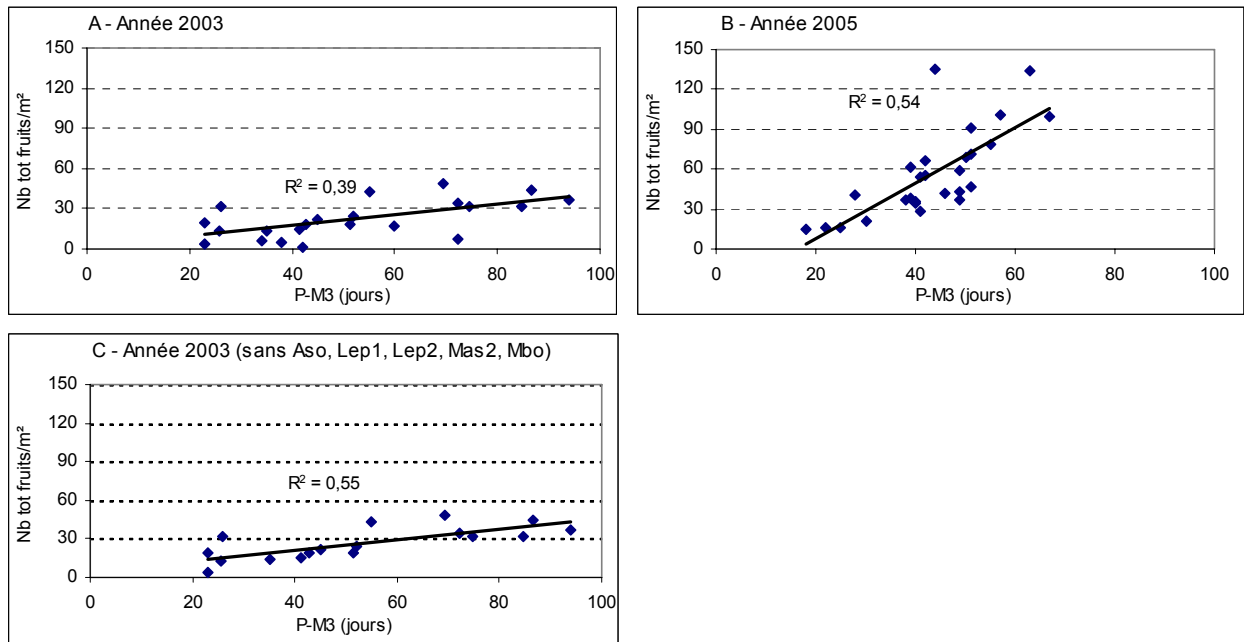


Tableau III-14 : Variation du LAI (à Ri) par classe d'INN (à Ri) et d'indice de parasitisme (à la floraison) en 2005.

Classes INN à Ri	LAI à Ri	Indice de parasitisme au stade floraison				
		M1	M2	M3	M4	M5
1 à 1,8	moyenne Ec. type (CV%) nb parcelles					2,3
		0	0	0	0	1
1,8 à 2,6	moyenne Ec. type (CV%) nb parcelles	3,1 0,39 (13%) 3	3,8 0,9 (24%) 2	2,6 0,35 (14%) 2	3,6 1	2,1 1
2,6 à 3,4	moyenne Ec. type (CV%) nb parcelles	4,1 0,39 (10%) 4	4,1 0,44 (11%) 3	3,5 0,67 (19%) 3	0	3,5 1
3,4 à 4	moyenne Ec. type (CV%) nb parcelles	4,3 0,57 (13%) 2	0	0	0	0

Tableau III-15 : Proportion de parcelles par classe d'indice parasitaire aux stades floraison et début de récolte dans les parcelles du réseau.

Année	stade cultural	Indice parasitaire				
		1	2	3	4	5
2003	floraison	59%	27%	9%	5%	
	début récolte	9%	23%		5%	64%
2005	floraison	32%	21%	18%	7%	21%
	début récolte					100%

Ces relations, de type linéaire, sont croissantes. Le nombre de fruits par m<sup>2</sup> (et le rendement) est d'autant plus élevé que les attaques parasitaires interviennent tard dans le cycle, et inversement, le nombre de fruits par m<sup>2</sup> et le rendement sont d'autant plus faibles que les attaques arrivent précocement ( $r^2 = 0,39$  en 2003 et 0,54 en 2005).

On constate néanmoins une différence entre les années 2003 et 2005 en termes de variation de la durée P-M3 : 23 à 94 jours en 2003 et 18 à 67 jours en 2005, laissant suggérer une pression parasitaire plus forte en 2005. Cela se traduit par des pentes différentes de la droite de régression linéaire entre la précocité des attaques parasitaires et le rendement entre les deux années.

La relation établie à la figure III-35C fait abstraction de cinq parcelles de 2003 qui ont été confrontées à des attaques parasitaires particulièrement virulentes. Ces parcelles ont été réparties dans deux groupes distincts :

- Dans le premier groupe, les parcelles (Aso, Lep1, Lep2) ont subi de fortes attaques de flétrissement bactérien (*Ralstonia solanacearum*) et de moelle noire (*Pseudomonas corrugata*) ou de virus (*TLCMyV*) ou encore de nématodes à galles (*Meloidogyne sp.*), et les producteurs ne disposaient d'aucun moyen de lutte efficace contre ces parasites. Les composantes du rendement (nombre de pieds, nombre de fruits) ont alors été fortement affectées, quel que soit le moment où les symptômes parasitaires ont été observés (intervalle de 34 à 72 jours après plantation selon la parcelle suivie).
- Dans le groupe 2, les parcelles (Mas2, Mbo) ont subi des pertes importantes de fruits pour cause de nécrose apicale (« cul noir ») et d'attaques tardives de noctuelles des fruits au moment de la récolte. Cela se traduit par des rendements faibles (4 t/ha et 11,7 t/ha) pour un intervalle P-M3 relativement long (72 et 60 jours).

Comme nous l'avons précisé précédemment, les attaques parasitaires ont été plus prégnantes en 2005 qu'en 2003 avec une durée P-M3 n'excédant pas 67 jours et très peu de parcelles avec un P-M3 dépassant 55 jours. En 2003, trois parcelles avaient un P-M3 dépassant 80 jours et autant à plus de 60 jours.

Si on s'intéresse à l'évolution de l'état sanitaire de la culture après que le stade M3 est atteint, on s'aperçoit qu'aucune des parcelles suivies ne retrouve un niveau d'infestation inférieur à M3. Au contraire, toutes les parcelles atteignent le niveau maximum d'incidence parasitaire M5 assez rapidement : elles l'atteignent en moyenne en 23 jours en 2003 et en 17 jours en 2005 après que le stade M3 ait été observé. Cependant, la variabilité est très grande, respectivement 88% et 59%. Ni les applications de pesticides, ni les effeuillages sanitaires, n'ont donc permis de restaurer un bon état sanitaire et d'éradiquer totalement les maladies fongiques et les attaques de ravageurs. Elles ont contribué tout au mieux à les ralentir.

On constate, pour les trois classes d'INN les plus fortes en début de récolte, que le LAI est généralement le plus élevé lorsque les plantes sont peu parasitées (indice M1 ou M2) (Tableau III-14). Même si les effectifs de parcelles sont très faibles, il faut souligner que les peuplements qui ont exprimé les plus forts LAI à la récolte se situent dans la classe d'INN la plus élevée avec le plus faible indice de parasitisme (M1), et à l'opposé la seule parcelle qui se situe dans la classe d'INN la plus faible se caractérise par un mauvais état sanitaire (M5) et un assez faible LAI (2,3) (Tableau III-15). Une explication serait que les attaques parasitaires sont à l'origine de la diminution de la surface foliaire, et par conséquent de l'altération du potentiel photosynthétique du peuplement, lorsqu'elles surviennent tôt dans le cycle. Cette diminution serait la conséquence directe de la suppression manuelle des feuilles attaquées et sénescences par les agriculteurs pour limiter les infestations, mais aussi probablement, du ralentissement de la croissance végétative causé par les perturbations du fonctionnement physiologique de la plante par les parasites. Nous n'avons cependant pas de données pour confirmer ou infirmer cette hypothèse.

Figure III-37 : Relation entre l'indice parasitaire et le pourcentage de pieds morts entre la plantation et le début des récoltes dans les parcelles du réseau.

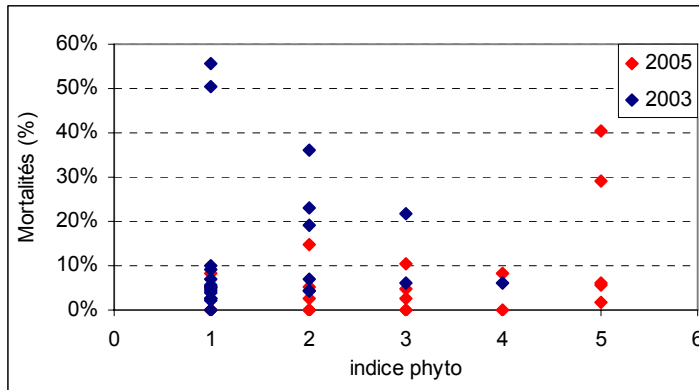


Figure III-38 : Relation entre les classes de densités de peuplement à la récolte et le pourcentage de plants morts entre la plantation et le début des récoltes dans les parcelles du réseau.

(Classes : 1 : < 1 plant/m<sup>2</sup> ; 2 : 1 à 2 plants/m<sup>2</sup> ; 3 : 2 à 3 plants/m<sup>2</sup> ; 4 : 3 à 4 plants/m<sup>2</sup> ; 5 : 4 à 5 plants/m<sup>2</sup> ; 6 : > 5 plants/m<sup>2</sup>)

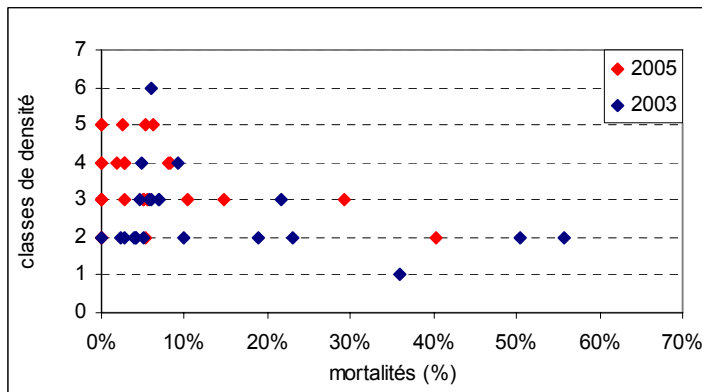
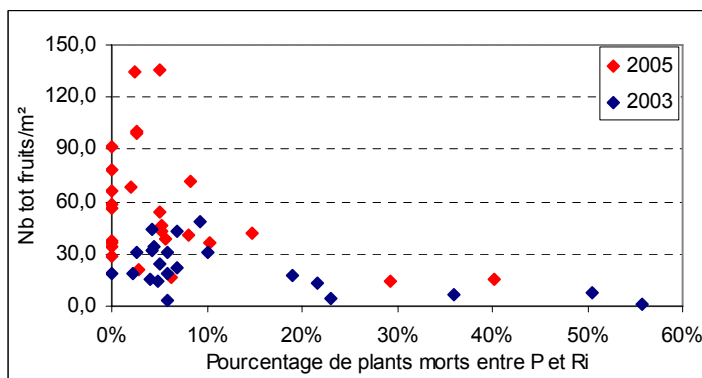


Figure III-39 : Relation entre le nombre total de fruits par m<sup>2</sup> et la proportion de plants morts à la récolte par rapport à la densité de peuplement à la plantation dans les parcelles du réseau.



#### 4.3.6. Relation entre l'état sanitaire du peuplement et les composantes du rendement

##### 4.3.6.1. *Impact des attaques parasitaires sur les pertes de plants*

La proportion de parcelles présentant des symptômes d'agressions parasitaires (taches et nécroses plus ou moins importantes sur feuilles) a varié au cours du cycle cultural et selon l'année (Tableau III-15). En 2003, les indices de parasitisme étaient plutôt faibles au stade floraison (59% des parcelles en M1, 27% en M2, 9% en M3 et 5% en M1), alors qu'en début de récolte, 64% des parcelles étaient déjà notées M5. En 2005, l'état sanitaire des peuplements de tomate s'était déjà bien dégradé dans 28% des parcelles avec un indice de parasitisme supérieur ou égal à M4 au stade floraison. A la récolte, la totalité des peuplements exprimaient l'indice maximal M5.

La figure III-37 nous montre que les mortalités les plus élevées ont été obtenues en 2003 chez Lep2, Mas1, Lep1, Aso et Mbo, respectivement 56%, 50%, 36%, 23% et 22%. Ces mortalités sont dues essentiellement à des attaques sévères, dès le début du cycle, de parasites telluriques : flétrissement bactérien et moelle noire chez Lep1 et Lep2, nématodes à gales chez Aso. Chez Mas1 et Mbo, le flétrissement bactérien a été moins sévère. Les mortalités sont survenues tôt, durant la première phase du cycle (plantation à floraison). Au moment des observations faites vers le stade floraison, les plants restés vivants présentaient globalement peu de symptômes de taches et de nécroses sur feuilles, ce qui explique des valeurs d'indice parasitaire faibles à moyenne (1 à 3) pour ces différents peuplements. En 2005, les mortalités les plus élevées ont été observées chez Smd et Sma, respectivement 40% et 29%. Elles sont imputables en grande partie au flétrissement bactérien et à la virose de l'enroulement (TLcMyV). Ces deux parcelles se distinguent par un indice parasitaire de 5 à la floraison jusqu'à la fin de la culture, ce qui traduit un mauvais état sanitaire du peuplement durant la phase de grossissement et de maturation des fruits.

En se rapportant à la figure III-38, on vérifie que les parcelles qui ont été les plus touchées par les mortalités se situent dans les faibles classes de densité (1 et 2) avec moins de 20 000 plants/ha. La densité de peuplement moyenne des sept parcelles (Aso, Lep1, Lep2, Msa1, Mbo, Sma, Smd) les plus touchées par les mortalités est de 14 711 plants/ha (CV = 39%). Les autres parcelles qui ont subi des mortalités de 10 à 20% se situent également dans les classes de densité moyenne à faible (soit 1 à 3 plants/m<sup>2</sup>).

##### 4.3.6.2. *Impact des attaques parasitaire sur le nombre total de fruits par m<sup>2</sup> et le poids moyen du fruit*

La figure III-39 présente la relation entre le nombre total de fruits par m<sup>2</sup> et le pourcentage de plants morts entre la plantation et le début des récoltes. On note que cette variable prend des valeurs faibles (0,7 à 17,4 fruits/m<sup>2</sup>) pour les plus fortes valeurs de mortalités enregistrées (19 à 56%). Il s'agit des parcelles Aso, Lep1 (2003), Lep2 (2003), Mas1, Mas2, Mbo, Sma (2005) et Smd. La réduction de la densité de peuplement a entraîné une baisse du nombre de fruits par m<sup>2</sup> et par conséquent du rendement final. En-deçà d'une certaine densité de plantation (moins de 2 plants/m<sup>2</sup> dans notre cas), il semble ne pas y avoir d'effet compensateur de la diminution du nombre de plants par l'augmentation du nombre de fruits par m<sup>2</sup>, comme on pouvait s'y attendre. L'absence de compensation pourrait s'expliquer par les effeuillages et égourmandages successifs qui visent à supprimer régulièrement les axillaires susceptibles de porter des fruits. Nous reviendrons un peu plus loin sur cette hypothèse au chapitre traitant des résultats de l'essai taille.

Le tableau III-16 montre que le nombre de fruits par m<sup>2</sup> tend à diminuer avec l'augmentation de l'indice de parasitisme au stade floraison dans les classes d'INN 1,8 à 2,6 et 2,6 à 3,4. Les deux classes extrêmes d'INN (1 à 1,8 et 3,4 à 4) ne comptent que 2 parcelles chacune. Pour un indice de parasitisme donné (M1 à M5), on observe que le nombre total de fruits par m<sup>2</sup> tend à augmenter avec les valeurs croissantes de classes d'INN à la récolte.

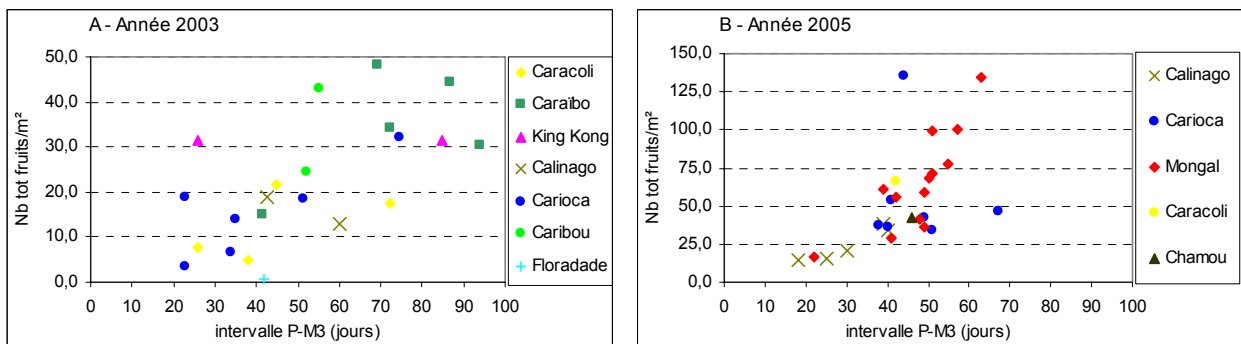
Tableau III-16 : Variation du nombre total de fruits par m<sup>2</sup> (à Ri) par classe d'INN (à Ri) et d'indice de parasitisme (à la floraison) en 2005.

Classes INN à Ri	Nb tot fruits/m <sup>2</sup>	Indice de parasitisme au stade floraison				
		M1	M2	M3	M4	M5
1 à 1,8	moyenne Ec. type (CV%) nb parcelles	0	0	0	0	2
1,8 à 2,6	moyenne Ec. type (CV%) nb parcelles	76,0 52,7 (69%) 3	36,1 7,2 (20%) 3	27,5 9,5 (35%) 2	41,1 1 1	16,3
2,6 à 3,4	moyenne Ec. type (CV%) nb parcelles	82,7 37,2 (35%) 4	55,6 12,2 (22%) 3	60,5 28,1 (46%) 3	33,9 1 1	38,5
3,4 à 4	moyenne Ec. type (CV%) nb parcelles	100,1 0,8 (1%) 2	0	0	0	0

Tableau III-17 : Variation du poids moyen des fruits (en g) par classe d'INN (à Ri) et d'indice de parasitisme (à la floraison) en 2005.

Classes INN à Ri	Pm Fruit (g)	Indice de parasitisme au stade floraison				
		M1	M2	M3	M4	M5
1 à 1,8	moyenne Ec. type (CV%) nb parcelles	0	0	0	0	2
1,8 à 2,6	moyenne Ec. type (CV%) nb parcelles	46 52,7 (114%) 3	70 7,2 (10%) 3	76 9,5 (12%) 2	54 1 1	51
2,6 à 3,4	moyenne Ec. type (CV%) nb parcelles	70 37,2 (53%) 4	83 12,2 (15%) 3	66 28,1 (43%) 3	23 1 1	94
3,4 à 4	moyenne Ec. type (CV%) nb parcelles	68 0,8 (1%) 2	0	0	0	0

Figure III-40 : Relation entre le nombre total de fruits/m<sup>2</sup> et l'intervalle Plantation-stade critique M3 (en jours) selon les variétés cultivées en 2003 et 2005.



La même analyse a été faite pour la variable poids moyen du fruit, et on n'observe aucune relation entre le poids moyen des fruits et l'indice de parasitisme, quelle que soit la classe d'INN à la récolte (Tableau III-17). La taille réduite de notre échantillon de parcelles en 2005 et les faibles effectifs par classe de variables analysées nous invitent cependant à considérer ces résultats avec une certaine précaution.

#### 4.3.6.3. Facteurs pouvant influencer l'état sanitaire du peuplement

##### **i. Effet variétal**

La figure III-40 suggère un certain effet variétal sur la vitesse d'infestation des parcelles par les parasites. Les variétés Carioca, Calinago, Caracoli et Chamou font partie du groupe de celles qui enregistrent les plus faibles nombres de fruits par m<sup>2</sup> avec des durées P-M3 parmi les plus courtes (plus ou moins selon l'année et la variété). Caraïbo, Mongal et King Kong présentent les nombres de fruits par m<sup>2</sup> les plus élevés, même si la gamme de variation des rendements et de la durée P-M3 est relativement large. Il est néanmoins difficile de faire la part entre ce qui relève de l'effet direct de l'état sanitaire de la culture de l'effet variétal proprement dit sur la variation du nombre de fruits.

##### **ii. Effet du précédent cultural**

Au stade floraison, on observe aucune relation entre le précédent cultural et l'état sanitaire des peuplements dans le réseau de parcelles : les faibles valeurs d'indice sanitaire des peuplements (1 et 2) sont observées quel que soit le précédent cultural : maïs, riz, brèdes, laitue, concombre, courgette, melon, tomate et friche/interculture (Tableau III-18). Pour la friche ou l'interculture (absence de cultures maraîchères ou vivrières sur la parcelle pendant plusieurs mois) qui est le cas le plus fréquemment rencontré l'indice d'état sanitaire a varié de 1 à 5. En revanche, au stade début de récolte, les seules parcelles qui présentent encore des indices faibles d'état sanitaire (1 et 2) sont celles qui ont eu comme précédent le riz et la friche/interculture, soit 7 parcelles au total sur 50. Il semble donc que pratiquer des cultures maraîchères en continu sur la même parcelle favorise les infestations parasitaires. Une phase de repos du sol d'au moins plusieurs mois serait nécessaire pour limiter le potentiel d'infestations. Cependant, nos données ne nous permettent pas de mettre en évidence précisément les bioagresseurs responsables de ces états sanitaires ni leur dynamique de développement, et des observations plus fines sur le parasitisme tellurique, mais aussi aérien sont nécessaires pour cela. Par ailleurs, on constate que 50% des parcelles n'ayant pas été cultivées avant l'implantation de la tomate ont présenté un indice d'infestation maximal (note de 5) en début de récolte, ce qui suppose l'existence d'autres facteurs pour expliquer le mauvais état sanitaire des cultures à ce stade.

En mettant en relation ces 7 parcelles avec le mode de travail du sol, on constate que 4 d'entre elles ont été labourées à la charrue et les 3 autres ont été préparées manuellement au pic (au niveau du trou de plantation). Le mode de travail du sol n'a donc pas influencé l'état sanitaire des peuplements.

##### **iii. Effet des traitements phytosanitaires**

Le recours systématique à la protection chimique nous amène à vérifier l'impact des traitements phytosanitaires sur l'état sanitaire des cultures. On peut supposer que les traitements effectués en début de cycle sont déterminants pour maintenir un bon état sanitaire ou retarder l'infestation parasitaire du peuplement. La figure III-41 nous révèle que le nombre de traitements n'est pas le facteur déterminant de l'état sanitaire. En effet, on constate une forte variation d'indice parasitaire (de 1 à 5) au stade floraison quel que soit le nombre de traitements effectués. Au début de la phase de récoltes (Ri), on s'aperçoit que l'infestation parasitaire s'est bien étendue à l'ensemble du peuplement (indice parasitaire égal à 5), à l'exception de quatre parcelles qui se caractérisent par des indices parasitaires variant de 1 à 4 et un nombre de traitements variant de 8 à 14.

Tableau III-18 : Relation entre le précédent cultural et l'état sanitaire des peuplements à la floraison dans le réseau de parcelles en 2003 et 2005.

indice état sanitaire des peuplements	Effectif parcelles au stade floraison							
	précédent cultural							
	maïs	riz	brèdes mafane laitue	concombre courgette melon	manioc	tomate	haricot	friche interculture
1	1	1		4		1		14
2	1	1	1	1				9
3	2		1		1		1	3
4	1							1
5					1			5
	Effectif parcelles au stade début de récolte							
1		1						1
2								5
3								
4								1
5	5	1	2	5	2	1	1	25

Figure III-41 : Relation entre le nombre de traitements phytosanitaires de la plantation (P) à la floraison (F) et l'indice parasitaire à deux stades du cycle cultural en 2003 et en 2005.

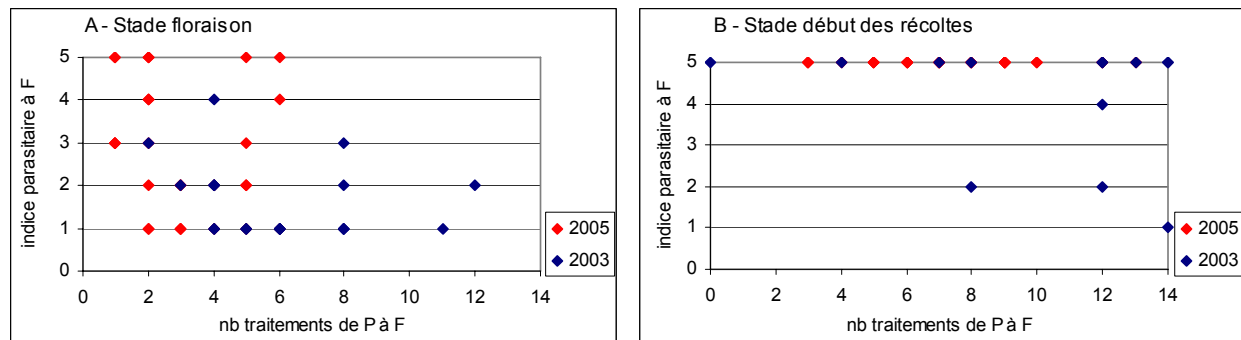


Tableau III-19 : Doses moyennes d'insecticides et fongicides utilisées par les agriculteurs dans les parcelles du réseau en 2003 et en 2005 en pourcentage de la dose recommandée par les firmes phytopharmaceutiques.

Année	INSECTICIDES							FONGICIDES						
	Decis	Karaté	Klartan	Callifol	Trigard	Vertimec	Best	Topsin	Dithane	BB	Norsineflo	Daconil	Score	Aviso
moy.	112	208	251	115	141		55	8	129	99	91	19		153
mini	43	87	100	44	141		30	8	14	5	17	18		149
maxi	267	533	404	180	141		80	8	267	288	200	21		156
éc. type	62	104	148	68	0		35		64	102	79	2		5
CV%	55%	50%	59%	59%	0%		64%		49%	103%	86%	9%		3%
moy.	180	218	317	293	82	136			294	134	128	84	420	
mini	22	113	200	155	42	130			75	44	62	50	420	
maxi	360	480	400	431	113	141			805	314	226	109	420	
éc. type	95	124	104	195	27	8			212	89	79	31		
CV%	53%	57%	33%	67%	33%	6%			72%	66%	62%	36%		



Dans ces conditions, la question de l'efficacité des traitements phytosanitaires se pose compte tenu du fait que la majorité des parcelles sont infestées à 100% en début de récolte, et ce malgré une lutte préventive. Il nous paraît donc important d'analyser les conditions de mise en œuvre des traitements.

Le tableau III-19 présente le dosage moyen des différents pesticides utilisés en 2003 et 2005 exprimé en pourcentage de la dose recommandée mentionnée dans le guide phytosanitaire Acta (Couteux et Lejeune, 2005). On relève une nette tendance au sur-dosage pendant les deux années pour les insecticides et les fongicides avec une tendance plus marquée en 2005. Les différences entre parcelles sont cependant importantes. Décis<sup>®</sup> et Karaté<sup>®</sup>, utilisés par tous les agriculteurs, ont été dosés respectivement entre 43% et 267% (moyenne de 112%) et entre 87% et 533% (moyenne de 208%) des doses recommandées en 2003, et entre 22% et 360% (moyenne de 180%) et entre 113% et 480% (moyenne de 218%) en 2005. La plupart des insecticides agissent à des doses faibles (0,5 l/ha pour Décis<sup>®</sup> et Vertimec<sup>®</sup> ; 0,25 l/ha pour Karaté<sup>®</sup> ; 0,2 l/ha pour Klartan, 0,4 kg/ha pour Trigard<sup>®</sup>), mais la plupart des agriculteurs surdosent, et ce pour diverses raisons qui peuvent s'appliquer à un même agriculteur : méconnaissance des dosages recommandés, difficulté pour passer d'une dose par hectare à la dose nécessaire pour la surface réellement cultivée, doute sur l'efficacité des pesticides agissant à faibles doses. Le surdosage semble moins prononcé avec les fongicides, ce qui pourrait être dû au fait qu'ils sont prescrits à des doses beaucoup plus élevées : 6,25 kg/ha pour la Bouillie Bordelaise<sup>®</sup>, 2 kg/ha pour le Dithane<sup>®</sup>, 3 l/ha pour le Daconil<sup>®</sup>. Mais, on relève aussi des sous-dosages importants de fongicides chez certains agriculteurs avec des apports variant de 5 à 18% de la dose recommandée selon les produits en 2003, et de 50 à 75% en 2005. Ce sous-dosage étant surtout motivé par la volonté de faire des économies de produits. Ces observations mettent en exergue le fait que les agriculteurs, d'une manière générale, ne dosent pas correctement les fongicides ni les insecticides, avec une tendance au sur-dosage avec les produits solides et au sous-dosage avec les produits liquides.

Nous n'avons pas trouvé de relation entre l'état sanitaire global des peuplements à des stades repères (floraison, début de récolte) et les sur-dosages ou sous-dosages des produits par les agriculteurs. Comme nous l'avons montré précédemment, l'indice parasitaire atteint la valeur maximale dans l'ensemble des parcelles au moment de la récolte, et ce indépendamment des pratiques de dosage.

Il existerait donc d'autres facteurs explicatifs de l'état sanitaire de la culture, mais les données obtenues dans le dispositif de suivi des parcelles ne permettent pas d'en rendre compte. Plusieurs hypothèses peuvent être évoquées. Il est possible que les pesticides ne soient pas positionnés au moment opportun ou qu'ils ne soient pas adaptés au bioagresseur. Des phénomènes d'acquisition de résistance ou de tolérance aux produits par les bioagresseurs peuvent aussi expliquer l'inefficacité de certains traitements contre des ravageurs.

#### 4.4. Conclusion partielle sur les états du milieu affectant l'élaboration du rendement

Les analyses de sol des parcelles cultivées en 2003 et en 2005 ont révélé des valeurs satisfaisantes en azote total et en matière organique, et les pratiques de fertilisation ont montré que la quasi-totalité des agriculteurs apportent de la matière organique (fumier ou compost) ou/et de l'engrais minéral NPK à la plantation. L'indice de nutrition azotée, évalué à plusieurs stades du cycle cultural en 2005, ne fait apparaître aucune carence azotée pendant la phase de grossissement des fruits et en début de récolte, stades où les prélèvements de la plante sont les plus importants (Odet, 1989). Néanmoins, on observe que le LAI tend à augmenter avec les valeurs croissantes d'INN, et que le nombre de fruits par m<sup>2</sup> suit également cette tendance, ce qui laisse supposer une influence, modérée, de l'état azoté des plantes sur leur croissance et leur développement, en augmentant la surface foliaire et vraisemblablement l'activité photosynthétique.

Les bilans hydriques ont montré que les agriculteurs apportaient beaucoup trop d'eau en début de cycle (P-F), mais qu'une partie d'entre eux n'en apportait pas suffisamment pendant les phases de grossissement des fruits (F-Ri) et de récolte (Ri-Rf), générant ainsi des périodes de stress hydrique. Cependant, nous n'avons pas pu mettre en évidence de relation entre le taux de satisfaction des besoins en eau dans les parcelles et l'évolution des principales composantes du rendement « nombre de fruits » et « poids moyen du fruit ». Dans le calcul du bilan hydrique, nous avons fait abstraction du drainage et des remontées d'eau par capillarité. Or, le suivi tensiométrique dans une parcelle du dispositif a montré qu'il pouvait y avoir des remontées capillaires. Il est donc possible que dans les parcelles où nous avons mis en évidence des stress hydriques par calcul du bilan hydrique, les plantes aient été suffisamment alimentées en eau par le phénomène de capillarité. Les profils racinaires ont mis en lumière un système racinaire confiné au trou de plantation et peu profond (< 30 cm). Les observations et les estimations que nous avons faites laissent néanmoins supposer que l'alimentation en eau n'a pas limité le rendement, même si elles se révèlent malgré tout insuffisantes pour juger précisément de son influence sur la production.

L'enherbement ne constitue pas non plus un facteur limitant. En effet, les agriculteurs sarclent relativement tôt leurs parcelles (avant la floraison) et tiennent leurs parcelles propres jusqu'au début des récoltes. A la floraison, 100% des parcelles en 2003 et 82% en 2005 présentaient une infestation relativement faible par les adventices (10 à 30% de recouvrement global). Plusieurs auteurs (Friesen, 1979 ; Weaver, 1983 ; Sajjapongse *et al*, 1989) ont montré qu'un désherbage total entre le 28<sup>ème</sup> et le 35<sup>ème</sup> jour après plantation, soit vers le stade de floraison - nouaison, a le même effet positif sur l'élaboration du rendement que le positionnement d'un herbicide de pré-émergence de 24 à 36 jours de persistance d'action, ou que le positionnement d'un herbicide post-émergent dans un délai inférieur à 24 jours après plantation. Kasasian et Seeyave (1969), quant à eux, ont montré que la tomate est surtout sensible à la compétition par les mauvaises herbes pendant le premier mois qui suit la plantation. Cette compétition s'exerce pour l'accès à l'eau, aux éléments minéraux et au rayonnement et se traduit par une baisse du poids de matière sèche des plants de tomate et une réduction du rendement. Il convient donc de maintenir la parcelle propre pendant la période critique qui s'étale entre la plantation et la floraison du 3<sup>ème</sup> bouquet (Bezert *et al*, 1999 ; Dumas *et al*, 1999), ce que font par expérience la majorité des agriculteurs suivis.

Nous avons vu que l'état sanitaire des cultures se dégrade assez vite en cours de cycle et que la majorité des parcelles expriment des symptômes d'attaques de maladies fongiques (voire bactériennes et virales selon les parcelles) affectant la majorité des peuplements dès le début des récoltes. Les parcelles peu infestées sont celles qui ont eu comme précédent cultural du riz ou n'ont pas été cultivées pendant au moins plusieurs mois avant la mise en place de la tomate.

Nous avons trouvé une relation assez bonne entre le nombre de fruits par m<sup>2</sup> (principale composante explicative du rendement) et la durée de l'intervalle P-M3. Le nombre de fruits par m<sup>2</sup> est d'autant plus élevé que les attaques interviennent tardivement. Cependant, nous n'avons pas pu expliquer l'état sanitaire des cultures par les pratiques de traitements phytosanitaires (nombre de traitements, dosage), qui par ailleurs sont très variables et globalement peu adaptées aux attaques recensées.

La confrontation de l'indicateur P-M3 avec l'INN a montré que le nombre de fruits par m<sup>2</sup> tend à diminuer avec l'augmentation de l'indice de parasitisme au stade floraison dans les classes moyennes d'INN. Par ailleurs, pour un indice de parasitisme donné (M1 à M5), on a relevé que le nombre total de fruits par m<sup>2</sup> tend à augmenter avec les valeurs croissantes de classes d'INN à la récolte. Il existerait donc une interaction entre la nutrition azotée et l'état sanitaire des cultures qui reste à approfondir.

Des pertes de pieds importantes ont été relevées dans certaines parcelles entre la plantation et le début de récolte, imputables en grande partie à des parasites telluriques (flétrissement bactérien, moelle noire, nématodes à galles). Ces attaques parasitaires peuvent survenir tôt dans le cycle (avant la floraison), ou plus tardivement, et occasionnent une diminution du nombre de fruits par m<sup>2</sup> (par réduction de la densité de peuplement). Nous n'avons cependant pas observé de compensation de la baisse du nombre de pieds par une augmentation du nombre de fruits dans ces parcelles, probablement imputable au fait que les agriculteurs taillent et égourmandent régulièrement les pieds de tomate.

Nous avons vu que les pratiques de taille et d'égourmandage étaient source de régulation de la surface foliaire et du nombre de tiges, et par conséquent du nombre de bouquets et de fruits par plante. Nous examinerons donc au chapitre suivant l'influence de la taille sur la croissance et les composantes du rendement.

Figure III-42 : Evolution de la hauteur moyenne des plants (en cm) dans l'essai taille.

A : en fonction du traitement

B : par type de taille

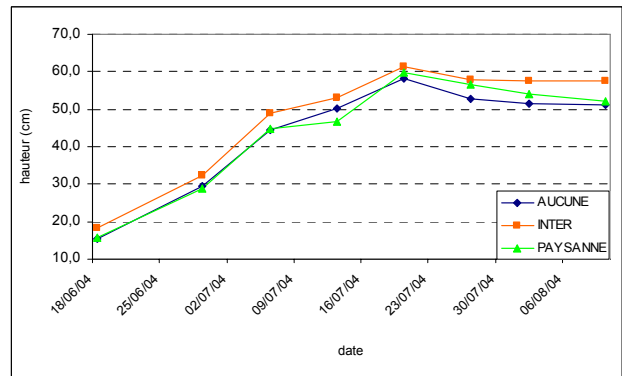
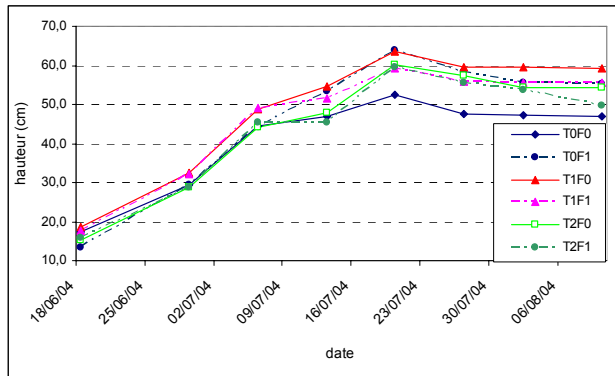


Figure III-43 : Evolution du volume moyen des plants (en cm<sup>3</sup>) dans l'essai taille.

A : en fonction du traitement

B : par type de taille

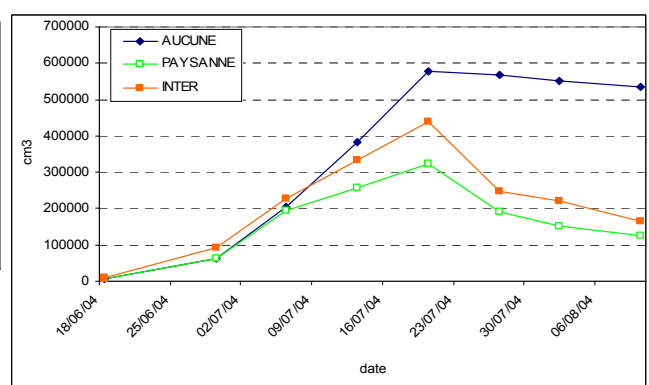
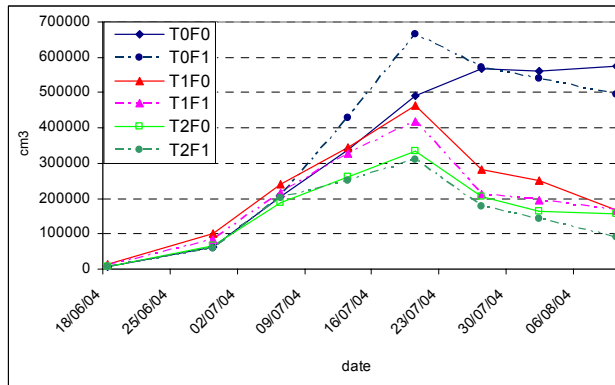
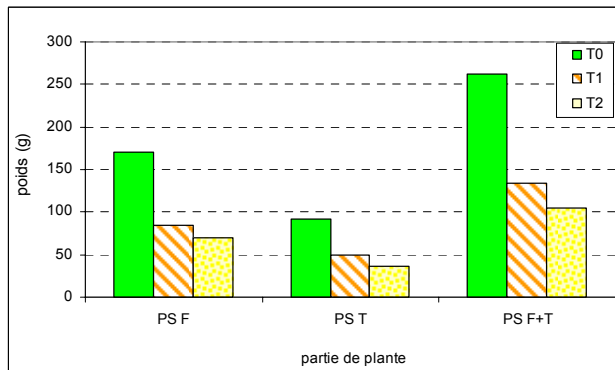


Figure III- 44 : Poids sec des différentes parties végétatives de la plante en fin de récolte par modalité de conduite de la végétation (T0, T1 et T2) dans l'essai taille (PSF : poids sec feuilles ; PST : poids sec tiges ; PS F+T : poids sec feuilles + tiges ; T0 : sans taille ; T1 : taille légère ; T2 : taille paysanne).



## 5. Résultats de l'expérimentation sur la taille de la tomate (campagne 2004)

Nous ne présentons ici que les résultats issus du suivi des plants de référence.

### 5.1. Croissance

#### 5.1.1. *Hauteur*

La croissance des plants est continue jusqu'à atteindre un pic situé au 20/07, soit 48 jours après plantation, puis on observe une légère décroissance de la hauteur et un plateau (Figure III-42). Cette décroissance qui concerne davantage la modalité T2 est liée aux opérations d'effeuillage et de taille effectuées le 22/07 sur T2, et aussi aux manipulations des plants lors du désherbage effectué la veille : un certain nombre de tiges ont été pliées involontairement, diminuant ainsi la hauteur du plant. Nous avons mesuré la hauteur de la canopée, et non pas la longueur réelle de la tige principale, avec un piquet en bois gradué disposé le long de la tige principale. Ce faisant, on évite de trop manipuler les plants et d'abîmer involontairement les tiges, fleurs et bouquets.

Sur la figure III-42, on observe que les courbes de hauteur sont pratiquement confondues quelle que soit la conduite de végétation et la fertilisation apportée. Les courbes des traitements « aucune taille » (T0) et « taille paysanne » (T2) sont cependant en dessous de celle de la « taille intermédiaire ». La variété Calinago a un port érigé, ce qui explique que les plants non taillés et non tuteurés (T0) ont une longueur peu différente des plants taillés et tuteurés dans le cas de notre conduite. Le tuteurage a été réalisé avec un piquet en bois en attachant la tige principale et les autres ramifications fertiles à trois reprises au cours du cycle (36 JAP, 50 JAP et 61 JAP).

La hauteur varie donc peu entre les différents traitements. La variation mesurée n'est pas statistiquement différente comme l'a montré l'analyse de variance faite à la date du 20/07 (48 JAP), date où la croissance est maximale et les écarts les plus grands entre traitements.

#### 5.1.2. *Volume de végétation*

D'une manière globale, le volume de l'appareil végétatif du plant (exprimé en cm<sup>3</sup>) progresse fortement jusqu'au 20/07 (sauf pour T0F0 jusqu'au 27/07), puis il diminue plus ou moins fortement pour l'ensemble des traitements, excepté T0F0 où il atteint un plateau (Figure III-43A).

Les courbes de volume sont parallèles et se confondent pour certaines d'entre elles jusqu'au 6/07 (35 jours après plantation), date à laquelle est effectuée la taille des plants (T1 et T2), puis elles divergent avec une pente plus forte pour la modalité T0.

Nous n'avons pas observé de différence de volume en fonction de la modalité de fertilisation. En revanche, les plants non taillés (T0) ont un volume largement supérieur aux plants taillés légèrement (T1), qui eux-mêmes ont un volume supérieur aux plants taillés de la modalité paysanne (T2). La différence entre T0 d'une part et T1 et T2 d'autre part, est très nette à partir du pic de volume (20/07) et s'accroît par la suite jusqu'à la fin du cycle de culture (Figure III-43B).

L'analyse de variance sur la variable volume de la biomasse aérienne au 20/07 (pic de croissance) montre une différence statistiquement significative entre deux groupes distincts selon le test de Newman-Keuls (à  $\alpha = 5\%$ ) : d'une part T0F0, T0F1 (aucune taille) et T1F0 (taille intermédiaire), d'autre part T1F1, T2F0 et T2F1.

Figure III-45 : Poids sec (en g) des différentes parties végétatives de la plante en fin de récolte en fonction du traitement dans l'essai taille (PSF : poids sec feuilles ; PST : poids sec tiges ; PS F+T : poids sec feuilles + tiges).

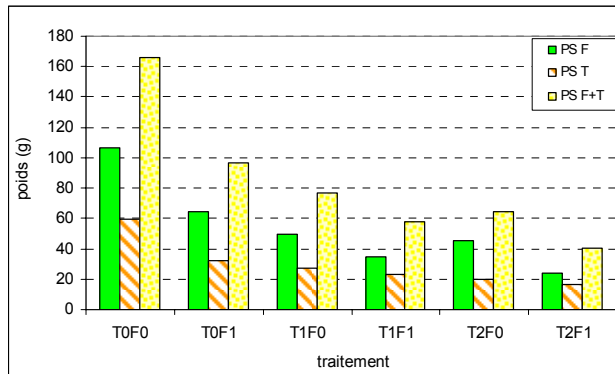


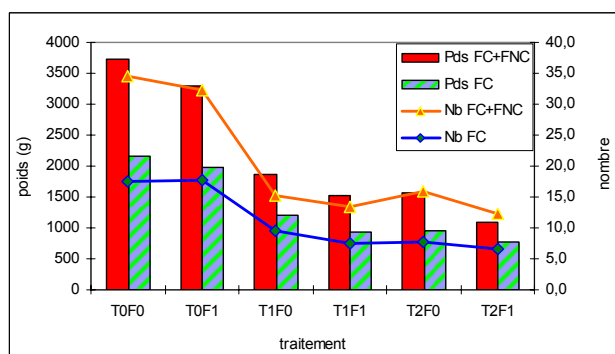
Tableau III-20 : Caractéristiques chimiques du sol (couche 0-20 cm) de la parcelle de l'essai taille.

pH eau	Ntot (g/kg)	C Dumas %	C/N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> assi (mg/kg)	CEC (meq/100g)	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)	K (meq/100g)	Na (meq/100g)	K % CEC	Mg/Ca
6,3	1,68	1,81	10,77	169	46,20	26,00	19,20	1,31	0,43	2,84	0,74

Tableau III-21 : Biomasse sèche des feuilles et tiges supprimées lors des opérations de taille et d'effeuillage dans les traitements T1 et T2 de l'essai taille.

Plantation : 02/06/2004	Poids sec (g) des feuilles et tiges à différentes dates d'effeuillage et de taille									
	22-juin	6-juil.		22-juil.		2-août		Total (cumul des quatre dates)		
	Feuilles	Feuilles	Tiges	Feuilles	Tiges	Feuilles	Tiges	Feuilles	Tiges	F + T
T1F0		10,35	3,32					10,35	3,32	13,67
T1F1		7,55	3,32					7,55	3,32	10,87
T2F0	0,83	5,27	2,43	5,90	0,12	3,38	0,18	15,38	2,74	18,12
T2F1	0,68	6,00	2,17	8,08	0,23	3,50	0,18	18,27	2,58	20,85

Figure III-46 : Poids frais (Pds) en g et nombre (Nb) de fruits par plant et par catégorie (fruits commercialisables (FC) et fruits non commercialisables (FNC)) selon le traitement dans l'essai taille.



Traitement	Moyenne	Groupes homogènes
T0F0	665,62	a
T0F1	491,22	ab
T1F0	462,64	ab
T1F1	416,93	b
T2F0	334,62	b
T2F1	309,95	b

Les différences dans les volumes de biomasse aérienne sont à mettre en relation avec les pratiques de taille, d'effeuillage et de tuteurage qui réduisent la biomasse aérienne. Les interventions sur la végétation ont été les plus importantes pour le traitement T2 comme indiqué ci-dessous :

Traitement	Date d'effeuillage	Date de taille des tiges
T1	6/07 (35 JAP)	6/07 (35 JAP)
T2	22/06 (20 JAP)	6/07 (35 JAP)
	6/07 (35 JAP)	22/07 (50 JAP)
	22/07 (50 JAP)	2/08 (61 JAP)
	2/08 (61 JAP)	

### 5.1.3. *Biomasse aérienne sèche*

En fin de récolte, les feuilles ont été séparées des tiges pour calculer leur poids sec après passage à l'étuve. Le poids sec total des feuilles + tiges est le plus élevé pour la modalité de conduite de la végétation T0 (2 types de fertilisation confondus) et le moins élevé pour la modalité T2 (Figure III-44). Le traitement T0 se démarque nettement des traitements T1 et T2. Cette tendance est la même que celle observée pour la variable volume de végétation.

Quand on compare les six traitements entre eux, on remarque que les plants qui ont reçu une fertilisation réduite (F0) ont un poids sec total « tiges + feuilles » supérieur à ceux qui ont reçu trois fois plus d'engrais (F1), et ce quel que soit le mode de conduite de la végétation (Figure III-45). L'analyse de sol faite en juin 2003 sur la couche 0-20 cm a montré que le sol était correctement pourvu en éléments fertilisants (Tableau III-20). On peut donc supposer que la fertilité chimique initiale du sol était suffisante pour compenser les besoins de la plante indépendamment des quantités d'engrais apportées dans les traitements F0 et F1. Le poids sec plus faible des feuilles et tiges dans le traitement F1 pourrait correspondre à une plus grande translocation des assimilats des feuilles et des tiges vers les fruits.

La biomasse enlevée chez les plants taillés et effeuillés en cours de cycle représente environ 18% du poids sec final des « tiges + feuilles » dans le cas du traitement T1 (taille intermédiaire/tuteurage) et 39% dans le cas du traitement T2 (taille paysanne/tuteurage), soit deux fois plus de matière sèche enlevée chez T2 que T1 (Tableau III-21).

Les pratiques paysannes d'effeuillage et d'égourmandage conduisent donc à supprimer une partie importante de la biomasse aérienne (plus du tiers) avec des conséquences sur la production.

## 5.2. Composantes du rendement

### 5.2.1. *Production récoltée par plant*

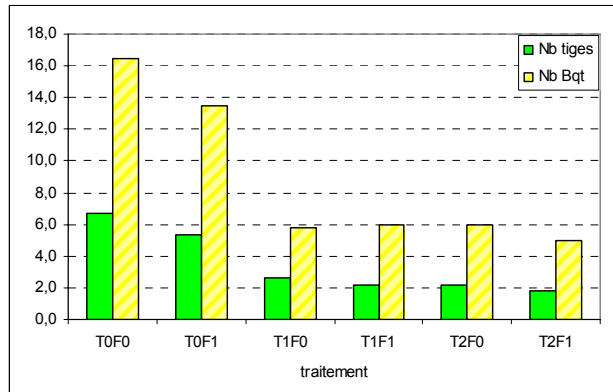
Sur la figure III-46, on observe que la production de tomates fraîches par plant est nettement plus élevée pour les modalités T0F0 (3,72 kg) et T0F1 (3,3 kg) que pour les autres traitements.

Tableau III-22 : Comparaison du poids de fruits frais (Pds) en g et du nombre (Nb) de fruits par plant et par catégorie (fruits commercialisables (FC) et fruits non commercialisables (FNC)) entre traitements dans l'essai taille.

Traitement	Pds FC + FNC	Poids FC	Nb FC + FNC	Nb FC
T0F0	3723 <i>a</i>	2162 <i>a</i>	34,5 <i>a</i>	17,5 <i>a</i>
T0F1	3303 <i>a</i>	1982 <i>a</i>	32,3 <i>a</i>	17,7 <i>a</i>
T0F1	1861 <i>b</i>	1204 <i>b</i>	15,3 <i>b</i>	9,5 <i>b</i>
T1F1	1513 <i>b</i>	942 <i>b</i>	13,3 <i>b</i>	7,5 <i>b</i>
T2F0	1576 <i>b</i>	949 <i>b</i>	15,8 <i>b</i>	7,7 <i>b</i>
T2F1	1097 <i>b</i>	776 <i>b</i>	12,1 <i>b</i>	6,7 <i>b</i>

*NB : les chiffres suivis d'une même lettre ne sont pas significativement différents au seuil  $\alpha$  de 5%.*

Figure III-47 : Nombre moyen de tiges et de bouquets par plant en fonction du traitement dans l'essai taille.





Par ailleurs, on note également, quel que soit le traitement, que la production de fruits commercialisables par plant (FC) et la production totale de fruits par plant (FC + FNC) sont supérieures dans la modalité fertilisation réduite (F0), même si les différences sont relativement faibles.

L'analyse de variance a montré que les traitements T0F0 et T0F1 sont statistiquement homogènes mais différents des traitements « taille/tuteurage » (T1F0, T1F1, T2F0 et T2F1). Il n'y a aucune différence significative entre les modalités T1 et T2, au seuil  $\alpha$  de 5% (Tableau III-22).

### 5.2.2. Nombre de tiges par plant

Le nombre moyen de tiges par plant est significativement plus élevé chez les plants non taillés (T0) que chez les plants taillés (T1 et T2) : 5,3 à 6,7 pour la modalité T0, 2,2 à 2,7 pour la modalité de taille T1 et 1,8 à 2,2 pour la modalité de taille T2 (Figure III-47).

L'analyse de variance sur cette variable révèle trois groupes distincts (test de Newman-Keuls au seuil  $\alpha$  de 5%). On observe cependant deux groupes si on confond les deux modes de fertilisation : d'une part un groupe composé des plants non taillés (T0F0 et T0F1) et d'autre part un groupe composé des plants taillés et tuteurés (T1F0, T1F1, T2F0 et T2F1). Les variations intra-traitement du nombre de tiges par plant sont plus ou moins faibles selon les traitements :

Moyenne	Ecart
T0F0 : 6,7 a	6 à 7 tiges/plant (CV = 8%)
T0F1 : 5,3 b	3 à 7 tiges/plant (CV = 31%)
T1F0 : 2,7 c	2 à 4 tiges/plant (CV = 31%)
T1F1 : 2,2 c	2 à 3 tiges/plant (CV = 19%)
T2F0 : 2,2 c	2 à 3 tiges/plant (CV = 19%)
T2F1 : 1,8 c	1 à 2 tiges/plant (CV = 22%)

*(Les chiffres suivis d'une même lettre ne sont pas significativement différents au seuil  $\alpha$  de 5%).*

On constate que les deux égourmandages réalisés le 22/07 et le 2/08 dans les traitements T2F0 et T2F1 ont permis de maintenir environ deux tiges en moyenne par plante après l'opération de taille survenue le 6/07. Chez T1F0, le nombre de tiges est légèrement supérieur à T2F0 et chez T1F1 il est égal à celui de T2F0. La différence de nombre de tiges entre les deux modalités de taille n'est pas significative. Il serait donc envisageable de ne tailler qu'une seule fois les plants de tomate et de s'abstenir ensuite d'égourmander, ce qui permettrait à l'agriculteur d'économiser du temps de travail. Ce résultat est néanmoins à confirmer car il a été obtenu sur une seule année d'expérimentation, et il convient également de le vérifier dans des situations de densité de peuplement proches de celles des pratiques paysannes.

### 5.2.3. Nombre de bouquets par plant

Comme la variable nombre de tiges par plant, le nombre moyen de bouquets par plant est également plus élevé chez les plants non taillés que les plants taillés (Figure III-47), avec environ 2,5 fois plus de bouquets chez les plants non taillés (T0). Ceci est en lien avec le nombre de tiges plus important chez T0 que chez T1 et T2.

L'analyse de variance révèle trois groupes distincts (test de Newman-Keuls au seuil  $\alpha$  de 5%) : le groupe de T0F0, le groupe de T0F1 et le groupe composé de T1F0, T1F1, T2F0 et T2F1. Indépendamment du type de fertilisation, on comptabilise seulement deux groupes : d'une part les plants taillés (T1 et T2) et d'autre part les plants non taillés (T0). Les variations intra-traitement sont plus ou moins élevées selon les traitements :

Figure III-48 : Nombre moyen de bouquets par numéro de tige en fonction du traitement dans l'essai taille.

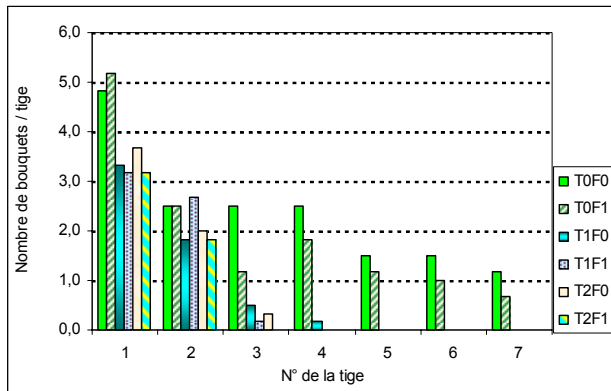


Figure III-49 : Nombre moyen de fruits par numéro de tige en fonction du traitement dans l'essai taille.

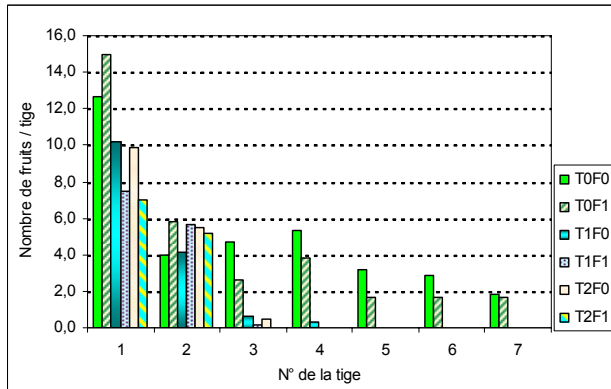


Tableau III-23 : Poids moyen (Pds) en g des fruits commercialisables (FC) et des fruits non commercialisables (FNC) par traitement dans l'essai taille.

Traitement	Pds FC+FNC	Pds FC	Pds FNC
T0F0	108	124	92
T0F1	102	112	90
T1F0	121	127	113
T1F1	113	126	98
T2F0	100	124	77
T2F1	90	116	58

Moyenne	Ecart
T0F0 : 16,5 <i>a</i>	11 à 21 bouquets/plant (CV = 20%)
T0F1 : 13,5 <i>b</i>	7 à 21 bouquets/plant (CV = 35%)
T1F0 : 5,8 <i>c</i>	4 à 9 bouquets/plant (CV = 33%)
T1F1 : 6,0 <i>c</i>	5 à 7 bouquets/plant (CV = 15%)
T2F0 : 6,0 <i>c</i>	3 à 10 bouquets/plant (CV = 42%)
T2F1 : 5,0 <i>c</i>	3 à 6 bouquets/plant (CV = 22%)

(Les chiffres suivis d'une même lettre ne sont pas significativement différents au seuil  $\alpha$  de 5%).

#### 5.2.4. Nombre de bouquets et de fruits par tige

En décomposant le nombre de bouquets par tige, on constate que, globalement, le nombre de bouquets diminue avec le numéro d'ordre croissant de tige (c'est-à-dire dans l'ordre d'apparition des tiges au cours du développement de la plante). Le nombre maximum de bouquets par tige se trouve sur la première tige (Figure III-48), tout comme le maximum de fruits est observé sur la première tige (Figure III-49). Dans l'ordre décroissant du nombre de bouquets par tige, c'est la tige n° 2 qui possède le plus de bouquets pour l'ensemble des traitements (excepté T0F0 qui porte presque autant de bouquets sur les tiges n° 2, 3 et 4).

En ce qui concerne le nombre moyen de fruits par tige, on constate que c'est la tige n° 2 qui porte le plus de fruits après la tige n°1 pour l'ensemble des traitements, sauf pour le traitement T0F0 où c'est la tige n° 4 qui suit la tige n°1.

Il est donc important de bien gérer les pratiques culturales pour pouvoir récolter les fruits sur les premiers bouquets émis. Le stade nouaison à grossissement des premiers fruits sur les deux premières tiges constitue un stade clé dans l'élaboration du rendement.

#### 5.2.5. Nombre de fruits par plant

Le nombre moyen total de fruits par plant (FC + FNC) et celui de fruits commercialisables par plant (FC) sont les plus élevés pour les modalités T0F0 et T0F1, respectivement 34,5 et 17,5 pour T0F0, 32,3 et 17,7 pour T0F1. (Figure III-46 ; Tableau III-22). Le nombre total de fruits par plant dans les autres traitements varie de 12,1 à 15,8.

L'analyse de variance a montré que les traitements T0F0 et T0F1 sont statistiquement homogènes mais significativement différents des quatre autres traitements T1F0, T1F1, T2F0 et T2F1, ces derniers appartenant au même groupe (test de Newman-Keuls au seuil  $\alpha$  de 5%). Il n'y a donc aucune différence significative entre les deux modalités de taille T1 et T2.

#### 5.2.6. Poids moyen du fruit par plant

Le poids moyen du fruit a varié de 112 à 127 g en catégorie commercialisable (FC) et de 58 à 113 g en catégorie non commercialisable, selon le traitement. En confondant les deux catégories (FC+FNC), le poids moyen du fruit s'étend de 90 à 121 g (Tableau III-23).

Les analyses de variance faites sur les variables « poids moyen des fruits commercialisables » et « poids moyen des fruits FC+FNC » n'ont révélé aucune différence significative entre les différents traitements. La taille dans les traitements T1 et T2 n'a pas entraîné de phénomène de compensation intra-plant en augmentant le poids moyen des fruits sur les tiges restantes, par rapport aux plants non taillés (T0). Le profil des calibres de fruits par bouquet sera examiné au prochain paragraphe.

Tableau III-24 : Contribution des trois premières tiges à l'élaboration de la production en pourcentage du nombre total de fruits par plant dans l'essai taille.

traitement	numéro de tiges				
	1	2	3	1 et 2	1, 2 et 3
T0F0	37%	12%	14%	48%	62%
T0F1	46%	18%	8%	64%	73%
T1F0	66%	27%	4%	93%	98%
T1F1	56%	43%	1%	99%	100%
T2F0	62%	35%	3%	97%	100%
T2F1	58%	42%		100%	

Tableau III-25 : Contribution des bouquets par rang de tige à l'élaboration de la production en pourcentage du nombre total de fruits par plant (A) et du poids total de fruits par plant (B) dans l'essai taille.

A - Contribution en pourcentage du nombre total de fruits							B - Contribution en pourcentage du poids total de fruits						
Traitement	Numéro de tige	Numéro de bouquet					Traitement	Numéro de tige	Numéro de bouquet				
		1	2	3	1 et 2	1, 2 et 3			1	2	3	1 et 2	1, 2 et 3
T0F0	1	18%	11%	6%	29%	34%	T0F0	1	20%	11%	5%	31%	36%
	2	6%	4%	1%	10%	12%		2	9%	5%	1%	14%	14%
T0F1	1	22%	18%	5%	39%	44%	T0F1	1	22%	20%	4%	43%	47%
	2	9%	8%	1%	17%	18%		2	10%	5%	1%	15%	16%
T1F0	1	24%	27%	12%	51%	63%	T1F0	1	24%	28%	10%	52%	62%
	2	17%	9%	2%	26%	28%		2	20%	7%	1%	27%	29%
T1F1	1	29%	13%	11%	41%	53%	T1F1	1	29%	15%	7%	44%	51%
	2	23%	18%	3%	40%	43%		2	28%	17%	1%	44%	45%
T2F0	1	25%	20%	9%	45%	54%	T2F0	1	30%	19%	9%	49%	58%
	2	25%	8%	0%	33%	33%		2	24%	7%	0%	31%	31%
T2F1	1	23%	23%	8%	47%	55%	T2F1	1	25%	16%	6%	41%	47%
	2	23%	15%	4%	38%	42%		2	27%	19%	5%	46%	51%

### 5.2.7. Contribution préférentielle des tiges et des bouquets à la production par plant

Le tableau III-24 présente la contribution des premières tiges à la production d'un plant de tomate en pourcentage du nombre total de fruits par plant. Le pourcentage de fruits par tige est beaucoup plus élevé sur la tige n° 1 quel que soit le traitement. Il est plus important (56% à 66%) dans les traitements T1 et T2 (plantes taillées et tuteurées) où le nombre moyen de tiges par plant est faible (1,8 à 2,7 tiges selon le traitement).

Chez les plantes non taillées (T0), la contribution de la première tige (37% et 46%) est plus faible comparativement aux traitements T1 et T2, ce qui est attendu compte tenu que les plantes non taillées portent presque trois fois plus de tiges que les plantes taillées. La moitié environ de la production totale est cependant portée par les deux premières tiges émises (sur un total de 7) chez T0 : 48% chez T0F0 et 64% chez T0F1.

En examinant le profil du nombre de fruits par numéro de tige, on observe que le nombre de fruits (nbF) est le plus élevé sur la première tige et tend à diminuer sur les autres tiges dans leur ordre chronologique d'apparition (nbF T1>nbFT2>nbFT3>nbFT) : il y a globalement plus de fruits sur la première tige que sur les tiges produites en fin de cycle.

Le tableau III-25 fait apparaître la contribution des trois premiers bouquets sur les tiges n° 1 et n° 2 en termes de nombre et de poids de fruits par rapport à la production totale d'un plant. Quelle que soit la tige, c'est le bouquet n° 1 qui contribue le plus à la production par rapport aux bouquets n° 2 et n° 3 pris séparément, aussi bien en nombre de fruits qu'en poids de fruits, sauf pour le traitement T1F0 où c'est le bouquet n° 2 de la tige n° 1 qui offre la meilleure contribution (28%).

Chez T0F0 et T0F1, la contribution en poids des deux premiers bouquets sur les deux premières tiges est respectivement de 45% et 58% de la production totale du plant. Chez les plantes taillées T1F0, T1F1, T2F0 et T2F1, elle est respectivement de 79%, 88%, 80% et 87%.

A partir du nombre de fruits comptés sur chaque bouquet (Bqt) et de leur poids global, nous avons calculé le poids moyen du fruit (en g) pour chaque bouquet de chaque tige. Il s'avère que le poids moyen du fruit, toutes tiges confondues, est plus élevé sur le premier bouquet émis et tend à diminuer sur les bouquets suivants. Cette tendance est indépendante du mode de conduite de la végétation :

Bqt1 – Bqt 2 – Bqt 3  
 T0F0 : 118 g – 92 g – 46 g  
 T0F1 : 106 g – 90 g – 88 g  
 T1F0 : 127 g – 108 g – 91 g  
 T1F1 : 124 g – 123 g – 60 g  
 T2F0 : 108 g – 86 g – 60 g  
 T2F1 : 101 g – 88 g – 90 g

En revanche, si on analyse le poids moyen du fruit pour chaque tige prise séparément, on s'aperçoit que dans certains cas, c'est le bouquet n° 2 qui offre le meilleur calibre de fruit (5 à 21% de poids de plus).

En comparant les poids moyens des fruits des bouquets 1 à 3 du traitement T0 (F0 et F1 confondus) avec ceux du traitement T2 qui est celui de la taille paysanne, il s'avère que les différences de calibre entre ces deux traitements sont faibles et statistiquement non significatives : 112 g pour T0 et 105 g pour T2 sur le premier bouquet, 91 g (T0) et 87 g (T2) sur le bouquet 2, 67 g (T0) et 75 g (T2) sur le bouquet 3. L'absence de taille n'a donc pas entraîné de diminution du calibre de fruit en comparaison à la pratique de taille paysanne. Ce résultat dément l'idée des agriculteurs qui pensent que la taille et le tuteurage sont absolument nécessaires pour pouvoir obtenir de gros fruits. Ils sont très réticents pour cette raison à cultiver la tomate sans la tailler, ni la tuteurer.

Cet essai n'a été conduit qu'une seule année en station, et il conviendrait de vérifier ces résultats avant de proposer aux agriculteurs de nouveaux modes de conduite de la tomate moins exigeants en main-d'œuvre et garantissant une qualité de production. Il est également nécessaire de mener parallèlement des essais de non taille chez les agriculteurs en prenant en considération la variabilité des conditions de milieu et d'interférence avec les autres techniques. Ce type d'essai peut aussi avoir effet de démonstration d'une nouvelle technique de production pour les agriculteurs.

### 5.3. Conclusion

La production par plant de la conduite sans taille (T0) a été statistiquement supérieure aux deux autres modes de conduite de la végétation avec taille (T1 et T2). Cette supériorité de la production chez T0 est liée au nombre total de fruits par plant, lui-même lié au nombre de tiges par plant et au nombre de bouquets par plant plus élevés que chez T1 et T2. En revanche, le « poids moyen du fruit » n'est pas significativement différent entre les traitements.

Les deux premiers bouquets des deux premières tiges ont porté 45 à 88% de la production, les contributions les plus fortes ayant été enregistrées chez les plantes taillées où le nombre moyen de tiges par plant est proche de 2. Ce résultat est concordant avec ce que nous avons obtenu en parcelles paysannes (49 à 89%). Par ailleurs, nous avons observé comme cela a été le cas dans les parcelles paysannes, que le poids moyen du fruit, toutes tiges confondues, est plus élevé sur le premier bouquet émis et tend à diminuer sur les bouquets suivants, quel que soit le mode de conduite de la végétation. Chez les plantes non taillées, on a aussi observé que la première tige avait tendance à porter davantage de fruits que les dernières tiges émises. Ce constat, également fait en parcelles paysannes, est à mettre en relation avec le mode de croissance des variétés de type déterminé.

La taille « légère » (T1) par rapport à la pratique paysanne (T2), caractérisée par une absence d'ébourrage et d'effeuillage des plants après l'opération de taille, n'a présenté aucun effet dépressif sur les composantes du rendement en comparaison au traitement T2. Les analyses de variance faites sur les variables « production par plant », « nombre de tiges par plant », « nombre de bouquets par plant », « nombre de fruits par plant » et « poids moyen du fruit » n'ont pas mis en évidence de différence entre les deux modalités de taille T1 et T2.

Ces résultats présentent un intérêt technique et économique. En effet, il serait possible d'accroître la production et de diminuer le temps de travail affecté à la culture par d'autres modes de conduite de la végétation (aucune taille, taille légère, ...). Néanmoins, ils sont à confirmer car l'essai a été mené une seule année et avec une densité de peuplement (0,44 plant/m<sup>2</sup>) de loin inférieure aux densités moyennes généralement pratiquées (2,2 à 3 plants/m<sup>2</sup>).

## 6. Expérimentation en parcelles paysannes (campagne 2005) sur l'influence des traitements phytosanitaires sur l'état sanitaire du peuplement

Nous traitons ici les résultats de l'essai d'évaluation de l'impact de différentes modalités de traitements phytosanitaires sur l'état sanitaire des peuplements de tomates et *in fine* sur les composantes du rendement. Deux modalités de traitements ont été mises en comparaison dans quatre couples de parcelles : TC est le témoin avec un planning de traitements préventifs que nous avons réalisé, et TP est le programme de traitements conduit par l'agriculteur. Les quatre couples de parcelles sont répartis chez les agriculteurs Inr, Lep, Mhs et Ord comme suit :

Code parcelle	Modalité	N° du couple
Inr1	TC	1
Inr2	TP	
Lep3	TC	2
Lep2	TP	
Mhs2	TC	3
Mhs1	TP	
Ord2	TC	4
Ord3	TP	

### 6.1. Pratiques de traitements et état sanitaires des parcelles

Le nombre de traitements dans les parcelles TP a varié de 7 (Mhs) à 12 (Ord2) (Tableau III-26). Il varie selon la durée du cycle plantation-récolte et selon que l'agriculteur traite ou ne traite pas pendant la période des récoltes. Seuls Mhs1 et Lep2 n'ont pas traité pendant cette période.

Chaque traitement est généralement constitué du mélange d'un insecticide avec un fongicide. Les paysans utilisent souvent les mêmes matières actives et leur nombre varie de deux à quatre : Mhs1 utilise deux insecticides (Décis<sup>®</sup> et Karaté<sup>®</sup>) et deux fongicides (Dithane<sup>®</sup> M45 et Bouillie Bordelaise<sup>®</sup>) sur tout le cycle ; Ord3, Inr3 et Lep2 utilisent respectivement trois, deux et quatre insecticides avec trois, quatre et quatre fongicides. Dans les parcelles TC, nous avons effectué neuf traitements à l'exception d'Ord où un traitement insecticide supplémentaire a été effectué. Les programmes détaillés de traitements des quatre couples de parcelles sont présentés en annexe 10. Le programme TC se démarque des pratiques paysannes par une gamme de matières actives plus large. Deux insecticides (Vertimec<sup>®</sup>, Endor<sup>®</sup>), un acaricide (Callifol<sup>®</sup>) et deux fongicides (Orzin Légumes<sup>®</sup> et Ortiva<sup>®</sup>) ont complété la gamme de pesticides couramment utilisés par les agriculteurs.

On observe au stade floraison que les parcelles TC présentent un bon état sanitaire avec un indice parasitaire égal à 1, exception faite de Mhs2 avec un indice égal à 3. Les parcelles TP de Ord3 et Mhs1 sont également classées 3, mais celles de Lep2 et Inr2 sont dans un bon état sanitaire avec un indice égal à 1. En revanche, à partir de la récolte, quel que soit le programme de traitements qui a été réalisé, toutes les parcelles sont infestées avec un indice égal à 5. On observe des taches fongiques, causées par la coryneporiose et l'alternariose, sur les feuilles et les tiges. Les traitements phytosanitaires préventifs n'ont donc pas empêché les infestations parasitaires.

Cependant, l'indice parasitaire M3 est atteint plus tardivement dans les parcelles TC que TP de Inr et Ord : 67 jours après plantation (JAP) chez Inr1 (TC1), 51 JAP chez Inr2 (TP1), 63 JAP chez Ord2 (TC4) et 28 JAP chez Ord3 (TP4) (Tableau III-26). Chez les couples Lep et Mhs, l'intervalle P-M3 varie peu : 42 jours chez Lep3 (TC2), 49 jours chez Lep2 (TP2), 41 jours chez Mhs2 (TC3) et 40 jours chez Mhs1 (TP3).

Tableau III-26 : Nombre de traitements phytosanitaires réalisés et état sanitaire des peuplements dans les quatre couples de parcelles paysannes suivis en 2005.

Code agri	Couple	variété	Nb trait. P à Ri	Nb tot trait. P à Rf	Nb m.a. insecticides	Nb m.a. fongicides	Indice phyto à Flo	Indice phyto à Ri	intervalle P-M3 (j)	durée (j) P-dernier trait.	durée P-Rf (j)	durée (j) récoltes
<b>INR P1</b>	TC1	Mongal	6	9	5	5	1	5	67	87	130	61
INR P2	TP1	Mongal	8	11	2	4	1	5	51	83	95	28
<b>LEP P3</b>	TC2	Mongal	6	9	5	5	1	5	42	91	108	41
LEP P2	TP2	Mongal	9	9	4	4	1	5	49	57	109	41
<b>MHS P2</b>	TC3	Carioca	6	9	5	5	3	5	41	89	98	28
MHS P1	TP3	Carioca	7	7	2	2	3	5	40	63	83	13
<b>ORD P2</b>	TC4	Mongal	7	10	5	5	1	5	63	98	128	64
ORD P3	TP4	Mongal	10	12	3	3	3	5	28	84	98	34

Légende : P : plantation ; Ri : 1<sup>ère</sup> récolte ; Rf : dernière récolte ; m.a. : matière active ; Nb : nombre

Tableau III-27 : Valeurs moyennes des composantes du rendement dans les quatre couples de parcelles paysannes suivies en 2005.

Code agri	Couple	variété	rendt bio (t/ha)	rendt FC (t/ha)	% pertes	Nb-tot F/m <sup>2</sup>	Nb-FC/m <sup>2</sup>	Nb bqts/m <sup>2</sup>	Pmf pondéré (g)	Pmf FC (g)	LAI à Flo	LAI à Ri
<b>INR P1</b>	TC1	Mongal	67,56	58,39	13,6%	99,5	79,3	53,5	68,0	73,7	2,2	3,9
INR P2	TP1	Mongal	49,64	40,27	18,9%	71,6	51,0	41,8	69,7	78,9	2,0	3,5
<b>LEP P3</b>	TC2	Mongal	24,87	19,10	23,2%	55,9	29,2	35,0	44,7	65,4		3,3
LEP P2	TP2	Mongal	17,36	12,68	26,9%	36,3	20,6	35,3	47,1	60,9		2,6
<b>MHS P2</b>	TC3	Carioca	31,27	21,32	31,8%	54,0	25,3	34,0	57,9	84,2	3,9	3,1
MHS P1	TP3	Carioca	28,21	16,45	41,7%	36,2	15,3	50,0	77,9	109,0	3,3	3,0
<b>ORD P2</b>	TC4	Mongal	89,06	78,83	11,5%	134,6	102,2	66,4	67,8	79,1	3,8	4,2
ORD P3	TP4	Mongal	22,45	19,94	11,2%	41,1	32,3	40,5	54,5	62,3	2,8	3,6

Légende : Ri : 1<sup>ère</sup> récolte ; Rendt FC : rendement en fruits commercialisables ; Nb-FC : nombre de fruits commercialisables ; Nb bqts : nombre de bouquets ; Pmf FC : poids moyen des fruits commercialisables ; Pmf pondéré : poids moyen du fruit tous types confondus (commercialisables et non commercialisables).



Ces différences traduiraient une vitesse plus lente d'infestation du peuplement par les maladies fongiques et les ravageurs dans les parcelles TC que TP, à mettre vraisemblablement en relation avec la diversité des matières actives (insecticides et fongicides) utilisées dans le programme TC, le spectre d'action plus large des matières actives sélectionnées, et un meilleur positionnement des produits par rapport aux risques parasitaires.

On constate dans trois couples (Inr, Mhs, Ord) sur quatre que la durée des récoltes a été presque deux fois plus longue dans les parcelles TC que TP, ce qui traduirait une meilleure activité de l'appareil végétatif (et photosynthétique) et de l'appareil reproducteur du peuplement. On constate en effet que les LAI aux stades floraison et début de récolte sont plus élevés dans les parcelles TC (respectivement 2,2 à 3,9 et 3,1 à 4,2) que dans les parcelles TP (2 à 3,3 et 2,6 à 3,6) (Tableau III-27).

## 6.2. Impact sur les composantes du rendement

Pour les quatre couples de parcelles, les rendements ont été supérieurs dans les parcelles TC. L'analyse des composantes du rendement montre que le nombre total de fruits par m<sup>2</sup> est plus élevé dans les traitements TC (Tableau III-27). Ce nombre de fruits plus élevé est lié positivement au nombre de bouquets par m<sup>2</sup>. Néanmoins, chez le couple Mhs1/Mhs2 le nombre de bouquets par m<sup>2</sup> est plus faible dans le traitement TC (Mhs2) que le traitement TP (Mhs1). Dans le cas de Mhs2 où le nombre de bouquets par m<sup>2</sup> est le plus faible, le nombre de fruits par bouquet est cependant plus élevé que chez Mhs1, ce qui explique un nombre de fruits par m<sup>2</sup> plus élevé chez Mhs2. Cela pourrait être imputé à un meilleur taux de nouaison ou alors par des pertes moins importantes de fruits par bouquet au cours de leur grossissement. Ces pertes peuvent être causées par des piqures d'insectes ou par des pourritures de fruits. Chez le couple Lep3/Lep2, les nombres de bouquets par m<sup>2</sup> sont presque identiques entre les deux parcelles. La variation du nombre de fruits par m<sup>2</sup> s'explique là aussi par le nombre de fruits par bouquet et par la densité de peuplement. Le poids moyen des fruits entre les modalités TC et TP varie surtout entre Mhs2 et Mhs1 et entre Ord2 et Ord3.

La différence entre les rendements biologiques et les rendements commerciaux montre une variation de pertes de fruits de 11,2 à 41,7% selon les parcelles. Ce sont les parcelles TC qui manifestent les plus faibles pertes à l'exception du couple Ord2/Ord3 où les pertes sont presque identiques, respectivement 11,5 et 11,2 % (Tableau III-27). En analysant les causes de dépréciation des fruits, on se rend compte que les pourcentages de fruits pourris et troués sont un peu moins importants chez les parcelles Lep3, Mhs2 et Ord2 appartenant à la modalité TC des traitements. Ce n'est pas le cas cependant chez Inr1 (modalité TC) où les fruits pourris et piqués sont plus importants que chez Inr2 (modalité TP). Il n'y a donc pas de relation entre la proportion de fruits piqués et pourris et la modalité de traitements.

On retient donc que c'est la composante nombre de fruits par m<sup>2</sup> qui explique le mieux la différence de rendement entre les parcelles TC et TP. Les valeurs les plus élevées du nombre de fruits par m<sup>2</sup> semblent s'expliquer par un meilleur état sanitaire des parcelles TC apprécié au travers de l'indicateur P-M3, mais seulement pour deux couples de parcelles sur quatre (Inr1/Inr2 et Ord2/Ord3), sans que cela puisse être relié au nombre de traitements ou de matières actives utilisés. Une protection phytosanitaire raisonnée contre les ravageurs et maladies foliaires permettrait donc d'accroître les surfaces vertes photosynthétiquement actives et de prolonger la phase générative et végétative, ce qui est illustré par les plus forts LAI relevés au stade Ri dans les parcelles de la modalité TC et par les phases de récolte plus longues dans les traitements TC. Ces résultats sont néanmoins à confirmer.

## 7. Conclusion sur le diagnostic agronomique en parcelles paysannes

Les rendements observés dans notre réseau de parcelles sur deux années, représentant des conditions de climat, de sols et de systèmes de culture diversifiés, ont été très contrastés (0,7 t/ha à 89 t/ha de fruits frais). Cependant, l'analyse du climat a montré qu'il n'a pas été un élément déterminant de la variation des rendements.

Les variations de rendement s'expliquent principalement par la variable nombre de fruits par m<sup>2</sup>, le poids d'un fruit apparaissant beaucoup moins variable. Les variations du nombre de fruits sont en partie déterminées par le nombre de bouquets par m<sup>2</sup>, lequel est conditionné par le nombre de tiges par m<sup>2</sup> lui-même lié au nombre de pieds par m<sup>2</sup>.

L'analyse faite à l'échelle de la plante a confirmé le rôle prépondérant de la composante « nombre de fruits » dans l'élaboration du rendement, elle-même liée au nombre de tiges sur la plante. L'analyse du profil de bouquets a montré que les deux premiers bouquets des deux premières tiges pouvaient expliquer environ 70 % de la production, avec cependant une variation importante du nombre de fruits par bouquet : 1,4 à 3 fruits en moyenne par bouquet selon sa position sur la tige, les valeurs extrêmes sur l'ensemble de ces 4 bouquets étant de 0,4 à 4,4 fruits par bouquet (CV = 30 à 55%). On a relevé que le nombre moyen de fruits par bouquet était généralement supérieur sur le premier bouquet apparu sur une tige (c'est-à-dire le plus ancien), quel que soit le rang de la tige, et tendait à diminuer avec l'âge d'apparition du bouquet sur la tige (du plus âgé au plus jeune). De même les dernières tiges apparues sur la plante portent moins de bouquets et de fruits que la première tige (c'est-à-dire la plus âgée). Les données acquises dans l'essai taille réalisé en station en 2004 confirment ces résultats. En effet, quel que soit le mode de conduite de la végétation, avec ou sans taille, les deux premiers bouquets des deux premières tiges contribuent fortement à la production du plant : environ 50% pour les plants non taillés, plus de 80 % pour les plants taillés.

Le suivi de l'évolution du nombre de tiges et du nombre de bouquets, aussi bien dans le réseau de parcelles que dans l'essai taille en station, a montré que les valeurs maximales étaient atteintes vers le début de la phase de récolte, déterminant ainsi la période floraison-début de récolte comme essentielle pour l'élaboration du rendement, voire la période précédente pour des états du milieu ou des techniques culturales qui ont pu influencer les variations des composantes du rendement.

Dans la gamme des densités de peuplement explorée dans notre étude, il n'a pas été relevé de phénomène de compensation de production entre plants ni entre tiges d'un même plant lorsqu'il y a eu une diminution du nombre de tiges suite à des opérations de taille/égourmandage ou suite à des mortalités de plant en cours de culture. Il serait donc possible d'augmenter le rendement en jouant sur la densité du nombre de tiges ou de pieds.

Le nombre de tiges n'évolue pas librement en cours de culture. En effet, par les pratiques de taille et d'égourmandage, l'agriculteur qui semble davantage gérer un peuplement de tiges qu'un nombre de pieds de tomate, influence fortement l'évolution des nombres de tiges et de fruits par plant. La variabilité du nombre de tiges dans le réseau peut donc s'expliquer d'une part par la densité de peuplement, et d'autre part par les interventions directes de l'agriculteur sur le peuplement.

Ces interventions sur la végétation ont également pour conséquence de masquer pour partie l'influence de la variété sur le nombre de fruits. En ce sens, la diversité variétale dans le réseau de parcelles n'a pas posé de problème pour le diagnostic.

Des variations nettes d'indice de nutrition azotée des peuplements ont été observées en cours de culture en 2005. Globalement faibles en début de cycle (50% des peuplement d'indice < 0,9), les INN ont été élevés dans tous les peuplements aux stades floraison, grossissement des fruits et début de récolte (1,4 à 3,7), sans qu'on puisse cependant relier ces valeurs aux teneurs des sols en azote et en matière organique, ni aux quantités d'engrais et de fumier apportées aux plants. Les analyses de sol (dans la

couche 0-20 cm) et les apports azotés sous forme d'engrais et/ou de fumier ont fait ressortir qu'il n'y avait pas de risque de carence azotée. De même, les variations des teneurs des peuplements en P et K n'ont pu être reliées aux variations des teneurs du sol en ces éléments, ni avec les variations des composantes du rendement (nombre de fruits, poids moyen du fruit).

La tendance observée à l'augmentation du LAI avec les valeurs croissantes d'INN aux stades floraison et début de récolte où les besoins de la tomate en azote sont élevés, laissent à penser qu'une bonne alimentation azotée ( $INN > 1$ ) favorise la croissance foliaire et l'activité photosynthétique, sans pour autant pénaliser la croissance des fruits. En effet, il a été observé une augmentation du nombre total de fruits par m<sup>2</sup> avec l'augmentation du LAI. Par contre, les indices croissants d'azote n'ont pas entraîné d'augmentation du poids moyen des fruits.

Cependant, il faut souligner que les INN n'ont été calculés que sur une seule année, et il convient par conséquent d'être prudent dans l'utilisation de ces résultats. Par ailleurs, la méthode de calcul de l'INN se base sur la courbe de dilution critique de l'azote établie par Tei *et al.* (2002) dans la région centrale d'Italie où les conditions climatiques et de sols sont différents de celles de Mayotte. La variété utilisée dans l'expérimentation était une variété de conserve (de type déterminé), différente de celles cultivées à Mayotte. Il n'est pas à exclure que l'équation d'une courbe de dilution critique de l'azote établie dans les conditions de Mayotte et avec les variétés cultivées sur l'île soit différente de celle obtenue par Tei *et al.* (2002). Cette hypothèse serait à vérifier.

Les bilans hydriques réalisés dans l'ensemble des parcelles du réseau a révélé des périodes de stress hydriques à partir de la floraison dans 20% des parcelles environ, sans qu'on ait pu relier ces situations particulières avec l'évolution des composantes du rendement. Par contre, pendant la première phase du cycle cultural (plantation-floraison), les plantes se trouvent dans un confort hydrique généré par les irrigations excessives. L'absence de la prise en compte des éventuels drainages et remontées capillaires dans le calcul du bilan hydrique pose la limite de notre approche de l'évaluation des stress hydriques par cette méthode. L'installation de tensiomètres dans une parcelle du dispositif a permis de déceler des remontées capillaires et un faible drainage. Cela pourrait expliquer pourquoi nous n'avons pas trouvé de relation entre les variations des composantes du rendement et les périodes de stress hydriques théoriques.

L'examen des profils racinaires a montré que la colonisation racinaire se limitait au volume de terre travaillée lors du creusement du trou de plantation. Ces résultats montrent qu'il serait possible de réduire les apports d'eau (en fréquence et en dose) en début de cycle, avec comme avantage d'économiser du temps de travail (l'arrosage représentant plus du quart des temps de travaux), de réduire la pénibilité du travail (arrosages moins fréquents) et d'économiser la ressource. Un essai d'irrigation de la tomate, conduite en station en 2004, (Anfray, 2004) a montré qu'il était possible de réduire la dose journalière, comparativement à la pratique paysanne moyenne, sans affecter le rendement, ni la qualité commerciale des fruits.

L'évaluation de l'impact des maladies et ravageurs sur l'état sanitaire du peuplement a été possible avec une échelle de notation exprimant des classes de pourcentage de plantes portant des symptômes d'agressions diverses de maladies et ravageurs sur l'appareil foliaire (essentiellement des nécroses foliaires). Cet indicateur globalisant a pu montrer que le rendement tendait à être meilleur avec le retard d'infestation des peuplements par les parasites foliaires (notamment les champignons). Pour autant, l'évolution de l'état sanitaire des peuplements n'a pu être reliée aux pratiques phytosanitaires. On a constaté seulement que les LAI avaient tendance à être élevés quand les plantes exprimaient un faible indice de parasitisme. Ce constat est à rapprocher des pratiques d'effeuillage des agriculteurs qui tendent à effeuiller davantage les plants lorsqu'ils observent, entre deux dates d'effeuillage, une progression du nombre de taches dues à des parasites sur les feuilles (notamment les jeunes feuilles). Comme nous l'avons montré à la partie précédente, la décision d'intensifier l'effeuillage est une réaction à l'intensification de la pression parasitaire. L'agriculteur s'adapte ainsi à une situation imprévue.

L'absence de relation entre les applications de pesticides et l'état sanitaire des peuplements pourrait être liée au fait que les agriculteurs ne maîtrisent pas les traitements (cf. Partie 2) : mauvais choix des produits et des dosages, mauvais positionnement des traitements, difficulté d'approvisionnement en pesticides,... Cette absence de relation pourrait aussi s'expliquer par le caractère imprécis et trop globalisant de l'indicateur M3 à moins que cette absence de relation s'avère tout

simplement normale. Il serait peut être plus pertinent de considérer séparément chacun des ravageurs et maladies, ce qui nécessite au minimum de pouvoir reconnaître les différents bioagresseurs et leurs symptômes, de quantifier les dégâts et de pouvoir évaluer leur impact sur le fonctionnement du peuplement. Compte tenu de la diversité des bioagresseurs, une telle approche nécessite un lourd dispositif de suivi.

Le précédent cultural peut par contre influencer l'état sanitaire global du peuplement dans certains cas comme nous l'avons montré : l'absence de culture (friche, interculture de quelques mois) et le choix du riz comme précédent ont limité les infestations parasitaires dans certaines parcelles, mais pas dans d'autres, ce qui laisse supposer que d'autres facteurs ont été responsables des faibles niveaux d'infestations observés en début de récolte. Des études complémentaires sont nécessaires pour comprendre la dynamique d'infestation des peuplements par les bioagresseurs et leurs interactions notamment avec les pratiques de travail du sol et de gestion des résidus de culture.

## **QUATRIEME PARTIE : DISCUSSION GENERALE ET PERSPECTIVES**



Dans cette dernière partie, la discussion générale est structurée en deux chapitres : dans un premier temps, nous reviendrons sur les principaux résultats de la thèse au regard des hypothèses de recherche que nous avons formulées au début de ce travail ; dans un second temps, nous tenterons de tirer de nos résultats et de leur confrontation à la bibliographie, des éléments d'évolution des systèmes de culture avec tomate d'une part, et les perspectives de recherche scientifiques et opérationnelles d'autre part.

## **CHAPITRE I: UNE DEMARCHE COMBINANT ANALYSE DES DECISIONS TECHNIQUES ET DIAGNOSTIC AGRONOMIQUE POUR FAIRE EVOLUER LES PRATIQUES CULTURALES**

Au cours de cette étude nous avons adopté une posture originale en combinant, dans les mêmes exploitations agricoles, l'analyse des règles de décision des agriculteurs sur la conduite culturale de la tomate et la réalisation du diagnostic agronomique sur les causes de variabilité du rendement de cette même culture, avec comme intérêt opérationnel de proposer des solutions techniques d'amélioration de la production compatibles avec la manière dont les agriculteurs prennent leurs décisions.

### **1. Retour sur les hypothèses**

#### **1.1. L'accès aux ressources productives pèse sur la conception et la conduite des systèmes de culture maraîchers**

Nous avons montré dans la première partie que la diversité des systèmes de culture maraîchers et des modes de conduite de la tomate dépendaient de l'accès aux ressources productives qui recouvrent essentiellement l'accès au foncier (au moins pour une certaine catégorie de producteurs), à l'eau, aux intrants (semences, engrais, pesticides), à la main-d'œuvre temporaire (surtout pour des interventions sur la végétation) et aux équipements agricoles (pour le labour mécanisé). Les agriculteurs sont confrontés chaque année à des problèmes de rupture d'approvisionnement en intrants et de manque de disponibilité de tracteurs. Face à la répétitivité de ces contraintes d'une année à l'autre, les agriculteurs s'adaptent en enrichissant leur modèle prévisionnel de conduite de la culture par des solutions de rechange.

L'incertitude sur le foncier joue à plusieurs niveaux : sur les successions de culture, sur les variables décisionnelles « taille sole tomate » et « nombre de cycles successifs » à l'échelle de la parcelle, et sur des décisions de conduite technique. Chez les agriculteurs qui n'ont pas de garantie foncière (en termes de durée d'occupation du terrain et de surfaces cultivables), surtout les agriculteurs des types b2gf2 et b2gf4, l'incertitude sur le foncier peut se traduire par une maximisation de la sole tomate par rapport à la zone cultivable et par la succession de deux cultures de tomate sur la même parcelle (NCS = 2). On observe le plus souvent un seul cycle de tomate sur une même parcelle pendant toute la saison sèche avec un nombre de cycles successifs pouvant atteindre trois pour les cultures à cycle courts (laitue et brèdes), notamment chez les agriculteurs qui intensifient le plus (types b2/gf2, b1/gf1 et c/gf1) en réponse à des opportunités économiques (prix élevés à certaines périodes de l'année).

L'incertitude sur l'accès aux semences peut conduire l'agriculteur à produire ses propres graines de tomate en année n pour l'année n+1 en vue de démarrer les semis à la date prévue. Il peut se traduire aussi, et c'est le cas le plus fréquent, par un retard dans les dates de semis quand l'agriculteur ne parvient pas à trouver des semences dans le délai qu'il s'était fixé. La plantation de variétés qui n'étaient pas prévues initialement traduit également ce problème d'approvisionnement. La date de démarrage des premiers semis en pépinière est aussi fonction de la fin de saison des pluies que l'agriculteur prévoit mais ne maîtrise pas.

L'incertitude sur la ressource équipement joue surtout sur la décision de positionnement temporel de la date de travail du sol et se traduit par l'activation d'une solution de rechange (préparation manuelle du sol) quand une certaine date limite de plantation est dépassée.

L'incertitude sur la main d'œuvre d'appoint se traduit plutôt en termes de pilotage essentiellement dans les opérations de conduite du peuplement (opérations d'effeuillage, d'égourmandage ...) qui sont réalisés en respectant l'unité de gestion « plant ». Par manque de main-d'œuvre immédiate, les travaux sont étalés dans le temps sur la parcelle et il en découle un découpage de la parcelle de tomate en plusieurs sous-unités spatiales de pilotage. Ces adaptations par les techniques et les modes de décision se traduisent par des conséquences sur la variabilité intra parcellaire d'états du peuplement (que nous n'avons pas pu analyser ici), voire de production. Les conséquences des interventions manuelles sur la végétation (taille-égourmandage) ont été analysées en termes de variation du nombre de tiges et de fruits par plant dans le réseau de parcelles paysannes et a mis en évidence l'importance de la composante « nombre de tiges par plant » dans l'élaboration du rendement.

Les enquêtes d'exploitation et l'analyse des pratiques culturales de la tomate sur les deux années de suivi ont donc permis de vérifier l'hypothèse que l'incertitude sur l'accès aux ressources productives était source de variabilité des systèmes de culture et des modes de conduite de la tomate.

## 1.2. La conduite particulière de la végétation et la gestion de la pression parasitaire peuvent expliquer les variations des rendements.

Le diagnostic agronomique en parcelles paysannes a montré que le nombre de fruits par m<sup>2</sup> est la principale composante explicative de la variation des rendements, le poids moyen du fruit n'intervenant que très peu. Le nombre de fruits par m<sup>2</sup> est lié au nombre de bouquets par m<sup>2</sup>, lui-même lié au nombre de tiges par m<sup>2</sup>, lui-même lié à la densité de peuplement.

L'essai en station d'évaluation de l'effet des pratiques de taille-ébourgeonnage sur la production a montré que ces interventions, telles qu'elles sont pratiquées à Mayotte, limitent le rendement en diminuant fortement le nombre de fruits par plant par rapport à une conduite de la tomate sans taille. Le poids moyen des fruits n'a que peu varié entre les trois traitements testés (taille paysanne/tuteurage, taille légère/tuteurage, absence de taille), contrairement au nombre de tiges et au nombre de fruit par pied, révélant ainsi dans les conditions de cet essai la supériorité de la conduite sans taille : gain significatif de production, économie de temps de travail par rapport à la conduite avec taille.

Plusieurs auteurs (Slack et Calvert, 1977 ; Salek, 1980 ; Wolk *et al.*, 1983 ; Slack et Bézer, 1984 ; Regat, 1997 ; Navarrete, 1999) se sont intéressés à l'effet de l'effeuillage, ou de l'ablation de bouquets sur le rendement, mais pas à l'effet de la conduite de la tomate, taillée à plusieurs tiges, sur le rendement. On ne dispose pas non plus de bibliographie concernant l'effet de l'égourmandage sur le nombre de fruits et sur leur calibre, bouquet par bouquet, à l'échelle des tiges restantes. Par ailleurs, la plupart de ces recherches ont été faites en conditions contrôlées, en culture sous serre avec des variétés de type indéterminé.

L'effeuillage est une pratique généralisée dont les conséquences sur la production n'ont pu être évaluées. En effet, dans notre suivi des pratiques, il n'a pas été possible, pour des raisons de lourdeur de travail, de faire la part entre l'effeuillage et la suppression des gourmands en termes de quantification de biomasse prélevée. Les deux opérations sont menées en même temps et il y a probablement une interaction entre ces deux pratiques. Pour certains auteurs, l'effeuillage aurait un effet dépressif sur le rendement provenant essentiellement d'une réduction du poids moyen des fruits, et secondairement d'une diminution du nombre de fruits récoltés (Slack, 1980 ; Wolk *et al.*, 1983 ; Slack et Bézer, 1984). L'agriculteur y voit un intérêt en réduisant par cette pratique le nombre de feuilles infestées par des maladies fongiques et en réduisant la quantité de bouillie des traitements phytosanitaires (et par conséquent de pesticides). C'est une façon pour lui de s'adapter aux problèmes d'approvisionnement en pesticides et de réduire le coût des traitements phytosanitaires.



L'examen du profil de fruits dans les parcelles paysannes a montré que les deux premiers bouquets des deux premières tiges concentraient en moyenne plus de 70% de la production, suggérant ainsi la période pré-floraison-début de récolte comme étant une période sensible pour l'élaboration du rendement de la tomate en plein champ. L'importance des composantes « nombre de plants », « nombre de tiges par plant », « nombre de bouquets par tige », « nombre de fruits par bouquet » et des deux premiers bouquets des deux premières tiges dans l'élaboration du rendement est validée par l'essai taille en station.

La forte variabilité du nombre de fruits par bouquet n'a pu être expliquée. Elle pourrait être liée à des variations de taux de nouaison intra et inter bouquets et à des chutes de fruits dont les causes peuvent être d'ordre physiologique (transfert préférentiel d'allocation des assimilats), parasitaire (piques de jeunes fruits par des ravageurs tels que la mouche de la tomate, les noctuelles), climatique (températures élevées), agronomique (effet variétal) ou humain (chute accidentelle de fruits lors de la manipulation des tiges pour le tuteurage, l'effeuillage, l'ébourgeonnage). Des observations fines à l'échelle de la plante sont nécessaires pour vérifier ces hypothèses.

L'analyse de l'impact de l'état sanitaire des peuplements sur le rendement a montré que le nombre de fruits par m<sup>2</sup> (et le rendement) était assez bien corrélé avec la durée P-M3<sup>8</sup> (en jours). Dans un certain nombre de cas, le choix du riz comme précédent cultural ou l'absence de culture (friche ou interculture) ont permis d'avoir un faible niveau d'infestation des peuplements au moins jusqu'au début de la période de récolte. Le précédent cultural constituerait donc un élément du système de culture à prendre en considération pour limiter les infestations parasitaires. Nous n'avons pas pu expliquer l'état sanitaire des peuplements par les pratiques de traitements phytosanitaires (nombre de traitements, choix des produits), ce qui laisse à penser que les producteurs ne maîtrisent pas la protection sanitaire des cultures. Ce qui est confirmé par les pratiques de sur-dosage et sous-dosage, le choix inadapté des produits, le positionnement temporel non raisonné des produits. L'essai comparatif en parcelles paysannes de deux stratégies de traitements phytosanitaires a fait apparaître que les peuplements manifestaient un meilleur état sanitaire (au moins jusqu'en début de récolte) quand les traitements étaient raisonnés (choix des matières actives, dosage des pesticides, positionnement des produits). Les parcelles correctement protégées ont présenté d'importants gains de production par rapport aux parcelles paysannes.

### 1.3. Un exemple d'articulation entre décision technique et diagnostic agronomique : le nombre de tiges par m<sup>2</sup>

Nous avons montré au cours du travail de diagnostic l'importance de la composante « nombre de tiges par m<sup>2</sup> » dans la détermination du rendement. Que nous apprend l'analyse des pratiques sur l'origine de la variabilité de cette composante ? Quelles sont les pratiques pouvant limiter sa variabilité ? Quelles sont les ressources à mobiliser ?

La composante « nombre de tiges par m<sup>2</sup> » dépend en gros de deux catégories de décisions :

- celle de la densité de peuplement (modalités de plantation en simple ou double rang) liée à la disponibilité de la ressource foncière et aussi de la main-d'œuvre d'irrigation. En effet, on a observé que les agriculteurs qui présentent une situation foncière instable ont tendance à favoriser des densités élevées en plantant en double rang. Par ailleurs, ce mode de plantation permet de gagner du temps à l'arrosage en arrosant en même temps deux lignes de plantation, l'agriculteur avançant entre les rangs avec un arrosoir dans chaque main ;
- celle liée à la conduite de la végétation, où sauf exception, les agriculteurs ont tous recours à la taille, l'égourmandage et l'effeuillage. Pour des raisons sanitaires (élimination des feuilles malades, meilleure aération du feuillage, économie de la bouillie de traitement) et de ressources en main d'œuvre fluctuantes pour réaliser les chantiers combinés de conduite de la végétation, on peut observer de fortes hétérogénéités intra-parcellaires du nombre de tiges par m<sup>2</sup>. Du coup,

<sup>8</sup> P-M3 : indice combinant durée et intensité des attaques

l'insertion possible d'une culture conduite sans taille dans les exploitations renvoient à de nouvelles questions :

- celles de l'adaptation de la conduite de la végétation à des densités « paysannes » avec simple et double rang, ce qui nécessite des expérimentations densités-structures du peuplement pour pouvoir vérifier l'intérêt pour l'agriculteur de faire du double rang et des densités fortes quand il dispose de peu de ressources foncières.
- celles de la compensation sanitaire possible en situation d'absence de taille et d'effeuillage/égourmandage : l'agriculteur pourra-t-il dans ce cas compter sur des produits phytosanitaires en diversité et disponibilité suffisante pour se passer du rôle « sanitaire » possible de ces opérations. Se pose également la question de l'impact effectif des opérations d'effeuillage/égourmandage sur l'état sanitaire du peuplement. Répondre à ces questions serait important car ces opérations consomment beaucoup de temps et créent des hétérogénéités de peuplement dans les parcelles.

## 2. Domaine de validité des connaissances acquises

### 2.1. Le dispositif d'enquêtes sur les systèmes de culture

Bien que perfectibles, nos enquêtes ont permis de comprendre les prises de décisions relatives à la constitution des systèmes de culture maraîchers et à la conduite de la tomate. On peut en conclure que le modèle conceptuel fourni est valide, et met notamment en évidence des règles partagées. Cependant, il est fortement marqué par les formes d'adaptation *in situ* des agriculteurs, et saisir l'intégralité de ces formes nécessiterait des fréquences de présence d'enquête voire des modes d'enquête (enregistrement en continu, auto-enregistrement, etc.) qui n'étaient pas accessibles dans nos conditions.

On peut signaler plusieurs limites dans notre démarche. La première réside dans l'échantillonnage à deux égards :

- Le premier point est le nombre relativement réduit des agriculteurs enquêtés, ce qui ne permet pas de faire ressortir *a priori* toute la variabilité de la conduite de la tomate de plein champ à l'échelle de l'île. Nous avons volontairement écarté les agriculteurs du type A (essentiellement des femmes) dont les productions maraîchères sont peu tournées vers la vente mais plutôt vers l'autoconsommation. Compte tenu de la lourdeur du dispositif de prise de données, il aurait été très difficile de faire plus d'enquêtes sans que la qualité des données recueillies en pâtisse. On peut cependant retenir que les autres types d'agriculteurs enquêtés (types b1, b2, b3 et C) sont représentatifs de la diversité des systèmes de culture à vocation marchande, qui intéressent plus particulièrement les services de développement agricole.
- Le deuxième point est d'avoir travaillé avec des échantillons partiellement différents entre les deux campagnes avec un poids important des agriculteurs du type b2 en deuxième année. Ce choix a été contraint par la difficulté de trouver suffisamment d'agriculteurs pouvant effectivement cultiver de la tomate dès le début de la saison sèche et acceptant d'être enquêtés. Plusieurs agriculteurs enquêtés en 2003 n'ont pas cultivé de tomate en 2005, et d'autres n'ont pas voulu renouveler l'enquête-diagnostic. Seulement six agriculteurs enquêtés (dont deux du type b2) en 2003 sont ainsi communs à 2003 et 2005.

Une autre limite réside dans la collecte des données du fait des enquêtes parfois trop rapides, contraintes par la disponibilité des agriculteurs, mais aussi du fait que un seul agriculteur enregistre ses opérations culturales. On s'est basé sur la bonne foi des agriculteurs, sans pouvoir toujours vérifier la véracité des informations qui nous ont été transmises. Du fait que les agriculteurs ne notent rien, il a été également difficile de leur faire exprimer leur modèle prévisionnel de conduite de la tomate en début de campagne et nous avons souvent établi leur modèle prévisionnel après de fréquents entretiens.

## 2.2. Le dispositif de diagnostic agronomique

Nous avons pris des dispositions au départ de l'étude pour prospecter la diversité de sols et de climat, et on peut considérer que nos résultats concernent une large gamme de techniques et de milieux. En revanche, la portée de l'interprétation de certaines données se trouve limitée (par exemple : variations d'indice azoté, du LAI) car elles n'ont été acquises que sur une seule année (2005) pour des raisons de lourdeur du dispositif.

L'enregistrement des pratiques culturales auprès des six agriculteurs communs à 2003 et 2005 a montré que les pratiques culturales avaient peu varié entre les deux années. Par extrapolation, on peut admettre que les systèmes de culture de la région (au sens de la méthode du diagnostic agronomique) ont peu changé d'une année à l'autre, et que les échantillons sont représentatifs de la diversité des systèmes de culture.

Nous avons fait le choix de réaliser le diagnostic agronomique à partir des outils actuellement disponibles, après avoir pris connaissance de la littérature sur le fonctionnement de l'espèce et sur les méthodes de diagnostic agronomique régional. Certains outils se sont révélés utiles (analyse des composantes du rendement, profils racinaires), mais d'autres n'ont pas permis de comprendre totalement les relations entre les variations d'état du milieu et le fonctionnement du peuplement et les conséquences sur les composantes du rendement, soit parce qu'ils ne sont pas adaptés localement (probablement la formule de Tei *et al.* (2002) pour le calcul de l'INN), soit parce qu'ils sont perfectibles (indicateur de jugement de l'état sanitaire).

Pour juger de l'alimentation hydrique des peuplements, nous avons opté pour la méthode du bilan hydrique au regard des moyens dont nous disposons pour l'acquisition de données et le suivi des parcelles. Pour aucune des années, les niveaux de satisfaction des besoins en eau des parcelles ne sont apparus explicatifs des variations des composantes du rendement. Cependant ces résultats sont à prendre avec une certaine prudence compte tenu de l'approximation des termes du bilan hydrique : en effet, pour des raisons d'absence d'équipement d'enregistrement au champ et de lourdeur du suivi, les facteurs drainage et remontée capillaire n'ont pas été inclus dans le calcul du bilan hydrique. Par ailleurs, les doses et fréquence d'irrigation ont été déduites à partir des enquêtes auprès des agriculteurs et il existe donc une certaine imprécision sur les valeurs d'apports. De plus, l'ETo du site de Pamandzi en Petite Terre a servi à calculer les ETM dans tous les sites d'enquêtes, compte tenu qu'aucune station de la météo nationale en Grande Terre ne dispose d'appareil d'enregistrement du rayonnement.

L'état d'enracinement dans les parcelles a montré que le système racinaire restait superficiel et localisé au trou de plantation, même si on observe plusieurs géométries d'enracinement. Les sur-irrigations relevées en début de cycle (plantation-floraison), corroborées par les profils tensiométriques à plusieurs profondeurs dans l'une des parcelles du dispositif, favorisent ce type d'enracinement superficiel. Ce résultat milite en faveur d'une modification des pratiques paysannes d'irrigation pour économiser la ressource eau.

Concernant la nutrition minérale, il aurait été utile de disposer d'une courbe de dilution de l'azote adaptée au type de variétés rencontrées dans notre étude et à nos conditions climatiques pour vérifier si les carences précoces sont dues aux conditions du milieu ou à l'état des plantes en sortie de pépinière. Nous n'avons pas pu nous intéresser à l'état végétatif et nutritionnel des plants à la plantation et avons fait l'hypothèse que le peuplement était homogène, ce qui reste à vérifier.

Concernant les deux autres éléments majeurs nutritionnels que sont le phosphore et le potassium, le même constat est fait que pour l'azote. Il n'existe pas de courbe de dilution critique pour le phosphore, ni pour le potassium pour les confronter aux teneurs mesurées sur la plante. Néanmoins, la comparaison de ces teneurs aux données de la littérature (Odet, 1989 ; IFA, 1992) n'a pas révélé de carence.

Nous n'avons pas pu mettre en évidence de relation nette entre les pratiques de lutte phytosanitaire et l'état sanitaire des peuplements. Il est possible que l'indicateur d'évaluation de l'état

sanitaire que nous avons utilisé fût trop globalisant et imprécis pour cela, à moins qu'il n'y ait pas tout simplement de relation entre les deux variables.

On s'est rendu compte que l'indice foliaire des plantes attaquées est plus faible quand l'indice parasitaire est élevée avec comme conséquence une réduction du nombre de fruits. Cela pourrait s'expliquer par l'action défavorable des parasites sur l'activité photosynthétique ou le transfert des assimilats vers les fleurs et les jeunes fruits, mais peut exprimer également les conséquences des pratiques d'effeuillage, les agriculteurs ayant tendance à effeuiller sévèrement les plants lorsque les feuilles sont très parasitées (nombreuses taches). Cet indice de notation ne prend pas en compte le fonctionnement du couvert végétal. Par exemple, malgré un pourcentage élevé de nécrose sur les feuilles, il peut rester suffisamment de surface photosynthétique pour assurer une production suffisante d'assimilats.

### 2.3. Le dispositif expérimental

L'essai taille en station a montré que le traitement « sans taille » pouvait améliorer la production de la tomate sans affecter le calibre des fruits. Néanmoins, cet essai a été conduit une seule année et il convient de le reconduire avec certaines adaptations avant de tirer toute conclusion définitive. Dans l'essai, les plantes du traitement « sans taille » (T0) n'ont pas été tuteurées contrairement aux deux autres (« taille paysanne + tuteurage » et « taille légère + tuteurage »), ce qui induit un biais méthodologique au travers d'un éventuel effet tuteurage qui n'a pas pu être pris en compte. Dans un essai ultérieur, il faudrait ajouter des traitements « sans taille + tuteur », « taille paysanne sans tuteur » et « taille légère sans tuteur ». Par ailleurs, le choix d'une densité de plantation très faible avait été faite, et il serait nécessaire de planter à des densités proches de la pratique paysanne (soit entre 2,2 et 3 plants/m<sup>2</sup>). L'effeuillage pouvant interagir avec l'égourmandage sur les composantes du nombre de fruits et poids moyen de fruits, il faudrait alors se garder d'effeuiller les plants. Au regard des résultats de cet essai, on peut envisager de tester deux types d'itinéraire technique qui tiendraient compte des capacités de mobilisation des ressources (main d'œuvre et pesticides) par les différents types d'agriculteurs. D'une part, un itinéraire technique à faible densité et sans taille, ni effeuillage (avec recours si possible à des pesticides ad-hoc en cas de fortes infestations parasitaires), et d'autre part un itinéraire technique avec des densités plus fortes et une conduite de la végétation *a minima* (pas d'effeuillage, égourmandage limité), si celle-ci a effectivement un rôle établi sur la restriction des problèmes sanitaires. Dans ce dernier cas, on diminuerait de fait la consommation de pesticides.

Dans le cadre de l'expérimentation sur les traitements phytosanitaires, on a remarqué que l'agriculteur observait l'état du peuplement dans la parcelle d'essai (TC) pour modifier les traitements sur la parcelle témoin (TP) en cours de culture s'il constatait un meilleur état sanitaire chez TP. C'est ce qui a failli se produire chez Ord qui nous a demandé de lui fournir nos produits pour traiter ses parcelles, ce que nous avons refusé jusqu'à ce que l'essai soit achevé. Pour palier à ce risque, nous avons réalisé tous les traitements phytosanitaires sur la parcelle TC. L'autre précaution prise a été de vérifier régulièrement que l'agriculteur conduisait les deux parcelles du couple de manière rigoureusement identiques.

## CHAPITRE II : CONSEQUENCES POUR LA RECHERCHE ET POUR LE DEVELOPPEMENT AGRICOLE

### 1. Perspectives scientifiques

Comme nous l'avons déjà signalé, il y a peu de travaux portant sur les décisions techniques relatives à la construction des systèmes de cultures maraîchers et à la conduite des cultures à cycle court

(Navarrete *et al.*, 2006) *a fortiori* en zone tropicale (N'Dienor, 2006), et notre travail est venu alimenter par les connaissances produites ce domaine encore peu investi.

A notre connaissance, aucun travail de diagnostic agronomique régional sur la tomate de plein champ, de surcroît en zone tropicale, n'a été conduit jusqu'ici. Bien que nous ayons eu du mal à établir des relations nettes entre les variations de certaines composantes du rendement et des variations des états du milieu qui ont normalement une influence sur l'élaboration du rendement comme la nutrition azotée, l'alimentation hydrique et l'état sanitaire des cultures, (Geisenberg and Stewart, 1986 ; Bezert *et al.*, 1999 ; Cszinszky, 2005), le diagnostic permet d'alimenter des thèmes de recherche pour des études plus analytiques.

La mise au point ou l'amélioration d'indicateurs de jugement des états du milieu pour du diagnostic agronomique en parcelles paysannes en est un exemple. Concernant la nutrition azotée, il faudrait vérifier si la courbe de dilution critique de l'azote établie par Tei *et al.* (2002) en Italie convient tout à fait aux variétés cultivées à Mayotte et aux conditions pédoclimatiques. Des recherches peuvent être conduites également pour établir une courbe de dilution critique pour le phosphore, inexistante jusqu'à maintenant pour la tomate. Se pose également la question du nombre de prélèvements à réaliser pour être certain de cerner les moments où la nutrition minérale (azote ou autre élément) a été perturbée. Dans les parcelles de faible taille (quelques dizaines de m<sup>2</sup> à quelques dizaines d'ares), comme c'est le cas très souvent dans les agricultures familiales et manuelles, il faut trouver un compromis entre le nombre minimum de plantes à détruire pour les besoins de l'expérimentation ou du diagnostic agronomique et celui qui est acceptable par l'agriculteur. Mais, il faut aussi envisager de dédommager financièrement l'agriculteur comme il le suggère ou le demande bien souvent (cest ce que nous avons fait).

Concernant l'aspect phytosanitaire, la grille de notation que nous avons utilisée offre l'avantage d'une notation rapide de l'état sanitaire global de la culture, mais elle ne permet pas de distinguer les différentes maladies et ravageurs et d'évaluer la gravité de chacun pris séparément. Elle intègre les différentes maladies foliaires et/ou le(s) ravageur(s) présent(s) au moment de l'observation au travers d'une note globale. L'inconvénient de cette grille est qu'une même note de parasitisme (M1, M2...) peut être attribuée à des parcelles présentant un même taux d'infestation mais pas les mêmes symptômes de maladies et/ou d'attaques de ravageurs. Il apparaît nécessaire de pouvoir faire le lien entre symptômes et dégâts et de quantifier leur impact sur le rendement. Il existe un champ d'investigation encore peu exploité sur l'influence des éléments du système de culture sur le contrôle des maladies et la compréhension des mécanismes d'actions qui les sous-tendent (Meynard *et al.*, 2003). Huber et Thompson (2007) mettent en avant l'importance des formes azotées et de la vie microbienne du sol sur le contrôle des maladies. Les engrais ammoniacaux et les pH acides nuisent par exemple au développement du flétrissement bactérien en freinant la pénétration et la progression des bactéries dans les tissus racinaires.

Avec l'orientation prise depuis plusieurs années par les politiques publiques de réduire les pesticides, les méthodes agronomiques et biologiques sont mises en lumière pour contrôler les risques parasitaires. Des recherches sur cette thématique sont de nature à faire évoluer les pratiques agricoles et par conséquent les systèmes de culture.

## 2. Perspectives pour le développement agricole

Ce travail a mis en exergue des possibilités techniques pour augmenter la production et pour réduire les coûts, notamment le temps de travail consacré à certaines opérations culturales. La maîtrise des coûts de production et notamment du poste main-d'œuvre nous apparaît être un enjeu majeur pour les producteurs dans le cadre de l'évolution institutionnelle de Mayotte qui s'accompagne d'un processus de rattrapage du Smig<sup>9</sup> (avec des augmentations significatives chaque année) et d'une lutte intensive contre l'immigration clandestine. De nombreux agriculteurs emploient actuellement des clandestins comme

<sup>9</sup> Le Smig à Mayotte était égal à 67% du Smig métropole au 1<sup>er</sup> juillet 2007.

ouvriers agricoles, peu payés (2 à 3 fois moins que le Smig local). Néanmoins, la lutte contre l'emploi de clandestins ne manquera pas d'induire, à très court terme, des effets sur l'organisation du travail au sein des exploitations agricoles avec une répercussion sur la gestion des systèmes de culture. La part de la production induite par les producteurs clandestins, relativement importante à ce jour, devrait fondre à terme. Dans ce nouveau contexte, l'augmentation de la productivité du travail apparaît nécessaire dès lors que le foncier et le travail constituent une contrainte.

Le diagnostic cultural en parcelles paysannes et les essais réalisés en station ont ainsi montré qu'il est possible de produire de la tomate sans taille, ni tuteurage, ni égourmandage, ou encore de réduire les doses d'eau et les fréquences d'irrigation en début de cycle sans pénaliser la production (Anfray, 2005). Or, nous avons vu que les opérations culturales les plus exigeantes en temps de travail sont l'arrosage et la conduite de la végétation (taille-tuteurage-éfeuillage-égourmandage).

La conduite de la tomate sans taille offre aussi l'intérêt d'augmenter le nombre de tiges par pied, et par conséquent le rendement, comme nous l'avons expérimenté en 2004. Des expérimentations à valeur démonstrative seront néanmoins nécessaires pour accompagner les agriculteurs vers un changement de technique.

Nous avons vu aussi que les agriculteurs utilisaient souvent de la matière organique en fumure de fond et tendaient à diminuer les doses d'engrais minéral au profit du fumier ou du terreau quand ils en disposaient. La question de l'intérêt économique et technique de la substitution de l'engrais minéral par de la matière organique peut être posée. Mayotte dispose actuellement d'une seule station d'épuration située dans la capitale dont les capacités de traitement doubleront à compter de 2008. D'autres stations verront le jour à moyen terme dans d'autres villes. Se pose déjà le problème d'élimination de ces boues qui sont actuellement jetées en décharge. Des projets de valorisation de ces boues sous forme de compost pour l'agriculture sont à l'étude. L'intérêt agronomique de ce type de produit mais aussi des déchets urbains solides par rapport à l'engrais minéral et d'autres intrants organiques mérite d'être pris en considération.

Les actions techniques proposées en faveur d'une augmentation de la production de tomate et d'un allègement des charges de travail sur l'exploitation constituent un levier pour l'évolution des systèmes de culture vers une gestion moins incertaine des ressources productives.

## **CONCLUSION GENERALE**

La tomate est une culture maraîchère importante dans les zones tropicales, y compris à Mayotte où la production ne couvre pas la demande locale. Notre travail de recherche a consisté à comprendre comment les producteurs maraîchers conçoivent leurs systèmes de culture et pilotent la conduite de la tomate dans un environnement marqué par des incertitudes d'accès aux ressources productives (foncier, intrants, machines agricoles), et comment la diversité des modes de conduite de la tomate qui découle de cette situation se répercute sur les performances de la culture.

Nous avons suivi pour cela quinze exploitants en 2003 et vingt en 2005 (dont six communs aux deux années), totalisant cinquante parcelles, choisis sur la base d'une typologie régionale du fonctionnement des exploitations présentant *a priori* une gamme de variabilité de la place de la tomate dans l'exploitation, d'objectifs et de contraintes quant à sa conduite, ainsi qu'une variabilité des conditions du milieu. Nos investigations se sont limitées à la saison sèche.

Le concept de modèle d'action a été utilisé pour rendre compte des décisions techniques de l'agriculteur et les formaliser sous forme d'un corps de règles de décision, tel que cela a déjà été réalisé sur des grandes cultures (Aubry, 1995 ; Aubry *et al.*, 1998 ; Dounias *et al.*, 2002 ; Aubry et Dounias, 2005) et sur la tomate (N'Dienor, 2006).

Nous avons mis en évidence une diversité de systèmes de culture maraîchers à l'échelle annuelle et à l'échelle de la saison culturale. L'accès à l'eau détermine en priorité la zone cultivable maraîchère, aucune culture n'étant envisageable sans irrigation. Les cultures maraîchères se caractérisant par des durées de cycle courtes, deux variables ont permis de rendre compte de la place de la tomate dans la sole maraîchère à l'échelle infra annuelle : le nombre de cultures successives de tomate sur la même parcelle (N'Dienor, 2006), et le nombre de cultures de tomate sur des parcelles différentes (Aubry, 1995). Ces spécificités nous ont conduits, dans notre contexte d'agriculture fortement manuelle et familiale, à redéfinir le terme de parcelle comme étant l'unité de surface délimitée dans l'espace recevant une culture donnée pendant une saison climatique et correspondant à une date de semis (une date donnée pouvant conduire à plusieurs parcelles).

Les agriculteurs sont confrontés chaque année à des problèmes d'approvisionnement en intrants, en équipements agricoles, et à l'accès au foncier pour une catégorie d'entre eux (clandestins). L'insécurité sur le foncier se décline particulièrement sur le choix des cultures, la succession et le nombre de cultures sur la saison, et par l'impossibilité pour une certaine catégorie de producteurs de cultiver plusieurs années de suite la même parcelle et par conséquent de gérer les précédents culturaux, ce qui peut influencer sur le risque parasitaire à la parcelle. Des règles de précédent-suivant sont évoquées mais elles ne sont pas toujours respectées pour des raisons de manque de terres. La double culture tomate-tomate par exemple traduit l'incertitude sur le foncier, l'agriculteur décidant de cette succession par manque de terres face à une opportunité économique (prix élevés de la tomate à certaines périodes de l'année). La pratique de densités de plantation élevées et l'importance donnée à la tomate dans la sole maraîchère sont d'autres traductions de cette incertitude et se retrouvent majoritairement chez les agriculteurs qui ont peu de ressources en terres, c'est-à-dire les types gf2/b2, gf3/b2 et gf4/b2.

Face aux diverses contraintes récurrentes d'accès aux ressources de production, nous avons vu que l'agriculteur s'adapte en prévoyant des solutions de rechange qui tendent à diminuer sa dépendance vis-à-vis des fournisseurs ou prestataires de services avec par exemples le passage au travail manuel du sol pour respecter la priorité qu'il donne à la date de plantation, la production de semences de tomate, le remplacement de l'engrais par le fumier ou du compost. L'incertitude sur l'accès aux équipements agricoles se traduit principalement par le passage à la modalité « travail manuel du sol » avant une date limite de plantation (correspondant à un âge limite des plants en pépinière), et peut être ainsi source de variabilité des états physiques du milieu à l'échelle de la zone cultivable avec une partie travaillée manuellement et une autre labourée à la charrue.

Ces incertitudes d'accès aux ressources productives sont donc source de variabilité de pratiques (positionnement temporel des semis et des plantations, modalité de travail du sol, choix variétal, successions culturales, modalités de taille-égourmandage-effeuillage ...), d'états du milieu (selon type de



travail du sol) avec des répercussions sur le fonctionnement des peuplements de tomate que nous avons tentées d'appréhender au travers de la variable rendement.

Le suivi des pratiques dans le réseau de parcelles paysannes a révélé une grande diversité des rendements sur les deux années, s'étalant de 0,7 t/ha à 89 t/ha. Le principal facteur explicatif des variations du rendement s'est révélé être le nombre de fruits par m<sup>2</sup>, lui-même déterminé par le nombre de tiges par m<sup>2</sup>, le poids moyen d'un fruit étant moins variable. Les interventions manuelles sur la végétation, en particulier la taille et les égourmandages plus ou moins réguliers en cours de culture selon la main d'œuvre immédiatement disponible pour ces opérations, expliquent la variabilité du nombre de tiges par plant enregistrée dans le réseau de parcelles et la réduction du nombre de tiges par plant, en comparaison à une conduite libre de la végétation sans taille. Ce résultat est corroboré par l'essai taille réalisé en 2004 en station qui a montré que des plants non taillés par rapport à des plants taillés et égourmandés régulièrement produisaient plus de tiges, de bouquets et de fruits par plant, et exprimaient une bien meilleure production par plant, sans que le calibre du fruit soit pénalisé. Il conviendrait néanmoins de confirmer ce résultat en station, l'essai ayant été conduit une seule année, et de l'étendre en milieu paysan afin de prendre en compte une gamme de milieux et de mieux sensibiliser les agriculteurs à ces innovations techniques.

Le travail de diagnostic des causes de variation du rendement de la tomate de plein champ en zone tropicale que nous avons réalisé, et qui n'avait pas été fait jusqu'ici, a fait ressortir le poids des pratiques de « végétation » sur la variation des rendements par rapport aux états du milieu. Les variables clés du rendement sont le nombre de plants, le nombre de tiges par plant, le nombre de bouquets par tige, le nombre de fruits par bouquet et pour ces deux dernières variables, les deux premiers bouquets des deux premières tiges (qui portent en moyenne 70 % de la production).

Cependant, contrairement à nos attentes, l'analyse de l'influence des états du milieu sur les composantes du rendement reste incomplète (exemple des relations entre l'état sanitaire des peuplements et les traitements). Il n'en reste pas moins que les connaissances que nous avons produites permettent à court terme d'envisager des voies d'amélioration de la conduite de la culture dans la région pour augmenter la production et réduire les temps de travaux. Elles concernent notamment l'alimentation hydrique (avec une réduction des apports) et la conduite de la végétation (sans taille ou une taille allégée par rapport à la pratique actuelle), et la protection sanitaire qui reste une opération culturale encore non maîtrisée.

Une des particularités de notre travail de recherche a été de travailler à la fois sur les décisions techniques de constitution des systèmes de culture maraîchers et de conduite de la tomate et sur l'élaboration du rendement de cette culture en parcelles paysannes, en montrant comment l'incertitude d'accès à des ressources productives déterminent la variabilité des pratiques. Si notre travail n'avait porté que sur l'une des deux thématiques abordées, il aurait été certainement plus affiné sur cette thématique. Ce travail qui a croisé différentes échelles d'analyse, et consistant à mener ces deux études parallèlement, participe à une nouvelle démarche d'analyse des systèmes de culture.



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdalla A.A. and K. Verkerk, 1970. Growth, flowering and fruiting in tomatoes in relation to temperature, Cycocel and GA. *Neth. J. Agric. Sci.*, 18 : 105-110.
- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M., 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. Edition FAO, n° 56, 300 p.
- Amir K.A.G., David J.P., Michael P.B., 2005. Risk, uncertainty, and learning in adoption of a crop innovation. *Agricultural Economics*, 33 : 1-9.
- Anconelli, S., Mannini, P., and Battilani, A., 1994. CWSI and baseline studies to increase quality of processing tomatoes. 5th ISHS International Symposium on Processing Tomatoes, Sorrento, Italia, 23-27/09/93. *Acta Horticulturae*, 376 : 303-306.
- Atherton J.G. and G.P. Harris, 1986. Flowering. In : Atherton J.G. and G. Rudich (Eds). *The tomato crop. A scientific basis for improvement*. Chapman and Hall, London, New York, pp. 167-200.
- Aubry C., 1995. Gestion de la sole d'une culture dans l'exploitation agricole. Cas du blé d'hiver en grand culture dans la région Picarde. Thèse de Docteur, INA P-G, Paris, France, 271 p. + annexes.
- Aubry C., Biarnès A., Maxime F., Papy F., 1998a. Modélisation de l'organisation technique de la production dans l'exploitation agricole : la constitution de systèmes de culture. *Etud. Rech. Syst. Agraires Dév.*, 31 : 25-43.
- Aubry C., Papy F., Capillon A., 1998b. Modelling of decision-making processes for annual crop management. *Agricultural Systems*, 56 (1) : 45-65.
- Aubry C. et I. Michel-Dounias, 2006. Systèmes de culture et décisions techniques dans l'exploitation agricole. In : Doré T, Le Bail M., Martin P, Ney B., Roger-Estrade J, (Coord). *L'agronomie aujourd'hui*. Ed. Quae, collection *Synthèses*, France, pp. 57-75.
- Aung L.H. and W.C. Kelly, 1966. Influence of defoliation on vegetative, floral and fruit development in tomatoes. *Proc. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 89 : 563-570.
- Backus G.B.C., Eidman V.R., Dijkhuizen A.A., 1997. Farm decision making under risk and uncertainty. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 45 : 307-328.
- Bangerth F. and L.C. Ho, 1984. Fruit position and fruit set sequence in a truss as factors determining final size of tomato fruits. *Ann. Bot.*, 53 : 315-319.
- Bar Yosef B., Stammers C., Sagiv B., 1980. Growth of trickle-irrigated tomato as related to rooting volume and uptake of N and water. *Agronomy Journal*, 72 : 815-822.
- Berlinger M.J., 1986. Pests. In : Atherton J.G. and J. Rudich (Eds). *The tomato crop. A scientific basis for improvement*. Chapman and Hall. London and New-York, pp. 391-441.
- Bertin N., 1995. Competition for assimilates and fruit position affect fruit set in indeterminate greenhouse tomato. *Annals of Botany*, 75 : 55-65.
- Besford R.T. and G.A. Maw, 1975. Effect of potassium nutrition on tomato plant growth and fruit development. *Plant Soil*, 42 : 395-412.

- Bezert J., Giovinazzo R., Vallat O., 1999. Guide cultural de la tomate d'industrie. Edition SONITO 1999, France, 150 p.
- Biarnès A. et J.P. Colin, 1998. Incertitude, contraintes et pratiques des producteurs de pomme de terre dans la Sierra Madre orientale au Mexique. *In* : Biarnès (Ed). *La conduite du champ cultivée. Points de vue d'agronomes*. Ed. Orstom, collection *Colloques et Séminaires*, Paris, France, pp. 303-323.
- Bichat H.H., Piraux M., Rey-Giraud G., 1999. Le développement agricole à Mayotte. Mission du 23 novembre au 3 décembre 1998, Cirad, Mayotte, 69 p.
- Blondeau F., 2004. La culture de tomate en saison des pluies à Mayotte : systèmes de culture et diagnostic agronomique. Rapport de stage de césure, 3<sup>ème</sup> année DAG, INA P-G, Cirad Flhor, Mayotte, 43 p + annexes.
- Boiffin J., Canneil J., Meynard J.M., Sebillotte M., 1981. Elaboration du rendement et fertilisation azotée du blé d'hiver en Champagne crayeuse. I. Protocole et méthode d'étude d'un problème technique régional. *Agronomie*, 1 : 549-558.
- Brisson N., Mary B., Ripoche D., Jeuffroy M.H., Ruget F., Nicoulaud B., Gate P., Devienne F., Antonioletti R., Dürr C., Richard G., Beaudoin N., Recous S., Tayot X., Plénet D., Cellier P., Mchet J.M., Meynard J.M., Delécolle R., 1998. STICS : a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. I. Theory and parametrization applied to wheat and corn. *Agronomie*, 18 : 311-346.
- Brossier J., 1989. Risque et incertitude dans la gestion de l'exploitation agricole. Quelques principes méthodologiques. *In* : Eldin M. et P. Milleville (Eds). *Le risque en agriculture*. Edition Orstom, collection *à travers champs*, pp. 25-46.
- Bues R., Dadomo M., Lyannaz J.P., Di Lucca G., Macua Gonzalez J.I., Prieto Losada H., Dumas Y., 2003. Evaluation of the environmental impact of the pesticides applied in processing tomato cropping. *Acta Horticulturae*, 613 : 255-258.
- Cavero J., plant R.E., Shennan C., Williams J.R., Kiniry J.R., Benson V.W., 1998. Application of epic model to nitrogen cycling in irrigated processing tomatoes under different management systems. *Agricultural Systems*, 56 : 391-414.
- Cerf M. et M. Sebillotte, 1988. Le concept de modèle général et l'analyse de la prise de Décis<sup>ion</sup> technique. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 74 (4), 71-80.
- Chabalier P.F., Van de Kerchove V., Saint-Macary H., 2006. Guide de la fertilisation organique à la Réunion. Edition Cirad, 302 p.
- Chatelin M.H., Aubry C., Leroy P., Papy F., Poussin J.C., 1993. Pilotage de la production et aide à la décision stratégique. Le cas des exploitations en grande culture. *Cah. Econ. Soc. Rurales*, 28 : 120-138.
- Chaux C. et C. Foury, 1994. Productions légumières. Tome 3. Techniques et Documentation, Edition Lavoisier, France, 563 p.
- Christou M., Dumas Y., Dimirkou A., Vassiliou Z., 1998. Nutrient uptake by processing tomato in Greece. *In* : Bièche B.J. (Ed), Proceedings of the sixth International ISHS Symposium on the Processing Tomato and Workshop on Irrigation and Fertigation of Processing Tomato. *Acta Horticulturae*, 487 : 219-223.
- Christou M., Vassiliou Z., Liakopoulou N., Dumas Y., 2003. Nitrate measurements in processing tomato leaves by a quick test. *In* : Bièche B.J. and X. Branthome (Eds), Proceedings of the eighth International ISHS Symposium on the Processing Tomato. *Acta Horticulturae*, 613 : 177-184.

- Cirad, 2004. Convention Etat-Cdm-Cirad du 18 avril 2001. Rapport technique d'exécution 2000-2004. Document Cirad Mayotte, 62 p.
- Colla G., Casa R., Lo Cascio B., Saccardo F., Temperini O, Leoni C., 1999. Responses of processing tomato to water regime and fertilization in central Italy. *Acta Horticulturae*, 487 : 531-535.
- Colla G., Battistelli A., Moscatello S., Proietti S., Casa R., Lo Cascio B., Leoni C., 2001. Effects of reduced irrigation and nitrogen fertigation rate on yield, carbohydrate accumulation and quality of processing tomatoes. In : Bièche B.J. (Ed), Proceedings of the seventh International ISHS Symposium on the Processing Tomato. *Acta Horticulturae*, 542 : 187-196.
- Cooper A.J. and R.G. Hurd, 1968a. Effects of planting stage on the fruiting of glasshouse tomatoes. *J. Hortic. Sci.*, 43 : 167-173.
- Cooper A.J. and R.G. Hurd, 1968b. Effects of planting stage on the flowering of glasshouse tomatoes. *J. Hortic. Sci.*, 43 : 385-390.
- Cornillon P., 1994. Mineral nutrition of vegetables under protected cultivation in mild winter climate. *Acta Horticulturae*, 357 : 63-82.
- Cornillon P. et J. Peyrière, 1997. Evolution de la matière organique en sol de serre en région méditerranéenne. *PHM Revue Hort.*, 385 : 15-17.
- Couteux A., Lejeune V., 2005. Index phytosanitaire Acta. Edition Acta, 41<sup>ème</sup> édition, 820 p.
- Csizinszky A.A., 2005. Production in open field. In : Heuvelink (Ed). *Tomatoes. Crop Production Science in Horticulture Series*. Cabi Publishing. United Kingdom, pp. 237-256.
- Dadomo, M., Gainza, A.M., Dumas, Y., Bussièrès, P., Macua, J.I., Christou, M., and Branthôme, X., 1994. Influence of water and nitrogen availability on yield components of processing tomato in E.U. Countries. 5th ISHS International Symposium on Processing Tomatoes, Sorrento, Italia, 23-27/09/93. *Acta Horticulturae*, 376 : 271-274.
- Daf, 2002. État des lieux du maraîchage à Mayotte, CDOA de novembre 2001. Document SDA-Cellule Maraîchage, 9 p.
- Daf et Insee, 2004. Enquête statistique sur l'agriculture et la pêche. Agreste n°2 - Esap Mayotte 2003, 87 p.
- Dayan E., Van Keulen H., Jones J.W., Zipori I., Shmuel D, Challa H., 1993. Development, calibration and validation of a greenhouse tomato growth model. I. Description of the model. *Agricultural Systems*, 43 : 145-163.
- De Koning A.N.M., 1990. Long term temperature integration of tomato. Growth and development under alternating temperature regimes. *Scientia Horticulturae*, 45 : 117-127.
- De Koning A.N.M., 1993. Growth of a tomato crop : measurements for model validation. *Acta Horticulturae*, 328 : 141-146.
- Dorais M., Papadopoulos A.P., Gosselin A., 2001. Greenhouse tomato fruit quality : the influence of environmental and cultural factors. *Horticultural Reviews*, 26 : 239-319.
- Doré T., Sebillotte M., Meynard J.M., 1997. A diagnostic method for assessing regional variations in crop yield. *Agricultural Systems*, 54 (2) : 169-188.

- Doré T., Jeuffroy M-H, Tourdonnet, 2006. La connaissance du fonctionnement du champ cultivé, base de l'évolution des systèmes de culture. In : Doré T, Le Bail M., Martin P, Ney B., Roger-Estrade J, (Coord). *L'agronomie aujourd'hui*. Edition Quae, collection *Synthèses*, France, pp. 43-56.
- Doré T., Clermont-Dauphin C., Crozat Y., David C., Jeuffroy M.H., Loyce C., Makowski D., Malézieux E., Meynard J.M., Valantin-Morison M., 2008. Methodological progress in on-farm regional agronomic diagnosis. *Agronomy for Sustainable Development*, in press.
- Dounias, 1998. Modèles d'action et organisation du travail pour la culture cotonnière : cas des exploitations agricoles du bassin de la Bénoué au Nord Cameroun. Thèse de docteur INA P-G, Paris, France, 208 p + annexes.
- Dounias I., Aubry C., Capillon A., 2002. Decision-making processes for crop management on African farms. Modelling from a case study of cotton in northern Cameroon. *Agricultural Systems*, 73 (3) : 233-260.
- Dumas, Y., 1992. Crop management for processing tomatoes in the year 2000. *Acta Horticulturae*, 301 : 117-134.
- Dumas, Y., Leoni, C., Portas, C.A.M. and Bièche, B., 1994. Influence of water and nitrogen availability on yield and quality of processing tomato in the European Countries. 5th ISHS International Symposium on Processing Tomatoes, Sorrento, Italia, 23-27/09/93. *Acta Horticulturae*, 376 : 185-192.
- Dumas Y, Bussieres P., Battilani A., Cornillon P., Prieto Losada M.H., Branthome X., Di Lucca G. ; Bues R., Dadomo M., Machado R., Christou M., San Martin C., Lyannaz J.P., Koutsos T., Ho L.C., 1999. Qualitom, a european research programme to build and test a technical itinerary model in processing tomato cropping. *Acta Horticulturae*, 487 : 151-157
- Dumas Y, Bussieres P., Battilani A., Cornillon P., Prieto Losada M.H., Branthome X., Di Lucca G. ; Bues R., Dadomo M., Machado R., Christou M., San Martin C., Lyannaz J.P., Koutsos T., Ho L.C., 2000. Construction and test of technical itineraries to grow field processing tomato of sound quality with limited costs and respect of the environment. QUALITOM. Period from 1/01/97 to 31/03/00. Final Report, Amitom, Inra-Echo, 145 p.
- Duru M., Papy F., Soler L.G., 1988. Le concept de modèle général et l'analyse du fonctionnement de l'exploitation agricole. *C.R. Acad. Agri. Fr.*, 74 : 81-91.
- Fao, 2003. Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. Who Technical Report Series, 916. Ed. Fao, 149 p.
- Fischer K.J., 1977. Competition effects between fruit trusses of the tomato plants. *Sci. Hort.*, 7, 37-42.
- Fleury A., 1994. La notion de plante modèle. In : Combe L. et D. Picard (Coord.), *Elaboration du rendement des principales cultures annuelles*. Edition Inra, Paris, France, pp. 7-27.
- Friesen G.H., 1979. Weed interference in transplanted tomatoes (*Lycopersicon esculentum*). *Weed Sci.*, 27 : 11-13.
- Gary C., Barczy J.F., Bertin N., Tchamitchian M., 1995. Simulation of individual organ growth and development on a tomato plant : a model and a user-friendly interface. *Acta Horticulturae*, 399 : 199-205.
- Geisenberg C. and K. Stewart, 1986. Field crop management. In : Atherton J.G. and J. Rudich (Ed). *The tomato crop. A scientific basis for improvement*. Chapman and Hall. London and New-York, pp. 511-557.

- Girard N. et B. Hubert, 1999. Modelling expert knowledge with knowledge based systems to design decision aids. The example of a knowledge based model on grazing management. *Agricultural Systems.*, 59 : 123-144.
- Grassely D., Navez B., Letard M., 2000. Tomate, pour un produit de qualité. Edition Ctifl, Paris, France, 218 p.
- Hartz T.K., Mullen R., Cahn M., Miyao G., 1996. Potassium requirements for optimal processing tomato yield and fruit quality. *HortScience*, 31 : 593 (abstract).
- Hartz T.K., Miyao E.M., Valencia J.G., 1998. DRIS evaluation of the nutritional status of processing tomato. *HortScience*, 33 (5) : 830-832.
- Heuvelink E., 1999. Evaluation of a dynamic simulation model for tomato crop growth and development. *Annals of Botany*, 83 : 413-422.
- Heuvelink E., 2005. Developmental processes. In : Heuvelink (Ed). *Tomatoes*. Crop Production Science in Horticulture Series. Cabi Publishing. United Kingdom, pp. 53-83.
- Heuvelink E. and R.P.M. Buiskool, 1995. Influence of sink-source interaction on dry matter production in tomato. *Annals of Botany*, 75 : 381-389.
- Heuvelink E. and M. Dorais, 2005. Crop growth and yield. In : Heuvelink (Ed). *Tomatoes*. Crop Production Science in Horticulture Series. Cabi Publishing. United Kingdom, pp. 85-144.
- Heuvelink E., Bakker M.J., Elings A., Kaarsemaker R., Marcelis L.F.M., 2005. Effect of leaf area on tomato yield. *Acta Horticulturae*, Greensys 2004, Leuven, Belgium, September.
- Hewitt J.D. and M. Marrush, 1986. Remobilization of non-structural carbohydrates from vegetative tissues to fruits in tomato. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, 111 : 142-145.
- Huat J., 2006. Facteurs limitatifs du rendement de la tomate industrielle en périmètres irrigués au nord Sénégal. *Cahiers Agricultures*, 15 (3) : 293-300.
- Huber D.M. and I.A. Thompson, 2007. Nitrogen and plant disease. In : Datnoff H., Elmer W.H., Huber D.M., (Eds). *Mineral nutrition and plant disease*. The American Phytopathological Society press, Minnesota, USA, pp. 31-44.
- Ho L.C. and J.D. Hewitt, 1986. Fruit development. In : Atherton J.G. and G. Rudich (Eds). *The tomato crop. A scientific basis for improvement*. Chapman and Hall, London, New York, pp. 201-239.
- Ho L.C., 1996. Tomato. In : Zamski E. and A.A. Schaffer (Eds). *Photoassimilate distribution in plants and crops. Source-sink relationships*. Marcel Dekker Inc, England, pp. 709-728.
- Iedom, 2006. Mayotte en 2005. Edition Iedom, 176 p.
- IFA, 1992. Vegetables grown under temperate conditions. Ed. IFA, world fertilizer use manual, pp 289-290.
- 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.
- Juristo N. and A. Moreno, 2000. Introductory paper : Reflections on conceptual modelling. *Data and Knowledge Engineering*, 33 : 103-117.

- Klapwijk D. and C.F.M. Wubben, 1984. Light, temperature and the first three inflorescence in greenhouse tomatoes. *Acta Horticulturae*, 148 : 925-931.
- Kovach, J., Petzoldt, C., Degni, J. and Tette, J., 1992. A method to measure the environmental impact of pesticides. New York's Food and Life Science Bulletin, 139, New York State Agricultural Experiment Station, Geneva, New York USA.
- Latrille E., 1981. Inventaire des terres cultivables et de leurs aptitudes culturales, exploitation agronomique de la carte de l'inventaire des terres cultivables, conclusion générale. Rapport Cirad, Irat, Mayotte, 21 p.
- Lecourtois K, 2004. Etude socio-économique du maraîchage à Mayotte. Construction de références sur les exploitations maraîchères à Mayotte. Mémoire de fin d'études, Istom, Cirad Mayotte, 183 p.
- Légier P., 1992. Analyse des sols de l'île de la Réunion. Laboratoire d'Agronomie du Cirad-Réunion.
- Lemaire G. et J. Salette, 1984. Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélèvement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères. I- Etude de l'effet du milieu. *Agronomie*, 4 : 423-430.
- Lemaire G., Gastal F., Salette J., 1989. Analysis of the effect of N nutrition on dry matter yield of a sward by reference to potential yield and optimum N content. *Proceedings XVIth International Grassland Congress*, Nice, France, pp. 179-180.
- Lemaire G., Gastal F., Plenet D., Le Bot J., 1997. Le prélèvement d'azote par par les peuplements végétaux et la production des cultures. In : Lemaire G. et B. Nicolardot (Eds). *Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes*. Edition Inra, Paris, *Les Colloques*, n° 83, pp. 121-139.
- Letard M., Erard P., Jeannequin P., 1995. Maîtrise de l'irrigation fertilisante. Tomate sous serre et abris en sol et hors sol. Edition Ctifl, Paris, France, 220 p.
- Levy A., Rabinowitch H.D, Kedar N., 1978. Morphological and physiological characters affecting flower drop and fruit set of tomatoes at high temperatures. *Euphytica*, 27 : 211-218.
- Lin S.S.M., Hubell J.N., Tsou S.C.S., Splittstoesser W.E., 1983. Drip irrigation and tomato yield under tropical conditions. *HortScience*, 18 (4) : 460-461.
- Losch B. et J.M. Sourisseau (coord.), 2002. Quels place et rôles pour l'agriculture à Mayotte ?. Bilan-diagnostic du développement local. Cirad Mayotte, 234 p. + annexes.
- Lovatt J, Fullelove G., Wright R., Meurant N., Barnes J., O'Brien R., 1998. Tomato Information Kit. Agrilink, Department of Primary Industries, Queensland, Australia.
- Lozet J. et C. Matthieu, 2002. Dictionnaire de sciences du sol. Ed. Tec & Doc, 4<sup>ème</sup> édition, 576 p.
- Lubac S., 2002. Dynamiques des marchés maraîchers à Mayotte. Rapport de stage de 2<sup>ème</sup> année Enita, Clermont-Ferrand, 41 p.
- 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.
- Makowski D., Doré T., Monod H., 2008. Using quantile regression to analyse relationships between yield components. *Agronomy for Sustainable Development*, in press.



- Marra M., Pannell D.J., Ghadim A.A., 2003. The economics of risk, uncertainty and learning in the adoption of new agricultural technologies : where are we on the learning curve? *Agricultural Systems*, 75 : 215-234.
- Maraux F., 2002. Le climat et la production végétale. In : *Mémento de l'agronome*. Edition Gret, Cirad, Ministère des Affaires Etrangères, France, pp. 433-446.
- Marcelis L.F.M., Heuvelink E., Goudriaan J., 1998. Modelling biomass production and yield of horticultural crops : a review. *Scientia Horticulturae*, 74 : 83-111.
- Mathieu B., 2005. Une démarche agronomique pour accompagner le changement technique. Cas de l'emploi du traitement herbicide dans les systèmes de culture à sorgho repiqué au Nord-Cameroun. . Thèse de Docteur, INA P-G, Paris, France, 232 p. + annexes.
- Maxime F., Mollet J.M., Papy F., 1995. Aide au raisonnement de l'assolement en grand culture. *Cah. Agri.Fr.*, 4 : 351-362.
- Mawois M., 2004. Culture de tomate à Mayotte : systèmes de culture et pré-diagnostic agronomique. Mémoire de fin d'études, Cnearc/Esat2, Cirad Mayotte, 94 p.
- May, D., Grimes, D., Peters, D. and Wolcott, T., 1990. Moisture stress as it affects yield, fruit quality of processed tomato. XXIII Int. Hort. Congress, ISHS, Florence, Com. 1673.
- Mc Cown R.L., 2002. Changing systems for supporting farmers' decisions : problems, paradigms and prospects. *Agricultural Systems*, 74 (1) : 179-220.
- Mémento de l'agronome, 2002. Ed. Gret, Cirad, Ministère des Affaires Etrangères, France, 1691 p.
- Menary R.C. and J. Van Staden, 1976. Effect of phosphorus nutrition and cytokinins on flowering in the tomato, *Lycopersicon esculentum* Mill. *Aust. J. Pl. Physiol.*, 3 : 201-205.
- Meynard J.M. et David G., 1992. Diagnostic de l'élaboration du rendement des cultures. *Cahiers Agricultures*, 1 : 9-19.
- Meynard J.M., Doré T., Lucas P., 2003. Agronomic approach : cropping systems and plant diseases. *C.R. Biologies*, 326 : 37-46.
- Migliorero C., Geoffriau E., Le Quillec S., Bargeolle J.P., Gréoire F., 2004. Malformations des inflorescences de tomate : préventions et remèdes. *PHM Revue Horticole*, 464 : 48-52.
- Milleville P., 1972. Approche agronomique de la notion de parcelle en milieu traditionnel africain : la parcelle d'arachide en moyenne-Casamance. *Cah. Orstom, sér. Biol.*, 17 : 23-37.
- Milleville P., 1976. Comportement technique sur une parcelle de cotonnier au Sénégal. *Cah. Orstom, sér. Biol.*, 11(4) : 263-275.
- Mitchell, J.P., Shennan, C., Grattan, S.R., and May, D.M., 1991. Tomato fruit yields and quality under water deficit and salinity. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 116(2) : 215-221.
- Monteith J.L., 1972. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *J. Appl. Ecol.*, 9 : 747-766.
- Morgan J.V. and E.L. Clarke, 1975. Influence of stage of development at planting on flowering and fruiting in tomato. *Acta Horticulturae*, 51 : 131-145.

Moustier P. et O. David, 1997. Etude de cas de la dynamique du maraîchage périurbain en Afrique subsaharienne. Document FAO N-DT/02/96, Projet : Approvisionnement et Distribution Alimentaire des villes d'Afrique francophone, FAO, Rome, Italie, 36 p.

Moustier P. et S.A. Fall, 2004. Les dynamiques de l'agriculture urbaine: caractérisation et évaluation. In : Smith O.B., Moustier P., Mougeot L.J.A., Fall A., (Eds). *Développement durable de l'agriculture urbaine en Afrique francophone. Enjeux, concepts et méthodes*. Edition Cirad et CRDI, pp. 23-43.

Navarrete, 1993. 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. Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle, Université Paris-Sud Orsay, France, 152 p. + annexes.

Navarrete M., Le Bail M., Papy F., Bressoud F., Tordjman S., 2006. Combining leeway on farm and supply basin scales to promote technical innovations in lettuce production. *Agronomy for Sustainable Development*, 26 : 77-87.

Odet J., 1989. Mémento fertilisation des cultures légumières. Edition Ctifl, France, 398 p.

Papy F., 1995. Le management de la production agricole. In : Sebillotte M., (Ed). *Recherches-système en agriculture et développement rural*. Actes des conférences et débats, Cirad-Sar, Montpellier, France, pp 301-315.

Papy F., Attonaty J.M., Laporte C, Soler L.G., 1988. Work organization simulation as a basis form farm management advice. *Agric. Syst.*, 27 : 295-314.

Papy F. Aubry C., Mousset J., 1990. Eléments pour le choix des équipements et chantiers d'implantation des cultures en liaison avec l'organisation du travail. In : Boiffin J. et A. Marin-Laflèche (Eds). *La structure du sol et son évolution*. Les colloques de l'Inra, Paris, France, 53, pp. 157-185.

Papy F., 2001. Interdépendance des systèmes de culture dans l'exploitation. In : Malézieux E. et al. (Coord.), *Modélisation des agrosystèmes et aide à la décision*. Edition Cirad et Inra, pp. 51-74

Peet M.M., 2005. Irrigation and fertilization. In : Heuvelink (Ed). *Tomatoes*. Crop Production Science in Horticulture Series. Cabi Publishing. United Kingdom, pp. 171-198.

Perniola M., Rivelli A.R, Candido V., 1994. Yield response to water and stress indexes on tomato. *Acta Horticulturae*, 376 : 215-225.

Pill W.G. and V.N. Lambeth, 1980. Effects of soil water regime and nitrogen form on blossom-end rot, yield relation and elemental composition of tomato. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 105 (5) : 730-734.

Picken A.J.F., Steward K., Klapwijk D., 1986. Germination and vegetative development. In : Atherton J.G. and J. Rudich (Eds). *The tomato crop. A scientific basis for improvement*. Chapman and Hall. London and New-York, pp. 111-166.

Portas C.A.M. and J.J.F.B. Diordo, 1980. Tomato root system, a short review with reference on tomatoes for processing. *Acta Horticulturae*, 100 : 113-124.

Raunet M., 1992. Les facteurs d'érosion des terres et d'envasement du lagon. Cirad, Mayotte, 69 p.

Regat M., 1997. Etude de modélisation du rendement de la tomate à croissance déterminée en milieu tropical. Mémoire DEA, INA P-G, Cirad Flhor Martinique, 25 p.

Rudich J., Rendon Poblete E., Stevens M.A., Ambri A.I., 1981. Use of leaf water potential to determine water stress in field grown tomato plants. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 106 : 732-736.

- Rylski I., 1979. Fruit set and development of seeded and seedless tomato fruits under diverse regimes of temperature and pollination. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 36 : 195-205.
- Scholberg J., Mac Neal B.L., Jones J.W., Boote K.J., Stanley C.D., Obreza T.A., 2000. Field grown tomato - growth and canopy characteristics of field grown tomato. *Agronomy Journal*, 92 : 152-159.
- Sebillotte M., 1974. Agronomie et agriculture. Essai d'analyse des tâches de l'agronome. *Cah. Orstom, Sér. Biol.*, 24 : 3-25.
- Sebillotte M., 1978. Itinéraire technique et évolution de la pensée agronomique. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 11 : 906-913.
- Sebillotte M., 1987. Du champ cultivé aux pratiques des agriculteurs : réflexions sur l'agronomie actuelle. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 73 (8) : 69-81.
- Sebillotte M. et L. Servettaz, 1989. Localisation et conduite de la betterave sucrière. L'analyse des décisions techniques. In : Sebillotte M. (Ed). *Fertilité et systèmes de production*. Inra, Paris, France, pp. 308-344.
- Sebillotte M. et L.G. Soler, 1988. Le concept de modèle général et la compréhension du comportement de l'agriculteur. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 74 : 59-70.
- Sebillotte M. et L.G. Soler, 1990. Les processus de décision des agriculteurs - I. Acquis et questions vives. In : Brossier et al. (Eds). *Modélisation systémique et systèmes agraires, décision et organisation*. Paris, Inra, pp. 93-117.
- Sène M., 1999. Analyse de l'influence des systèmes de culture sur la variabilité des rendements du sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) et sur son effet allélopathique dans le Sine-Saloum. Thèse de Docteur, INA P-G, Paris, France, 186 p. + annexes.
- Simon H.A., 1957. Administration behaviour : studymaking processive in administration organization. Traduction française, 1983, Economica, Paris, 322 p.
- Slack G. and A. Calvert, 1977. The effect of truss removal on the yield of early sown tomatoes. *J. Hort. Sci.*, 52 : 309-315.
- Slack, 1981. De-Leafing, to what effect? *Grower*, 95 : 16-21.
- Soquet A., 2003. Typologie des systèmes d'exploitation maraîchers sur l'île de Mayotte. Rapport de stage de césure, 3<sup>ème</sup> année DAG, Ensar, Cirad-Flhor, Mayotte, 67 p. + annexes.
- Spithost L.S., 1975. The relationship between plant quality and yield in glasshouse tomatoes. *Neth. J. Agri. Sci.*, 23 : 248-258.
- Stacey D.L., 1983. The effect of artificial defoliation on the yield of tomato plants and his relevance to pest damage. *J. Hort. Sci.*, 58 : 117-120.
- Stanghellini C., Kempkes F.L.K., Knies P., 2003. Enhancing environmental quality in agricultural systems. *Acta Horticulturae*, 609 : 277-283.
- Takahashi B., Eguchi T., Yoneda K., 1973. Studies on the flower formation in tomatoes and egg-plants. I. Effect of temperature regimes and fertilizer levels on the flower bud differentiation in tomatoes. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.*, 42 : 147-154.
- Tchamitchian M. et 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.

- Tei F., Benincasa P., M. Guiducci M., 2002a. Critical nitrogen concentration in processing tomato. *Europ. J. Agronomy*, 18 : 45-55.
- Tei F., Benincasa P., M. Guiducci M., 2002b. Effect on N availability on growth, N uptake, light interception and photosynthetic activity in processing tomato. *In* : Proceedings ISHS Workshop Towards an Ecologically Sound Fertilisation in field Vegetable Production, Wageningen, The Netherlands, 11-14 september 2000. *Acta Horticulturae*, 571 : 209-216.
- Temple L. et P. Moustier, 2004. Les fonctions et contraintes de l'agriculture périurbaine de quelques villes africaines (Yaoundé, Cotonou, Dakar). *Cahiers Agricultures*, 13 : 15-22.
- Turner N.C., 1981. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant and Soil*, 58 : 339-366.
- Van Der Post C.J., 1968. Simultaneous observations on root and top growth. *Acta Horticulturae*, 7 : 138-143.
- Van der Werf, H.M.G. and Zimmer, C., 1998. An indicator of pesticide environmental impact based on a fuzzy expert system. *Chemosphere*, 36 : 2225-2249.
- Van Lanteren J.C., 2000. A greenhouse without pesticides : facts or fantasy ? *Crop protection*, 19 : 375-384.
- Van Ootegem W., Feyen J., Badji M., Basstanie L., 1982. Optimisation de l'utilisation de l'eau par une culture de tomates de plein champ en climat semi-aride. *Agronomie*, 2 (1) : 31-36.
- 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.
- Vernaudon C., 1994. Le maraîchage à Mayotte. Document SDA-Cellule maraîchage, 30 p.
- Watson D.J., 1937. The estimation of leaf area in field crops. *J. agric. Sci.*, 27, 474-483.
- Watterson J.C., 1986. Diseases. *In* : Atherton J.G. and J. Rudich (Eds). *The tomato crop. A scientific basis for improvement*. Chapman and Hall. London and New-York, pp. 443-484.
- Weaver S.E. and Tan C.S., 1983. Critical period of weed interference in transplanted tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) : Growth analysis. *Weed Sci.*, 31 : 476-481.
- Wolk J.O., Kretchman D.W., Ortega D.G., 1983. Response to tomato defoliation. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 108 : 536-540.
- Yadava, U.L., 1986. A rapid non-destructive method to determine chlorophyll in intact leaves. *Hortscience*, 21 : 1449-1450.

## LISTE DES TABLEAUX

- Tableau I-1 : Composition des échantillons d'exploitations à partir de la typologie de Soquet (2003).
- Tableau II-1 : Caractéristiques des différents groupes d'agriculteurs en termes d'accès au foncier.
- Tableau II-2 : Catégories de cultures maraîchères selon leur durée de cycle et les niveaux de consommation en intrants et en main-d'œuvre.
- Tableau II-3 : Catégories de culture et nombre moyen de cultures maraîchères pratiquées par type d'agriculteur.
- Tableau II-4 : Nombre moyen de parcelles cultivées en tomate par type d'agriculteur et leur appartenance à un groupe foncier donné sur les campagnes 2003 et 2005.
- Tableau II-5 : Place de la tomate dans l'exploitation maraîchère en 2003 en termes de surfaces et de nombre de parcelles.
- Tableau II-6 : Etalement des périodes de plantation de la tomate sur l'exploitation durant la saison sèche en fonction du type d'agriculteur.
- Tableau II-7 : Variables décisionnelles et règles de décision de conduite culturale de la tomate.
- Tableau II-8 : Dépenses (en €) et temps de travaux moyens (en h) de Lep pour la conduite de 1000 m<sup>2</sup> de tomate.
- Tableau II-9 : Principales opérations culturales à forts besoins en main d'œuvre et quelques alternatives techniques possibles pour réduire les temps de travaux.
- Tableau II-10 : Différents types d'enchaînements d'opérations culturales relevés au cours des deux campagnes.
- Tableau II-11 : Modalités d'irrigation relevées pendant les campagnes 2003 et 2005.
- Tableau II-12 : Nombre d'apports effectués et quantités de fumier et d'engrais minéral apportées pendant la culture en 2003 et 2005.
- Tableau II-13 : Caractéristiques des traitements phytosanitaires, par phase du cycle cultural, en termes de nombre de traitements et de type de produits utilisés en 2003 et en 2005.
- Tableau II-14 : Modalités de traitements phytosanitaires par rapport au cycle de récolte dans les parcelles du réseau en 2003 et 2005.
- Tableau II-15 : Diversité d'itinéraires techniques observés sur les années 2003 et 2005.
- Tableau II-16 : Evolution des pratiques culturales de six agriculteurs entre 2003 et 2005.
- Tableau III-1 : Principaux ravageurs et maladies affectant la tomate à Mayotte.
- Tableau III-2 : Caractéristiques des principales maladies affectant la tomate à Mayotte (Berlinger, 1986 ; Waterson, 1986 ; Csizinszky *et al.*, 2005).
- Tableau III-3 : Effectif des parcelles par zone géographique et type de système de culture.
- Tableau III-4 : Liste des variables enregistrées dans le réseau de parcelles en 2003 et 2005.
- Tableau III-5 : Caractéristiques agro-climatiques des zones étudiées en 2003 et 2005 et du site de Petite-Terre (Pamandzi).
- Tableau III-6 : Variations des rendements biologiques et commerciaux, nombres moyens de plants/m<sup>2</sup> à la plantation (P) et à la récolte (Ri), nombre total de fruits/m<sup>2</sup>, nombre de fruits commerciaux/m<sup>2</sup>, nombre de tiges/m<sup>2</sup>, nombre de bouquets/m<sup>2</sup> et poids moyen d'un fruit en 2003 et 2005 dans les parcelles paysannes.
- Tableau III-7 : Sous composantes du rendement par plant pour les parcelles du réseau en 2003 et 2005.
- Tableau III-8 : Moyennes des nombres de fruits par tige et par bouquet selon leur ordre d'apparition sur la plante dans les parcelles suivies en 2005.
- Tableau III-9 : Maximum et minimum des nombres de fruits par tige et par bouquet selon leur ordre d'apparition sur la plante enregistrés dans le réseau de parcelles suivies en 2005.
- Tableau III-10 : Taux de satisfaction hydrique des parcelles pour chacune des phases du cycle cultural : plantation-floraison (P-F), floraison-1<sup>ère</sup> récolte (F-Ri), 1<sup>ère</sup> à dernière récolte (Ri-Rf).
- Tableau III-11 : Caractéristiques du système racinaire en 2003 et 2005 en fonction du type de travail du sol (mécanisé ou manuel).
- Tableau III-12 : Teneur en azote total et en matière organique, dans la couche 0-20 cm, des parcelles suivies en 2005.

Tableau III-13 : Effectif de parcelles par classe d'indice d'enherbement à trois périodes du cycle de culture : plantation à floraison du 1<sup>er</sup> bouquet (P-F1), floraison du 1<sup>er</sup> au 3<sup>ème</sup> bouquet (F1-F3), floraison du 3<sup>ème</sup> bouquet jusqu'au début des récoltes (F3-Ri).

Tableau III-14 : Variation du LAI (à Ri) par classes d'INN (à Ri) et d'indice de parasitisme (à la floraison) en 2005.

Tableau III-15 : Proportion de parcelles par classe d'indice parasitaire aux stades floraison et début de récoltes en 2003 et 2005.

Tableau III-16 : Variation du nombre total de fruits par m<sup>2</sup> (à Ri) par classes d'INN (à Ri) et d'indice de parasitisme (à la floraison) en 2005.

Tableau III-17 : Variation du poids moyen des fruits (en g) par classes d'INN (à Ri) et d'indice de parasitisme (à la floraison) en 2005.

Tableau III-18 : Relation entre le précédent cultural et l'état sanitaire des peuplements à la floraison dans le réseau de parcelles en 2003 et 2005.

Tableau III-19 : Doses moyennes d'insecticides et fongicides utilisées par les agriculteurs dans les parcelles du réseau en 2003 et en 2005 en pourcentage de la dose recommandée par les firmes phytopharmaceutiques.

Tableau III-20 : Caractéristiques chimiques du sol (couche 0-20 cm) de la parcelle de l'essai taille.

Tableau III-21 : Biomasse sèche des feuilles et tiges supprimées lors des opérations de taille et d'effeuillage dans les traitements T1 et T2 de l'essai taille.

Tableau III-22 : Comparaison du poids de fruits frais (Pds) en g et du nombre (Nb) de fruits par plant et par catégorie (fruits commercialisables (FC) et fruits non commercialisables (FNC)) entre traitements dans l'essai taille.

Tableau III-23 : Poids moyen (Pds) en g des fruits commercialisables (FC) et des fruits non commercialisables (FNC) par traitement dans l'essai taille.

Tableau III-24 : Contribution des trois premières tiges à l'élaboration de la production en pourcentage du nombre total de fruits par plant dans l'essai taille.

Tableau III-25 : Contribution des bouquets par rang de tige à l'élaboration de la production en pourcentage du nombre total de fruits par plant (A) et du poids total de fruits par plant (B) dans l'essai taille.

Tableau III-26 : Nombre de traitements phytosanitaires réalisés et état sanitaire des peuplements dans les quatre couples de parcelles paysannes suivies en 2005.

Tableau III-27 : Valeurs moyennes des composantes du rendement dans les quatre couples de parcelles paysannes suivies en 2005.

## LISTE DES FIGURES

- Figure I-1 : Températures et pluviométries moyennes mensuelles à Dembény sur la période 1994-2004 (source : météo nationale).
- Figure I-2 : Périodes de production de la tomate de plein champ pendant la saison sèche à Mayotte.
- Figure I-3 : Itinéraire technique moyen de la tomate.
- Figure I-4 : Représentation de la démarche de recherche ; niveaux d'analyse et résultats attendus.
- Figure II-1 : Déroulement et contenu des enquêtes aux cours des deux campagnes de tomate.
- Figure II-2 : Variables décisionnelles et règles de décision pour la gestion technique d'une sole dans l'exploitation selon Aubry *et al.*, 1998, Aubry et Dounias, 2005.
- Figure II-3 : Différents systèmes de cultures maraîchers incluant la tomate
- Figure II-4 : Principales successions culturales incluant la tomate rencontrées au cours des deux années de culture.
- Figure II-5 : Illustration de deux stratégies de gestion du calendrier des plantations de tomate : l'étalement et la concentration des plantations.
- Figure II-6 : Evolution du prix de vente de la tomate bord champ (en euro/kg) en cours d'année (source : Lubac, 2002).
- Figure II-7 : Représentation de la zone cultivable maraîchère de Ybo en 2003-2004.
- Figure II-8 : Modèle général de conduite prévisionnelle de la culture de la tomate par Lep.
- Figure III-1 : Cycle de développement de la tomate
- Figure III-2 : Représentation du mode de croissance sympodiale de la tomate.
- Figure III-3 : Développement d'un fruit de tomate (source : Grassely *et al.*, 2000).
- Figure III-4 : Relation entre milieu, techniques et fonctionnement du peuplement végétal (d'après Sebillotte, 1974, 1978 ; Meynard et David, 1992).
- Figure III-5 : Disposition des tensiomètres à quatre profondeurs en cm (T20, T40, T60, T80) dans la parcelle Mhs1 en 2005.
- Figure III-6 : Evolution de la pluviométrie mensuelle et de la température moyenne mensuelle dans différentes zones de l'île pendant la période d'enquêtes en 2003 et 2005 (source : météo nationale).
- Figure III-7 : Variabilité des rendements biologiques (en t/ha) dans le réseau de parcelles paysannes en 2003 et en 2005.
- Figure III-8 : Relation entre le rendement biologique (t/ha) et le nombre total de fruits par m<sup>2</sup> dans le réseau de parcelles en 2003 et en 2005.
- Figure III-9 : Relation entre le rendement biologique (t/ha) et le poids moyen d'un fruit (g) dans le réseau de parcelles en 2003 et en 2005.
- Figure III-10 : Relation entre le nombre total de fruits par m<sup>2</sup> et le nombre de bouquets par m<sup>2</sup> dans le réseau de parcelles en 2003 et en 2005.
- Figure III-11 : Relation entre le nombre de bouquets par m<sup>2</sup> et le nombre de tiges par m<sup>2</sup> en 2003 et en 2005.
- Figure III-12 : Relation entre le nombre de tiges par m<sup>2</sup> et le nombre de pieds par m<sup>2</sup> dans le réseau de parcelles en 2003 et en 2005.
- Figure III-13 : Relation entre le nombre de tiges par plant et la densité de plantation dans le réseau de parcelles en 2003 et en 2005.
- Figure III-14 : Ecart entre le nombre de plants/m<sup>2</sup> à la plantation (P) et le nombre de plants/m<sup>2</sup> à la récolte (Ri) dans le réseau de parcelles en 2003 et 2005.
- Figure III-15 : Relation entre le nombre de plants/m<sup>2</sup> à la récolte (Ri) et le nombre total de fruits/m<sup>2</sup> en 2003 et en 2005.
- Figure III-16 : Production moyenne par plant (en kg) et nombre total moyen de fruits récoltés par plant pour chaque parcelle suivie en 2003 et en 2005.
- Figure III-17 : Pourcentage moyen du nombre de fruits par bouquet et par rang de tige dans les parcelles suivies en 2005.
- Figure III-18 : Relation entre le nombre de fruits par bouquet et le nombre de bouquets par plant en 2003 et en 2005.
- Figure III-19 : Evolution du nombre moyen de tiges au cours du cycle cultural en 2005.

Figure III- 20 : Relation entre le nombre moyen de tiges par plant et la durée de la phase de récolte en 2003 et en 2005.

Figure III-21 : Relation entre le nombre moyen de bouquets par plant et la durée de la phase de récolte en 2003 et en 2005.

Figure III-22 : Evolution du nombre de bouquets par rang croissant de tige dans les parcelles suivies en 2005.

Figure III-23 : Poids moyen du fruit selon la position du bouquet sur la tige enregistré dans quatre parcelles suivies en 2005.

Figure III-24 : Contribution relative (en %) des différentes tiges à la production totale du plant dans quatre parcelles suivies en 2005.

Figure III-25 : Relations entre le taux de satisfaction hydrique pendant la période F-Ri et les composantes du rendement : (A) nombre total de fruits/m<sup>2</sup> à la récolte, (B) poids moyen du fruit (g).

Figure III-26 : Les différents types de profils racinaires rencontrés dans l'ensemble des parcelles suivies en 2003 et 2005 : forme en pot cylindrique (type A), forme d'entonnoir (type B), forme pyramidale (type C).

Figure III-27 : Evolution du potentiel hydrique à quatre profondeurs (20, 40, 60 et 80 cm) dans la parcelle Mhs1 en 2005, entre la plantation et le début de récolte.

Figure III-28 : Evolution des gradients de potentiel entre les différentes profondeurs d'implantation des tensiomètres dans la parcelle Mhs1 (30, 50 et 70 cm).

Figure III-29 : Relation entre l'état azoté du peuplement en début de récolte et le nombre de fruits par plant (A), le nombre de bouquets par plant (B), le poids moyen des fruits (C) pour l'année 2005.

Figure III-30 : Relation entre l'index foliaire (LAI) et l'indice de nutrition azotée (INN) en 2005 aux stades floraison (A) et début de récolte (B).

Figure III-31 : Relation entre le nombre total de fruits par plant et le LAI en début de récolte pendant la campagne 2005.

Figure III-32 : Relation entre le taux de couverture maximal du sol par la végétation de la tomate et le LAI mesuré en début de récolte pendant la campagne 2005.

Figure III-33 : Relation entre le nombre total de fruits par m<sup>2</sup> et le taux de couverture du sol par la végétation en 2003 et 2005.

Figure III-34 : Variation des teneurs en matière organique des sols des parcelles suivies en 2003 et 2005 dans les couches 0-20 cm et 20-40 cm.

Figure III-35 : Relation entre le rendement (t/ha) et le nombre de jours entre la plantation et le stade critique M3 (P-M3) en 2003 et 2005 dans les parcelles du réseau.

Figure III-36 : Relation entre le nombre de fruits par m<sup>2</sup> et le nombre de jours entre la plantation et le stade critique M3 (P-M3) en 2003 et 2005.

Figure III-37 : Relation entre l'indice parasitaire et le pourcentage de pieds morts entre la plantation et le début des récoltes en 2003 et 2005 dans les parcelles du réseau.

Figure III-38 : Relation entre les classes de densités de peuplement à la récolte et le pourcentage de plants morts entre la plantation et le début des récoltes dans les parcelles du réseau.

(Classes : 1 : < 1 plant/m<sup>2</sup> ; 2 : 1 à 2 plants/m<sup>2</sup> ; 3 : 2 à 3 plants/m<sup>2</sup> ; 4 : 3 à 4 plants/m<sup>2</sup> ; 5 : 4 à 5 plants/m<sup>2</sup> ; 6 : > 5 plants/m<sup>2</sup>)

Figure III-39 : Relation entre le nombre total de fruits par m<sup>2</sup> et la proportion de plants morts à la récolte par rapport à la densité de peuplement à la plantation dans les parcelles du réseau.

Figure III-40 : Relation entre le nombre total de fruits/m<sup>2</sup> et l'intervalle Plantation-stade critique M3 (en jours) selon les variétés cultivées en 2003 et 2005.

Figure III-41 : Relation entre le nombre de traitements phytosanitaires de la plantation (P) à la floraison (F) et l'indice parasitaire à deux stades du cycle cultural en 2003 et en 2005.

Figure III-42 : Evolution de la hauteur moyenne des plants (en cm) dans l'essai taille.

Figure III-43 : Evolution du volume moyen des plants (en cm<sup>3</sup>) dans l'essai taille.

Figure III- 44 : Poids sec des différentes parties végétatives de la plante en fin de récolte par modalité de conduite de la végétation (T0, T1 et T2) dans l'essai taille (PSF : poids sec feuilles ; PST : poids sec tiges ; PS F+T : poids sec feuilles + tiges ; T0 : sans taille ; T1 : taille légère ; T2 : taille paysanne).

Figure III-45 : Poids sec (en g) des différentes parties végétatives de la plante en fin de récolte en fonction du traitement dans l'essai taille (PSF : poids sec feuilles ; PST : poids sec tiges ; PS F+T : poids sec feuilles + tiges).



Figure III-46 : Poids frais (Pds) en g et nombre (Nb) de fruits par plant et par catégorie (fruits commercialisables (FC) et fruits non commercialisables (FNC)) selon le traitement dans l'essai taille.

Figure III-47 : Nombre moyen de tiges et de bouquets par plant en fonction du traitement dans l'essai taille.

Figure III-48 : Nombre moyen de bouquets par numéro de tige en fonction du traitement dans l'essai taille.

Figure III-49 : Nombre moyen de fruits par numéro de tige en fonction du traitement dans l'essai taille.

## LISTE DES CARTES

Carte 1 : Carte de situation de la région d'étude dans le monde.

Carte 2 : Carte de l'île de Mayotte.

Carte 3 : Situation des parcelles suivies par zone géographique.

## LISTE DES PHOTOS

Planche à photos n° 1 : Opérations culturales de la tomate : semis, trouaison.

Planche à photos n° 2 : Opérations culturales de la tomate : préparation du sol, plantation, arrosage, sarclo-binage.

Planche à photos n° 3 : Opérations culturales de la tomate : effeuillage-égourmandage, traitements, récolte.

Planche à photos n° 4 : Diversité de modes de culture de la tomate.

## LISTE DES ABREVIATIONS

ADVA	Association de Développement et de Vulgarisation Agricole
CAPAM	Chambre d'Agriculture, de la Pêche et de l'Aquaculture de Mayotte
CDM	Collectivité Départementale de Mayotte
CIRAD	Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
DAF	Direction de l'Agriculture et de la Forêt
DARTM	Direction de l'Agriculture et des Ressources Terrestres et Maritimes
EFM	Espace Fraîcheur Maoré
ENSP	Ecole Nationale Supérieure du Paysage
INA P-G	Institut National Agronomique Paris-Grignon
INRA	Institut National de la Recherche Agronomique
INSEE	Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
ITK	Itinéraire technique
PED	Pays en développement
SDA	Service de Développement Agricole
SDC	Système de culture
SMUPU	Systèmes maraîchers urbains et périurbains

## LISTE DES ANNEXES

- Annexe 1 : Typologie des producteurs maraîchers à Mayotte.
- Annexe 2 : Caractéristiques des principales variétés de tomate cultivées à Mayotte.
- Annexe 3 : Stratégies d'étalement et de concentration des plantations de tomate.
- Annexe 4 : Modèle de conduite prévisionnelle de la tomate de Lep et ses réalisations en 2003 et 2005.
- Annexe 5 : Planification et réalisations des opérations culturales de Lep en 2003.
- Annexe 6 : Planification et réalisations des opérations culturales de Lep en 2005.
- Annexe 7 : Mode opératoire pour le calcul des bilans hydriques.
- Annexe 8 : Caractéristiques climatiques dans les différents sites d'études de 2003 à 2005 : pluviométrie mensuelle (mm) et température moyenne mensuelle (°C). ETo (mm) ne concerne que le site de Pamandzi en Petite Terre (source : météo nationale).
- Annexe 9 : Procédure opératoire pour la caractérisation du fonctionnement des peuplements de tomate et des états du milieu.
- Annexe 10 : Programmes des traitements phytosanitaires réalisés dans les quatre couples de parcelles paysannes en 2005.
- Annexe 11 : Protocole de l'essai taille en station (2004).
- Annexe 12 : Itinéraires techniques des agriculteurs suivis en 2003 et 2005.
- Annexe 13 : Bilans hydriques des parcelles suivies en 2003 et 2005 à différentes phases du cycle cultural.
- Annexe 14 : Profils racinaires à la récolte dans les différentes parcelles en 2003 et 2005.
- Annexe 15 : Caractéristiques chimiques des sols (horizons 0-20 cm et 20-40 cm) des parcelles suivies.
- Annexe 16 : Caractéristiques granulométriques des sols (horizons 0-20 cm et 20-40 cm) des parcelles suivies.

## Annexe 1 : Typologie des producteurs maraîchers à Mayotte

### *Groupe A : personnes pratiquant un maraîchage peu intensif*

Il est surtout le fait des femmes, avec autoconsommation dominante, les surplus servant des rapports sociaux au sein de la famille élargie ou étant mis en marché très localement. Ces exploitants sont souvent regroupés en association pour avoir accès à un lopin de terre dans un périmètre irrigué. Les zones irriguées ont été aménagées par l'Etat dans les années 1980 dans le cadre des mesures de soutien à l'activité maraîchère.

Les surfaces cultivées sont petites et limitées par la force de travail de l'exploitant (rares « coups de main » de la famille et très rare salariat, même temporaire). Certaines parcelles sont laissées quelquefois en jachère faute de temps pour les travailler. L'équipement est souvent sommaire, mais au sein du groupement, les femmes se prêtent un pulvérisateur. Les surfaces étant petites, ces femmes se regroupent parfois pour effectuer le labour annuel. Certaines ont bénéficié de l'aide de l'administration pour aménager un petit abri bois (environ 100 m<sup>2</sup>) sensé servir à la culture en saison des pluies, mais il reste très peu exploité à cause de la chaleur qui y règne pendant la saison des pluies et de leur manque de savoir technique.

Les cultures sont généralement à cycle court (salade, brèdes, oignon vert, etc.) et la tomate est rarement cultivée. Elles mobilisent peu de travail et d'intrants. Les légumes sont aussi bien autoconsommés que vendus le plus souvent en vente directe, soit sur le marché local, soit au champ. Les revenus tirés de l'activité sont faibles à moyens.

Dans la typologie Sodel, ces types peuvent recouvrir des ménages de classe I (revenus irréguliers vendant des produits de l'agriculture) ou D (ménages dépendant des transferts sociaux mais vendant des produits agricoles) surtout, mais aussi A1 (ménages dépendant des activités agricoles).

Les fonctions de l'agriculture sont multiples : ces mères de famille se plaisent à retrouver d'autres femmes du village dans ces groupements. L'activité leur permet également d'acquérir une certaine indépendance financière vis-à-vis de leur mari, dans un contexte où la polygamie est courante. Elles recherchent davantage un emploi au salaire régulier (type CES) tout en gardant, autant que possible, leur petite parcelle de maraîchage.

### *Groupe B : personnes pratiquant un maraîchage « intensif »*

Le groupe B comporte des maraîchers que l'on peut qualifier « d'intensifs ». Sur des surfaces relativement importantes dans le contexte de l'île (0,6 ha en moyenne), ils cultivent diverses espèces, notamment des espèces à cycle long, qui sont surtout destinées à la vente : tomate, salade, aubergine, chou, concombre, etc. Ils possèdent des outils agricoles et un pulvérisateur. Les successions de cultures sont partiellement raisonnées (délais de retour, couples précédents-suivants) pour tenter de limiter les risques phytosanitaires. La conduite technique est relativement intensive avec apport de matière organique (compost fabriqué à partir de résidus de culture, litière de volailles) et souvent d'engrais minéral, et la pratique de traitements phytosanitaires. Les légumes sont aussi bien vendus sur l'exploitation que sur les marchés de proximité auprès d'une certaine clientèle fidélisée, ce qui permet à ces maraîchers d'être proches des attentes de la clientèle

On distingue trois types dans ce groupe B :

- Les mahorais d'origine (**type b1**) ; ils sont propriétaires de leur terrain ou dans l'attente de l'obtention d'un acte de propriété par l'administration. Ayant une stabilité foncière, ils peuvent investir dans du matériel d'irrigation et des tunnels plastiques et obtenir des aides de l'Etat et de la CDM. Ils ont parfois des arbres fruitiers sur l'exploitation.
- Les migrants originaires des autres îles des Comores (**type b2**), notamment Anjouan, et qui sont pour la plupart en situation irrégulière, certains depuis longtemps. Ils obtiennent un terrain en location ou en prêt par contrat verbal facilement récusable. Ils ont souvent peu de moyens financiers et sont en

situation de précarité foncière, ce qui limite très fortement leurs possibilités d'intensification. Néanmoins, ils sont ouverts à toute innovation technique et s'investissent dans le maraîchage pour réussir et gagner de l'argent.

- Les mahorais double-actifs, (**type b3**) disposant d'un revenu extérieur régulier leur permettant de financer les activités maraîchères. Comme ils ont un emploi (souvent dans la fonction publique), ils ne peuvent accéder aux subventions. Ils recrutent des ouvriers (généralement clandestins) qui exécutent leurs décisions techniques.

L'essentiel des revenus du ménage provient du maraîchage. La main d'œuvre est familiale, souvent le couple. Chez les individus double-actifs, la main d'œuvre est composée d'ouvriers travaillant à temps plein sur l'exploitation. Ils appartiennent nettement à la classe A (ménages dépendant de l'agriculture) ou à la classe R (ménages disposant de revenus réguliers et vendant des produits agricoles) de la typologie Sodel.

### ***Groupe C : agriculteurs spécialisés ou « modernes »***

Ce maraîchage est plutôt intensif et spécialisé. Il est le fait de producteurs allochtones, réunionnais ou métropolitains et de quelques producteurs mahorais, qui pour la plupart possèdent des abris tunnels pour pouvoir produire toute l'année. Ils vendent et livrent les récoltes en gros aux grandes surfaces, aux hôtels, mais aussi à des revendeurs et à des particuliers qui viennent acheter sur l'exploitation. La gamme d'espèces cultivées est large (tomate, laitue, concombre, melon, courgette, aubergine...).

Les producteurs mahorais sont souvent impliqués dans les organisations professionnelles et syndicales et ont une assez bonne connaissance du fonctionnement des institutions agricoles, situation qui leur confère un certain avantage dans la course aux aides publiques. Ils sont surtout situés à Mamoudzou pour faciliter l'écoulement des produits, et dans la zone centre où le climat et les sols sont favorables aux cultures maraîchères. Quelques-uns possèdent un élevage intensif de volailles, ce qui leur permet d'avoir du fumier pour les cultures, d'en vendre ou d'en offrir en échange du nettoyage du poulailler. Ils ont une assez bonne connaissance technique, acquise souvent par le biais d'une formation agricole. Ils emploient des ouvriers permanents (clandestins) et n'ont pas de problème de main-d'œuvre. Les surfaces sont assez grandes (plus de 0,5 ha).

Les caractéristiques de ces exploitants qualifiés de « modernes » dans le bilan-diagnostic Sodel sont leur connaissance relative des aides offertes par les services de l'agriculture et leur capacité de dialogue et de négociation avec l'administration. Ils se démarquent également par une certaine spécialisation de l'activité agricole à des fins commerciales (maraîchage, aviculture, floriculture, ...).

Cette différenciation des structures de production est extrêmement générale, observable dans la plupart des pays d'économie de marché. Leur coexistence ne traduit pas, bien sûr, une succession chronologique qui ferait du dernier le plus évolué, mais exprime les différences entre les modes d'approvisionnement alimentaire des différents groupes sociaux. Les sociétés contemporaines des villes européennes les voient ré-émerger :

- Le type A s'apparente au potager rural, paysan ou ouvrier ;
- Le type B, maraîchage de production vente, a été en forte expansion, surtout dans les grandes villes, au cours des décennies 70 à 90 ; son développement économique s'accompagne d'une crise latente de coût de main-d'œuvre dès que celle-ci n'est plus strictement familiale.
- Le type C désigne très précisément le maraîchage dont les produits sont destinés aux filières spécialisées organisées voire aux marchés internationaux.

## Annexe 2 : Caractéristiques des principales variétés de tomate cultivées à Mayotte

	Calinago	Caraïbo	Carioca	Floradade	King-Kong	Caracoli	Caribou	Mongal	
Type de variété	hybride F1 déterminée	hybride F1 déterminée	hybride F1 déterminée	hybride F1 déterminée	hybride F1 déterminée	hybride F1 indéterminée	hybride F1 indéterminée	hybride F1 déterminée	
<b>Résistance ou tolérance</b>									
<i>Pseudomonas</i>	oui		oui			*		oui	
<i>Verticillium</i>			oui	oui					
<i>Fusarium</i>	oui		race 1	race 1 et 2		oui		oui	
<i>Stemphylium</i>	oui		oui	oui		oui		oui	
<i>Alternaria</i>				oui					
Flétrissement bactérien	**	***	***	0	0	**	**	***	
Nématodes	-	-						-	
Chaleur	**	***						***	
Stress hydrique et minéraux	*	***						**	
Taille fruits	140 à 160g	120 à 140 g	120 à 140g	120 à 140g		170 à 200g	150 à 200 g	150 à 200 g	
<b>Système de culture recommandé</b>									
Plein champ non irrigué	non	oui	adaptée à la culture en zone tropicale en saison sèche et fraîche	convient aux zones tropicales humides et semi-humides	non	non	non	non	
Plein champ irrigué	oui	non			oui	oui	oui	oui	oui
Sous abri pleine terre	oui	non			oui	oui	oui	oui	oui
Sous abri hors sol	non	non			non	non	non	non	non
<b>Potentiel de production</b>	bon	moyen	bon	bon <sup>1</sup>	bon <sup>1</sup>	très bon	moyen	bon	

<sup>1</sup>si pas de flétrissement bactérien

\*\*\*, \*\*, \*, 0 : respectivement variété très résistante, moyennement résistante, tolérante, sensible

### Annexe 3 : Stratégies d'étalement et de concentration des plantations de tomate

Illustration par trois producteurs représentatifs de la diversité des situations rencontrées :

**Cas de l'agricultrice Zal** (type b1/gf1) : l'exploitation maraîchère de 4000 m<sup>2</sup> environ est située dans le centre de l'île. Cette productrice est pluri-active et ne peut donc être présente en permanence sur l'exploitation. Elle emploie cinq personnes (en situation irrégulière) pendant la campagne de saison sèche. Elle s'est spécialisée dans la culture de tomate même si elle cultive un peu de concombre et autres Cucurbitacées. La figure II-5 représente l'étalement des cycles de production des principales cultures rencontrées sur son exploitation sur une saison par lots de parcelles, c'est-à-dire un ensemble de parcelles de la sole qui tout au long du cycle reçoit le même itinéraire technique (avec éventuellement plusieurs variétés au sein d'un même lot). Une partie de la surface maraîchère se situe dans un terrain marécageux, ce qui fait que sa mise en culture en tomate ne peut commencer qu'une fois le terrain ressuyé, c'est-à-dire à partir du mois de mai. En revanche, les parties du terrain bien drainées en haut de pente peuvent recevoir des plantations à partir du mois de mars.

L'étalement des dates de plantation lui permet de vendre régulièrement des tomates et donc d'avoir une entrée financière régulière tout au long de la saison. Les plus grandes surfaces sont plantées en mars et en août pour des récoltes respectivement en juin et en novembre-décembre, périodes durant lesquelles la production sur l'île est relativement faible, la demande présente et les prix élevés.

**Cas de l'agriculteur Ybo** (type b1/gf1) : L'exploitation maraîchère de 2000 m<sup>2</sup> environ se situe dans le sud de l'île. Ybo travaille seul sur l'exploitation avec l'aide occasionnelle de sa femme. Les cultures sont très diversifiées : salade, concombre, oignon, chou, tomate, brèdes, courgette, ....

Ybo a choisi de planter trois variétés de tomate et de concentrer les dates de plantation de façon décalée par rapport aux autres cultures pour plusieurs raisons. En effet, la plantation de la tomate est une opération qui demande beaucoup de temps. Comme il ne fait pas appel à de la main-d'œuvre extérieure, il ne peut pas réaliser d'autres opérations sur les autres cultures à ce moment, excepté l'irrigation. Ainsi, pour éviter une surcharge de travail lors de la plantation des tomates et pour pouvoir s'occuper de l'entretien des différentes cultures sur l'exploitation, il a fait le choix de décaler les dates de plantation et de réaliser de petites parcelles de tomate (moins d'un are à quelques ares). Les parcelles sont les unes à coté des autres et plantées en trois variétés différentes afin de limiter les risques liés aux problèmes phytosanitaires.

Pour faciliter l'écoulement de la production, il plante au début du mois de juin pour récolter à partir de fin août, en fin du pic de production, période correspondant également au retour sur l'île des vacanciers « aoûtistes » et donc à la reprise de la consommation et à la remontée des prix.

**Cas de l'agriculteur Smd** (type b2/gf2) : Le terrain maraîcher de 600 m<sup>2</sup> environ se situe dans le nord-est de l'île. Smd est clandestin et exploite seul son terrain. Il cultive peu d'espèces mais des produits maraîchers qu'il pourra vendre sans problème : tomate, salade, concombre, pastèque, melon... La figure II-5 montre l'étalement des cycles de production des principales cultures rencontrées sur l'exploitation. Il s'agit d'un terrain qu'il a défriché et qui est traversé par un chemin carrossable. L'une des parties du terrain était occupée par des « avocats marron » et des broussailles, l'autre par du manioc et des bananiers en fin de culture. Comme il travaille seul sur l'exploitation, il ne peut pas planter avant mai pour diverses raisons : il doit i) attendre la fin de la saison des pluies ; ii) réaliser le défrichage manuel de la parcelle ; iii) attendre l'arrivée du tracteur pour le labour du sol.

Les plantations maraîchères sont donc groupées de mai à juillet ; les semis sont réalisés après la saison des pluies et les dernières récoltes ont lieu avant l'arrivée des grosses pluies de novembre-décembre qui marquent la fin de la saison sèche. Par ailleurs, il effectue des petits travaux de maçonnerie pour des particuliers pour compléter ses revenus. Comme il est clandestin, il s'arrange avec le propriétaire du terrain pour vendre une partie de sa production à une coopérative agricole par son intermédiaire. Il envisage à terme de tripler ses surfaces et de diversifier ses productions pour accroître ses revenus et limiter les méventes. L'étalement des plantations et la diversification des cultures doivent lui permettre de mieux valoriser ses productions et de passer à une stratégie commerciale offensive.

## **Annexe 4 : Modèle de conduite prévisionnelle de la tomate de Lep et ses réalisations en 2003 et 2005**

Nous distinguons trois grandes phases culturales délimitées par des stades repères connus des agriculteurs et servant de guide pour des interventions culturales : semis, plantation, floraison, début des récoltes et fin des récoltes. A chacune des ces phases, correspondent des opérations culturales variées.

- La **période d'implantation de la culture** comprend toutes les opérations culturales du semis à la plantation. Pendant cette phase, les agriculteurs sont confrontés à de nombreuses décisions : choix variétal, choix de la date de semis et d'échelonnement des plantations, choix du mode de travail du sol en relation avec la disponibilité en machines agricoles et la portance du sol en fin de saison des pluies, choix du type de fumure de fond en tenant compte de la disponibilité en fumier et en engrais.
- La **période d'entretien de la culture** (de la plantation à la maturité des premiers fruits) est celle où les producteurs sont confrontés à la gestion quasi-quotidienne de l'irrigation, à l'approvisionnement en intrants (pesticides, engrais) et à leur utilisation, au sarclage, à la taille et à l'égourmandage des plants qui exigent, comme l'irrigation, des besoins importants en main d'œuvre, et qui se déroulent parfois en même temps.
- La **phase des récoltes** va de la première à la dernière récolte, et s'étale sur une durée de un à deux mois. Il peut y avoir pendant cette période des décisions liées à l'accélération de la maturité des fruits, ou à l'opportunité de réaliser ou non des traitements phytosanitaires.

Lep cultive la tomate à Mayotte comme il avait l'habitude de le faire en Grande Comore. Il fait partie des premiers immigrés à avoir diffusé la culture de la grosse tomate dans l'île. Pendant plusieurs années, il a encadré sur son exploitation de nombreux élèves du Lycée agricole en stage de formation (Capa, Bepa). Fort de son passé d'agent vulgarisateur, il enregistre la plupart des opérations culturales sur un carnet de bord, ce qui lui permet de suivre, de modifier et d'évaluer les performances de ses modes de production d'année en année. C'est lui seul, comme tous les autres agriculteurs enquêtés d'ailleurs, qui décide de la conduite technique pour l'ensemble des cultures de l'exploitation.

### **1. La phase d'implantation de la culture**

Nous avons choisi de présenter les règles dans un ordre qui nous semble le plus adapté à la compréhension du lecteur. Notre présentation s'inspire de la formalisation décrite par Aubry (1995). Pour chacune des opérations, nous décrivons (i) les modalités de l'opération et les règles d'attribution de ces modalités, (ii) leur positionnement temporel avec les règles de déclenchement et de fin et les règles d'enchaînement, (iii) les règles d'arbitrage.

#### **1.1. La gestion des semis en pépinière**

##### Modalités :

La pratique du semis en pépinière est généralisée à Mayotte. Lep laboure au pic une surface de deux à trois m<sup>2</sup> environ pour préparer la pépinière. Après le labour, il prévoit une fumure de fond : trois grosses poignées de fumier (de poules ou lapins) + une grosse poignée d'engrais NPK (environ 30 g) qu'il mélange à la terre. Il façonne ensuite au râteau une planche surélevée de 10 à 15 cm et affine le lit de semences avec le même outil. Puis, il trace avec un bâton ou une serfouette des sillons distants de 20 cm environ et de 2 à 3 cm de profondeur. Les graines de tomate sont disposées en ligne au fond des sillons, puis ces derniers sont refermés avec de la terre qui est ensuite légèrement tassée à la main. La planche est ensuite entièrement arrosée, puis recouverte de feuilles de palmiers ou de bananiers pendant quelques jours pour maintenir l'humidité du sol favorable à la levée des graines. Il arrose tous les jours avec un arrosoir. Lep prévoit deux traitements phytosanitaires préventifs (le premier avec un fongicide, et le deuxième avec un fongicide + insecticide) entre le dixième jour après semis et la plantation. S'il observe des attaques fongiques ou de ravageurs, il effectue un traitement supplémentaire. Si deux semaines environ après le semis, il constate que la levée est mauvaise, il réalise un autre semis de rattrapage pour avoir le nombre de plants qu'il escomptait au départ.



### Règles de constitution de la modalité :

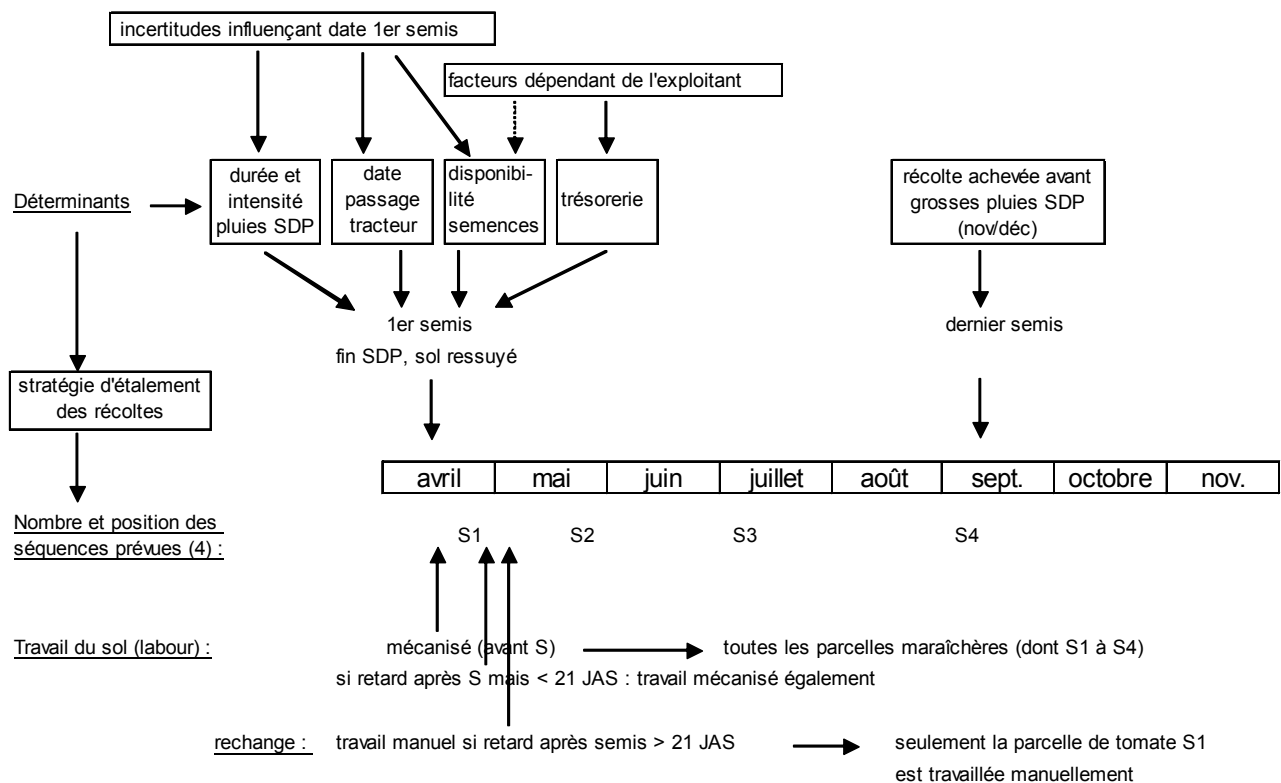
Lep, comme les autres agriculteurs, ne raisonne pas en surface de tomate à planter mais plutôt en nombre de plants à repiquer au champ, un seul plant étant repiqué par trou. La surface cultivée en tomate est donc la résultante du nombre de plants qu'il envisage de planter. Ainsi, à partir du nombre de plants escompté, l'agriculteur détermine la quantité approximative de semences qu'il lui faut, et par conséquent la taille de la pépinière. Les sachets de tomate vendus par les fournisseurs, contiennent, selon les variétés, environ 1500 graines (5 grammes) ou 450 graines (cas de Carioca) ou 80 graines (cas de Caracoli, Mongal). L'agriculteur sème suffisamment de graines pour avoir le nombre de plants prévus, et ce quel que soit le coût de la semence ; par exemple le sachet de 5 grammes de Calinago coûte 22 euros alors que le sachet de 450 graines de Carioca coûte 1,60 euros. Il n'y a pas de maîtrise réelle de la quantité de graines semée. L'agriculteur peut réajuster la surface de la parcelle initialement destinée à la tomate en fonction des plants disponibles en pépinière, mais il arrive aussi, bien que cette situation soit rare, que des plants soient perdus par manque de place au moment de la plantation.

### Le positionnement temporel des interventions :

- Intervalle de temps de réalisation des semis sur la campagne :

Sur la campagne de saison sèche, Lep prévoit au moins trois séquences de semis de tomate échelonnées en pépinière, voire un quatrième si le premier semis intervient tôt dans la saison et s'il pense pouvoir terminer les récoltes issues de ce quatrième semis avant les premières grosses pluies de la saison des pluies (en novembre-décembre). Pour une fin de récolte en décembre, il faut que Lep plante au plus tard en octobre et sème par conséquent au plus tard début septembre. C'est donc la date prévisionnelle des dernières récoltes de saison sèche qui détermine la date du dernier semis.

L'objectif de Lep est de réaliser une première séquence de semis en mars/avril afin d'être parmi les premiers à vendre de la tomate sur les marchés. Les autres séquences de semis sont prévues à un mois d'intervalle, soit en mai, en juillet et en septembre au plus tard (cf ci-dessous).



- Règles de déclenchement et de fin :

Nous nous intéressons tout particulièrement à la date du premier semis de tomate qui marque le début de la campagne de saison sèche. Quatre facteurs conditionnent le démarrage du semis :

- la durée et l'intensité de la saison des pluies ;
- la date de passage du tracteur ;
- la disponibilité en semences ;
- la disponibilité en argent.

C'est la baisse de la fréquence des pluies et de leur intensité qui marque la fin de la saison des pluies. Les sols sont ressuyés plus ou moins vite selon que la saison a été très pluvieuse ou pas et selon l'emplacement du terrain (haut de pente ou bas fond). L'agriculteur tient donc compte de ce critère pour décider à un moment d'effectuer le premier semis de pépinière et de se lancer dans la préparation du sol. S'il envisage le labour à la charrue, il va alors s'enquérir des disponibilités du tracteur auprès de la Daf ou de l'Adva et y poser sa demande d'intervention. Le producteur se renseigne sur la date à laquelle il est prévu que le tracteur passe et prévoit ensuite la date de semis en intégrant un retard possible du tracteur. Sa démarche procède de la planification. Lorsque le tracteur a du retard, Lep s'organise pour ne pas perdre sa pépinière : il engage la préparation manuelle du sol lorsque les plants ont 20-21 jours de pépinière. C'est aussi à cette date qu'il estime le nombre de plants disponibles en pépinière pour connaître le nombre de trous de plantation à faire.

Un autre facteur conditionnant la date du semis est la disponibilité en semences. Ce problème se fait surtout sentir en début de saison sèche alors que la demande en intrants est la plus forte. La majorité des producteurs se fournit en semences à l'Adva. Les ruptures de stocks sont fréquentes.

Lep n'attend pas le démarrage de la campagne agricole pour se procurer des semences. Un ou deux mois avant, il effectue ses achats de semences. Mais, il a aussi l'habitude de garder en stock un peu de semences de la campagne précédente de façon à pouvoir démarrer le premier semis avec ses propres graines. Pour acheter les graines et autres intrants, il faut de l'argent, et c'est donc la disponibilité en trésorerie qui conditionne aussi la date de semis. En effet, Lep, comme certains agriculteurs de types b1 et b2, n'a pas d'activité agricole commerciale pendant la saison des pluies, et il peut parfois manquer de ressources pour acheter semences, engrais et produits phytosanitaires en début de campagne, l'argent disponible servant avant tout à assurer en priorité les besoins de base (nourrir la famille, logement) et à participer à certains événements religieux. Avant d'engager le premier cycle de tomate, il peut alors réaliser un premier cycle de culture court (exemple courgette) pour se procurer de la trésorerie.

Les plants sont repiqués au champ quand ils mesurent 15 à 20 cm de hauteur et avant qu'ils ne soient étiolés, c'est à dire quand ils sont âgés de 25 à 35 jours.

## 1.2. Le choix variétal

Lep, comme les autres agriculteurs, recherche en priorité des variétés résistantes au flétrissement bactérien (*Ralstonia solanacearum*). Le coût des semences vient en dernière position après le critère de productivité du plant. Les techniciens de la Daf ont vulgarisé les variétés plus ou moins résistantes au flétrissement bactérien auprès des agriculteurs et de l'Adva.

La plupart des variétés proposées sont aussi des variétés à croissance déterminée adaptées à la culture de plein champ : Caraïbo, Carioca, Calinago, Caribou, Mongal, King-Kong. On trouve plus rarement d'autres variétés telles que Floradade, peu résistante au flétrissement. Les caractéristiques de ces variétés sont indiquées en annexe 2. Certaines variétés anciennes, telles que Caraïbo, Caribou sont de moins en moins disponibles à Mayotte, et remplacées par de nouvelles variétés telles que Mongal. Caracoli est prisée également par les agriculteurs mais il s'agit d'une variété à croissance indéterminée qu'il faut absolument palisser ou tuteurer.

Certains agriculteurs produisent eux-mêmes des semences pour ne pas être dépendants des fournisseurs locaux d'intrants (cas d'Ybo avec la variété Chamou).

### 1.3. Le labour

Modalités de travail du sol : On en distingue deux selon l'équipement mobilisé et la main d'œuvre : le labour mécanisé et le travail manuel du sol (ou « grattage » du sol)

- le labour mécanisé : il est réalisé par le service de mécano-culture du SDA/DAF ou par l'ADVA. Les mauvaises herbes et les résidus de la culture précédente sont enfouis lors du travail du sol. En effet, en fin de saison sèche, les plants de la dernière culture ne sont pas arrachés après la récolte et ils se dessèchent au champ. Dans le cas d'un précédent cultural « tomate », les plants ne sont donc pas arrachés. Cette pratique favorise le maintien des inoculum parasites dans le sol (exemple : flétrissement bactérien, nématodes, ...).  
Si la parcelle maraîchère est très enherbée, Lep sollicite l'intervention du gyrobroyeur avant le passage de la charrue. Cette opération supplémentaire peut générer du retard dans la date de plantation, car il faut mobiliser deux tracteurs si le chantier est combiné pour les deux opérations (l'un pour la charrue, l'autre pour le gyrobroyeur) ou alors faire un chantier successif ce qui nécessite deux passages du tracteur (gyrobroyeur, puis labour) alors que le parc d'engins agricoles est assez limité et que la demande en prestation est forte en début de saison.
- le "grattage" manuel : la parcelle de tomate est désherbée au chombo, puis les résidus de culture et les mauvaises herbes sont évacués hors de la parcelle. Ces déchets sont mis en tas à pourrir à l'extérieur de la parcelle, généralement sous un arbre ; ils sont rarement brûlés. Après ce « grattage » superficiel, le sol est travaillé au pic ou au "chombo" seulement au niveau du trou de plantation. Lep ne travaille pas la totalité de la parcelle maraîchère avant de démarrer les premières plantations. Il travaille dans un premier temps la surface nécessaire correspondant au premier semis réalisé en pépinière, puis travaille le reste de la parcelle au fur et à mesure que les semis ont été effectués.

On voit apparaître ici un découpage dans les unités de gestion : la parcelle maraîchère est découpée en parcelles de tomate correspondant aux différentes séquences de semis, elles mêmes en partie fonction de la réussite des pépinières dont elles sont redevables.

Lep n'emploie pas d'ouvrier permanent en deçà d'une surface correspondant à 1000 pieds de tomate environ. C'est le cas en tout début de campagne quand la surface emblavée est encore faible (inférieure à 700-800 m<sup>2</sup>). Très vite, au bout de quelques semaines, il recrute un ouvrier car en plus de la première culture de tomate à entretenir, il a planté des courgettes et d'autres cultures et doit commencer à préparer l'autre parcelle de tomate correspondant à la deuxième séquence de semis. Il adapte donc les chantiers de désherbage-trouaison en fonction de la main d'œuvre disponible et de l'étalement des semis.

#### Règles d'attribution des modalités :

Les facteurs déterminant le labour mécanisé sont : l'accessibilité à la parcelle maraîchère, la taille de la parcelle et le coût de cette prestation. Le prestataire de service ne se déplace pas si la parcelle est trop petite (< 1000 m<sup>2</sup>). Le passage de la charrue (et exceptionnellement le rotavator) est facturé 91,5 euros par hectare. Ce coût, jugé trop élevé par certains agriculteurs, est en fait un coût subventionné par la Collectivité (inférieur au coût réel). La mécano-culture est appréciée des agriculteurs car elle permet de gagner du temps et d'économiser de la main d'œuvre. Le service de mécano-culture a été transféré au Conseil Général par la Daf en 2005. Il devrait être réorganisé en 2007 afin de fournir un meilleur service aux agriculteurs (diminution du délai commande-exécution des travaux, diversification des prestations, qualité des travaux...).

#### Le positionnement temporel des interventions :

- Intervalle de temps du travail du sol (IT) :

A l'échelle de la saison sèche et du territoire maraîcher, le labour à la charrue n'est généralement effectué qu'une seule fois en début de saison. Après la première mise en culture d'une parcelle, le sol est préparé manuellement pour les cultures suivantes. Le labour mécanique se positionne au plus tôt dans la saison dès que le sol est suffisamment ressuyé pour assurer la portance des engins agricoles, soit vers les mois d'avril-mai. A partir des mois de juillet-août, le service de mécano-culture est beaucoup moins sollicité car les parcelles maraîchères sont dans leur grande majorité déjà mises en cultures à ce moment

là. En effet, le maraîchage étant avant tout une activité de rente, les agriculteurs ne peuvent pas se permettre d'attendre plusieurs mois l'intervention du tracteur sur l'exploitation sans rien produire. Le labour manuel commence assez tôt vers le mois d'avril et se prolonge beaucoup plus tard dans la saison jusque vers fin août-début septembre, période des derniers semis de tomate de saison sèche. L'IT du labour mécanisé est donc plus réduit que celui du labour manuel.

A l'échelle du cycle cultural et donc de la parcelle de tomate, Lep prévoit un labour mécanisé, mais passé un certain délai qui correspond à un âge limite des plants en pépinière de 20 à 25 jours après semis, il commence à préparer le sol manuellement si le tractoriste n'est pas encore intervenu. En effet, Lep ne veut pas prendre le risque de perdre les plants et de commencer un nouveau semis qui retardera d'autant le démarrage de la campagne. Si le tracteur arrive sur l'exploitation en cours ou après la préparation de la parcelle de tomate résultant du premier semis, le reste du terrain maraîcher sera labouré au tracteur comme cela était initialement prévu.

On voit bien que la modalité 2 (travail manuel du sol) correspond soit à un choix, soit à une solution de rechange quand l'IT du labour pour la préparation de la parcelle est fini (la règle de fin étant liée à l'indicateur âge limite des plants).

- Règles de déclenchement et de fin :

Pour pouvoir commencer à travailler la parcelle maraîchère après la saison des pluies, Lep attend que la terre soit ressuyée. Cette date est fonction des épisodes de pluies de fin de saison. L'état d'humectation du sol est apprécié par deux indicateurs différant selon la modalité (i) l'état d'humectation du sol apprécié par l'agriculteur dans le cas d'un travail manuel ; (ii) la portance du sol appréciée par le tractoriste dans le cas du labour.

Les machinistes peuvent intervenir dès le début de la saison sèche. Dans un premier temps, un technicien délimite la parcelle, évalue la nécessité du gyrobroyage ou non, et établit une fiche de travaux en notant la date souhaitée d'intervention. Puis, l'agriculteur doit acquitter le coût de la prestation auprès du service administratif basé à Coconi (centre de l'île). Dès lors, le service de logistique programme la date d'intervention en fonction des commandes préalables et des engins disponibles. Le nombre de tracteurs étant limité (4 pour toute l'île) et les pannes assez fréquentes, le prestataire de services ne parvient pas toujours à respecter le calendrier prévisionnel des travaux. En 2004 par exemple, plusieurs tracteurs étaient en panne au moment où la demande était forte, ce qui a entraîné un retard dans la mise en place des cultures chez un grand nombre de producteurs.

Règles d'enchaînement :

Deux grands types d'enchaînement sont prévus. Le premier établit la succession suivante : gyrobroyage si le tapis de mauvaises herbes est important, labour mécanique à la charrue à socs avec enfouissement des résidus et double passage pour casser les grosses mottes.

Le deuxième type d'enchaînement ne comprend pas de labour en plein, et commence par un désherbage au chombo de la parcelle qui recevra le premier semis de tomate, suivi d'un ramassage des mauvaises herbes et de leur évacuation de la parcelle.

Les unités de gestion :

L'agriculteur ne disposant que d'un seul champ maraîcher, le labour mécanique est opéré une seule fois en début de campagne sur l'ensemble du terrain destiné à recevoir les différentes cultures maraîchères.

Pour le travail mécanisé, l'unité de gestion est le terrain maraîcher (ou zone cultivable maraîchère) alors que pour le travail manuel, l'unité de gestion est une parcelle de tomate (avec un labour localisé au trou de plantation).

#### **1.4. La trouaison**

Modalités :

Après le travail du sol, Lep procède à la « trouaison ». Cette technique consiste à creuser au chombo ou au pic un trou de 30 à 40 cm de large sur 20 à 25 cm de profondeur. Les trous sont alignés en

tendant une corde de part et d'autre de la ligne de plantation. Nous observons deux modalités selon l'outil utilisé et le type de travail du sol qui précède la trouaison.

#### Règles d'attribution des modalités :

Les deux modalités se ressemblent par la taille du trou et leur alignement mais se distinguent par leur pénibilité et le temps de travail. L'outil employé pour faire les trous est fonction de la dureté de la terre.

- 1) Si le terrain a été labouré en plein à la charrue, la terre est relativement meuble sur 20 à 30 cm de profondeur et l'agriculteur va utiliser le chombo pour faire les trous.
- 2) Si le sol a été préparé manuellement (c'est-à-dire désherbé par grattage superficiel), la terre est relativement dure et compacte, et l'agriculteur va alors utiliser un pic pour faire les trous. Dans ce cas, il ne labore pas la parcelle en plein, mais localise le labour seulement au niveau du trou de plantation. Le labour coïncide ici avec la trouaison.

Dans un sol labouré à la charrue, la trouaison proprement dite est moins pénible et prend moins de temps que dans le cas d'un sol préparé manuellement.

#### Le positionnement temporel des interventions :

- Intervalle de temps de la trouaison (IT) :

La trouaison s'accompagne généralement d'autres opérations élémentaires : l'apport d'une fumure de fond (à base d'engrais NPK et/ou de fumier), le mélange de la fumure à la terre, le rebouchage des trous et l'arrosage localisé au trou après l'apport de la fumure, notamment quand il s'agit de fumier de poules. Ce chantier s'intercale entre la préparation du sol (début de IT) et la plantation (fin de IT). Il peut durer moins d'une journée ou s'étaler sur plusieurs jours selon la surface à planter et la main d'œuvre disponible.

- Règles de déclenchement et de fin :

La réalisation des trous démarre dès la fin de la préparation du sol et se termine dès que l'agriculteur estime que le nombre de plants qu'il avait prévu de planter (et qui sont disponibles en pépinière) est atteint.

#### Règles d'enchaînement :

Comme nous l'avons expliqué ci-dessus, la trouaison est combinée à d'autres travaux élémentaires qui peuvent être effectués l'un après l'autre au niveau du trou, ou alors peuvent s'enchaîner à l'échelle de la parcelle. On distingue donc deux types de chantiers différents selon l'unité de gestion concernée, la parcelle ou le trou.

Dans le premier cas, l'agriculteur effectue tous les trous sur la parcelle, puis épand l'engrais et le fumier au trou, et rebouche ensuite tous les trous. Selon la main d'œuvre disponible et la surface à planter, le travail peut s'étaler sur 2 à 3 jours.

Dans l'autre cas, il effectue l'ensemble des opérations élémentaires trou par trou sur une portion de parcelle dans une journée ou une partie de journée et répète l'opération le lendemain, voire le surlendemain jusqu'à terminer les travaux sur l'ensemble de la parcelle.

#### Les unités de gestion :

Indépendamment du type de travail du sol et d'outil utilisé pour faire les trous, l'unité de gestion pour l'opération de trouaison est soit la parcelle entière de tomate, soit la ligne de plantation (ou la planche).

### **1.5. La fumure de fond**

#### Modalités :

Lep envisage trois modalités de fumure de fond selon la disponibilité en fumier et en engrais :

- 1) Apport de fumier de volailles (deux pleines mains, soit environ 500 g) + engrais NPK (une poignée, soit environ 15 g) au trou ;
- 2) Apport de fumier uniquement : deux pleines mains par trou (environ 500 g) ;
- 3) Apport d'engrais NPK seulement : une poignée par trou (environ 15 g).

Dans les trois cas évoqués ci-dessus, la fumure est mélangée à la terre du trou de plantation avant que Lep ne rebouche le trou avec la terre amendée. Il arrose abondamment le jour même (s'il a le temps) ou le lendemain tous les trous rebouchés.

#### Règles d'attribution des modalités :

Ce qui détermine le choix d'une modalité, c'est d'une part la disponibilité en intrants et les ressources financières de l'agriculteur et d'autre part l'intérêt agronomique qu'il y trouve. Lep privilégie l'apport de matière organique car il peut en obtenir avec son voisin qui est éleveur de poulets et de lapins et parce que le fumier lui coûte moins cher que l'engrais. Il considère aussi que le fumier favorise une bonne croissance végétative ; il privilégie donc le fumier à l'engrais minéral pour ces différentes raisons. La modalité 2 est donc celle qu'il souhaiterait réaliser partout, les modalités 1 et 3 sont des modalités de rechange liées à la non disponibilité temporaire du fumier.

#### Le positionnement temporel des interventions :

- Intervalle de temps de la fumure :

La fumure de fond se déroule pendant l'opération de trouaison ou la suit. En effet, Lep procède de deux façons différentes. Dans le premier cas, les engrais et fumier sont apportés au trou après la réalisation de tous les trous. Dans le deuxième cas, la fumure est faite quand un certain nombre de trous a été atteint pour pouvoir enchaîner dans la même journée trouaison, fumure et rebouchage des trous. Dans les deux cas de figure, l'intervalle de réalisation de l'opération est court, de l'ordre de quelques jours au maximum.

- Règles de déclenchement et de fin :

Lep a constaté que "*le fumier de poules brûle les plants*" si la plantation a lieu le jour même où le fumier est apporté. Aussi, la plantation est-elle prévue trois jours après un apport de fumier de poules. Dans le cas d'utilisation de fumier de caprins ou de lapins, ou encore d'engrais minéral strictement, l'opération de fumure se termine quand tous les trous ont été rebouchés et arrosés.

#### Les unités de gestion :

La fumure est apportée au trou de plantation, et les quantités apportées sont toujours raisonnées au trou et non à la superficie de la parcelle cultivée.

Comme dans le cas de la trouaison mentionnée précédemment, l'opération est réalisée en une seule fois en continu en fertilisant tous les plants de la parcelle les uns après les autres, soit en discontinu. Dans ce dernier cas, l'agriculteur démarre l'opération sur une portion de la parcelle (la ligne de plantation ou la planche) le jour j et l'achève le ou les jours suivants sur les autres lignes de plantation.

### **1.6. La transplantation ou « repiquage »**

#### Modalités de plantation :

Lep prévoit de planter en doubles lignes avec un écartement de l'ordre de 60 cm x 40 cm entre plants sur la ligne et 80 cm entre les rangs (soit 35 700 plants/ha). Il a néanmoins pratiqué la plantation en ligne simple à des densités de l'ordre de 20 000 plants/ha (écartements de 80 x 40 cm). Il préfère le système à doubles lignes (en rangs) qui procure une densité de peuplement plus élevée, et facilite la circulation entre les rangées de plants pour les travaux d'entretien (arrosage, taille, désherbage, ...).

La plantation est généralement effectuée en milieu ou fin d'après midi quand le soleil n'est plus au zénith. Lep commence par arroser le trou de plantation, puis il plante en repiquant un seul plant par trou. Les arrosages seront ensuite effectués tôt le matin. Juste après la plantation, Lep dispose deux morceaux de feuilles de palmier de part et d'autre du jeune plant de tomate pour le protéger contre les coups de soleil et des éventuels dégâts par les escargots et les limaces.

#### Règles de constitution du chantier de repiquage :

Comme pour la trouaison, la plantation est effectuée sur plus d'une journée et le chantier peut être étalé sur deux à trois jours selon le nombre de plants à repiquer et les autres activités à réaliser sur l'exploitation. Lep n'emploie pas de main d'œuvre pour le repiquage si les activités sur l'exploitation sont peu intenses, ce qui est le cas généralement en tout début de campagne. Au-delà de 1000 plants à

repiquer, il recrute un ouvrier temporaire qui s'occupera davantage de l'arrosage, et de l'entretien d'autres cultures (notamment le désherbage).

Le positionnement temporel des interventions :

- Intervalle de temps des plantations sur la campagne :

Lep ambitionne de planter le plus tôt possible dans la saison pour pouvoir être parmi les premiers à vendre de la tomate sur les marchés et pouvoir disposer d'un bon prix de vente. L'intervalle de temps de la plantation va d'avril/mai pour les cultures précoces à octobre pour les plantations tardives. En espaçant d'un mois entre elles les trois à quatre séquences de plantation qu'il prévoit sur la campagne, Lep s'assure ainsi, sauf incident cultural, de pouvoir alimenter ses clients en tomate sur toute la campagne de saison sèche.

- Règles de déclenchement et de fin de plantation :

Après achèvement de la trouaison et de la fumure de fond, Lep attend au minimum deux à trois jours avant de démarrer la plantation. S'il a utilisé du fumier de poules, il estime ce délai nécessaire pour éviter les brûlures des racines par les fientes de poules. Le stade repère pour démarrer la plantation est lorsque les plants en pépinière ont atteint la taille d'un crayon, soit 15 à 20 cm de hauteur, ce qui intervient moins d'un mois après le semis. C'est donc un critère visuel (hauteur du plant) qui détermine la date de transplantation au champ. Lep plante en premier les plants qui sont les plus grands pour terminer par les plus petits, et implante toute la surface prévue pour un cycle.

Quelle que soit la date (ou séquence de semis), la règle de déclenchement reste la même pour chacune des séquences de plantation. Lep évite de planter des plants trop vieux et étiolés (plus de 35 jours de pépinière).

Règles d'enchaînement :

Le chantier de plantation est le suivant : arrosage au trou, plantation à raison d'un plant par trou, puis pose de morceaux de feuilles de palmier au dessus de chaque plant, nouvel arrosage le lendemain matin. L'agriculteur s'organise pour effectuer l'ensemble des opérations élémentaires trou par trou, et le chantier se déroule sur plus d'une journée, avec le trou comme unité de gestion dans ce cas.

## 2. La phase d'entretien de la culture

### 2.1. Le sarclo-binage

Modalités :

Le binage et le contrôle des mauvaises herbes sont des opérations strictement manuelles, réalisées généralement en même temps, en utilisant le chombo. Avec cet outil tranchant, il coupe les adventices au ras du sol ou les déterre, et retourne le sol sur 4 à 5 cm. Les désherbants chimiques ne sont pas connus ni utilisés. Au moment où il bine autour du plant, Lep ramène un peu de terre dans le trou de plantation. Le binage a pour but de favoriser la pénétration de l'eau et l'incorporation des engrais au sol. Lep prévoit normalement trois sarclo-binages si la pression en adventices n'est pas très forte.

Le premier sarclage est relativement rapide car les adventices sont encore petites et peu nombreuses et Lep désherbe essentiellement au trou. Il n'emploie pas de main d'œuvre extérieure pour cette première action car elle est assez rapide. Pour les autres sarclages, il emploie un ouvrier.

Le positionnement temporel des interventions :

- Intervalle de temps du désherbage :

L'objectif du désherbage est de maintenir la parcelle propre jusqu'à la récolte pour favoriser la croissance des fruits. Les interventions sont donc positionnées entre la reprise des plants et le début des récoltes. En effet, Lep ne désherbe plus, ni ne bine quand la phase de récolte a démarré.

Le sarclo-binage s'effectue planche par planche jusqu'à ce que toute la parcelle soit désherbée.

- Règles de déclenchement et de fin :

La première intervention a lieu vers 8-10 jours après plantation lorsque les plants de tomate ont bien repris, et ce en même temps que l'effeuillage sanitaire des jeunes plants. Les mauvaises herbes sont

encore petites (5 à 10 cm) et localisées surtout dans le trou de plantation autour du pied de tomate. Le deuxième sarclo-binage est effectué vers le stade floraison au moment du tuteurage du plant. Le troisième se positionne deux à trois semaines après le précédent, selon la densité des mauvaises herbes dans la parcelle et leur vitesse de croissance. Lep interviendra d'autant plus tôt que les mauvaises herbes poussent vite et se densifient. Pendant cette dernière intervention, les fruits ont atteint la taille d'une balle de ping-pong, stade repère qualifié de stade « *empoigne* » par Lep.

- Règles d'enchaînement :

D'autres opérations sont conduites pendant les interventions de désherbage et de binage : l'apport d'engrais et l'effeuillage sanitaire, ce dernier étant réalisé seulement lors du premier sarclo-binage. Le désherbage et le binage précèdent toujours un apport d'engrais. Lors de la première intervention, Lep désherbe au chombo au trou de plantation (voire avec un couteau), puis coupe les feuilles situées à la base du plant avec le même outil, et enchaîne ensuite les mêmes gestes plant par plant. Nous supposons que cette pratique favorise la transmission des maladies telluriques.

Règles d'arbitrage :

D'autres travaux concurrents utilisant les mêmes ressources, en l'occurrence la main d'œuvre, sont prioritaires sur le désherbage : l'arrosage, les traitements phytosanitaires, la taille et les récoltes. Cette règle d'arbitrage explique pourquoi certains agriculteurs étalent le sarclo-binage sur plusieurs jours. L'étalement des travaux se rencontre davantage chez les exploitants qui n'emploient pas de main d'œuvre extérieure.

Les unités de gestion :

Les unités changent au cours du cycle cultural. Lors du premier sarclo-binage, l'opération est réalisée seulement au niveau du trou de plantation et à l'échelle de la parcelle entière. En effet, il y a encore peu de mauvaises herbes et le désherbage est accompli dans la journée par une personne. A partir de la deuxième intervention qui a lieu vers le stade floraison, l'opération est effectuée à l'échelle de la parcelle et la vitesse d'exécution dépend de la main d'œuvre disponible. Si la parcelle est de faible superficie et la main d'œuvre suffisante, l'opération est effectuée en un seul jour, sinon elle peut s'étaler sur quelques jours. Par ailleurs, le binage n'est réalisé qu'au niveau du trou de plantation alors que le désherbage est effectué en plein, sur et entre les lignes de tomates.

## 2.2. Les opérations de conduite de la végétation

La conduite de la végétation comprend plusieurs opérations qui totalisent la plus grande partie du temps de travail dépensé en culture de tomate. Ces opérations sont le tuteurage, la taille, l'effeuillage, l'ébourgeonnage (ou égourmandage). Certains agriculteurs pratiquent quelquefois un écimage qui vise à accélérer la maturation des fruits. Toutes ces opérations sont manuelles, et certaines se répètent durant tout le cycle de développement de la plante (effeuillage, ébourgeonnage). C'est un poste contraignant, demandant un travail régulier, tout comme l'irrigation.

### 2.2.1. Le tuteurage

Modalités :

Le tuteurage est une technique connue de tous les agriculteurs mahorais que pratique également Lep. Dans un premier temps, il se rend en forêt (à des distances plus ou moins grandes de l'exploitation) pour couper des piquets en bois, les tailler à la bonne longueur (environ 1,5 m à 2 m), puis les transporter jusqu'à la parcelle. Il répète cette opération jusqu'à ce qu'il ait obtenu le nombre de piquets nécessaires. Dans un deuxième temps, il enfonce un piquet à 5-10 cm de chaque plant de tomate. Puis, il procède à la taille et à l'attache du plant sur le tuteur.

Les piquets peuvent être utilisés ultérieurement dans la saison pour une autre culture de tomate ou d'aubergine par exemple, puis ils sont jetés car ils pourrissent assez rapidement. Le bois le plus recherché est celui « d'avocat marron » (*Litsea glutinosa*) à cause de sa solidité.

Lep prévoit d'étaler le tuteurage et la taille sur plusieurs jours car il est seul pour faire ce travail. Il prévoit d'attacher au total trois fois les plants sur tout le cycle. Lors de l'attache des tiges sur le tuteur,



Lep doit être attentif pour ne pas coincer les fruits entre la tige et le tuteur, et ne pas casser les fleurs et les fruits. Aussi, ne délègue t'il pas cette opération délicate à des ouvriers et tient à l'assurer lui-même. Bien que le tuteurage soit long à réaliser, il considère que cette pratique est nécessaire pour obtenir un bon rendement. Le tuteurage limiterait les pertes de fruits par pourriture et salissures (pas de contact avec le sol), et permet d'arroser correctement les plants sans mouiller le feuillage. Cependant cet avis n'est pas partagé par certains agriculteurs pour qui le gain éventuel de production ne compense pas la main d'œuvre mobilisée pour cette opération de tuteurage.

#### Le positionnement temporel des interventions :

- Intervalle de temps du tuteurage :

La recherche des piquets peut démarrer avant la plantation et doit s'achever avant la floraison. L'installation des piquets au champ peut intervenir très tôt, quelques jours après la plantation, et doit se terminer également au plus tard à la nouaison, tout comme la première attache du plant sur le tuteur. Cette opération de tuteurage comporte plusieurs séquences d'attache des plants sur le tuteur en cours de cycle. En moyenne, le plant est attaché trois fois.

- Règles de déclenchement et de fin :

Le premier lien est posé vers la floraison au moment de la taille. Les deux autres sont réalisés pendant la phase de grossissement des fruits, avant que les tiges ne se plient et touchent le sol. Cela représente un écart de 20 à 25 cm entre les différents liens sur le plant.

Si la croissance du plant est très active, un lien supplémentaire peut être posé pendant la phase de récolte.

#### Les unités de gestion :

L'attache des plants se fait plant par plant en même temps que la taille. Lep démarre par une planche et enchaîne les planches les unes après les autres jusqu'à terminer l'ensemble de la parcelle, soit dans une journée ou sur plusieurs jours. Chaque planche correspond à une double ligne de plantation.

### 2.2.2. La taille

#### Modalités :

L'opération consiste à garder deux ou trois tiges fructifères, les plus vigoureuses, et de supprimer toutes les autres. Il utilise pour cela un couteau ou le chombo. Pendant cette opération, Lep enlève également les feuilles tachées et saines qui sont au dessous du 1<sup>er</sup> bouquet afin de limiter la propagation des parasites. Les déchets de taille sont évacués de la parcelle et mis en tas à pourrir en bordure du champ.

#### Le positionnement temporel des interventions :

- Intervalle de temps de la taille :

La taille est toujours réalisée une fois que les tuteurs ont été installés et à partir de la floraison, soit en continu sur une seule journée ou en discontinu sur plusieurs jours si la charge de travail pour une seule personne l'impose. En cas de retard sur la date prévue, la taille peut être faite après la nouaison du premier bouquet quand les fruits sont encore tout petits.

- Règles de déclenchement et de fin :

La taille a lieu quand les premières fleurs apparaissent ou un peu plus tard (à la nouaison voire au début du grossissement des premiers fruits noués) si l'agriculteur n'a pas eu le temps de tuteurer tous les plants. En cas de taille tardive, Lep supprime les gourmands portant des bouquets voire de petits fruits pour ne garder, comme prévu, que deux ou trois tiges fructifères. Dans ce cas, la taille dure un peu plus longtemps à cause de la végétation plus abondante.

#### Les unités de gestion :

Il s'agit également d'une opération réalisée plant par plant en même temps que le tuteurage.

### 2.2.3. L'effeuillage

Modalités :

Au cours du cycle, l'agriculteur procède à différents effeuillages qui n'ont pas les mêmes objectifs. Le premier a lieu généralement tôt, vers huit à dix jours après plantation ou un peu plus tard, mais toujours avant le stade floraison. Il s'agit de supprimer toutes les feuilles du bas ("*celles qui touchent par terre*") et les feuilles tachées ou abîmées, et ce jusqu'au niveau du premier bouquet. Nous qualifions cette opération d'**effeuillage sanitaire**, qui, comme son nom l'évoque, vise strictement à limiter les risques parasitaires. Ce type d'effeuillage est aussi pratiqué au moment de la taille et de l'attache des plants sur le tuteur. Les feuilles supprimées sont normalement évacuées de la parcelle cultivée et mises en tas à pourrir en bordure du champ. Lep pratique donc l'effeuillage sanitaire à deux moments précis.

Les tâches observés sur les feuilles peuvent être causées par des champignons (alternariose, corynesporiose, oïdium, ...) ou des bactéries (gale bactérienne), ou des mineuses dont les larves creusent des galeries sous l'épiderme foliaire. Comme les agriculteurs ne savent pas identifier la plupart des maladies et ravageurs, tous les symptômes qu'ils observent sur les feuilles sont qualifiés de « taches foliaires » indépendamment de l'agent causal, et attribués aux « *biby* », terme malgache pour désigner les parasites.

L'autre type d'effeuillage a d'autres fonctions que celles de limiter les risques parasitaires et d'améliorer l'état sanitaire du plant. Cet **effeuillage multi cibles**, vise à :

- économiser les produits phytosanitaires car il y a moins de végétation à traiter ;
- favoriser la pénétration et la répartition des produits de traitements dans la végétation ;
- favoriser le grossissement des fruits (« *les feuilles mangent la nourriture des fruits* » selon Lep).

Lep laisse au moins une feuille au dessus des bouquets pour protéger les fruits contre les coups de soleil.

Le positionnement temporel des interventions :

- Intervalle de temps de l'effeuillage :

L'effeuillage est réalisé à différentes reprises au cours du cycle cultural ; L'effeuillage dit sanitaire a lieu entre la plantation et la floraison. L'effeuillage multi-cibles intervient à différents moments pendant la phase de grossissement et de maturation des fruits et pendant la phase de récolte.

Règles de déclenchement et de fin :

Le premier effeuillage sanitaire est déclenché quand le plant a environ 8 à 10 jours. Il est réalisé de façon préventive : quel que soit leur état sanitaire, les feuilles qui sont en contact avec le sol sont supprimées. Le deuxième effeuillage sanitaire a lieu lors de la taille du plant en supprimant certaines feuilles tachées et les feuilles sénescentes.

L'effeuillage post-taille est toujours combiné à un égourmandage et à chaque fois que Lep attache le plant sur le tuteur.

Les unités de gestion :

L'effeuillage est une opération sélective qui s'effectue au plant. Le nombre de feuilles supprimées est fonction de l'état sanitaire du plant. L'effeuillage sera d'autant plus sévère que les feuilles présentent des taches fongiques ou bactériennes, des mines, ainsi que des feuilles sénescentes.

## 2.2.4. L'égourmandage

Modalités :

L'opération consiste à supprimer régulièrement les gourmands pour maintenir seulement les deux à trois tiges fructifères initialement sélectionnées lors de la taille. Les jeunes gourmands de moins de 5-10 cm se cassent facilement en pliant. S'ils sont plus grands, Lep utilise un couteau ou le chombo. Il prévoit d'égourmander les plants chaque semaine.

Le positionnement temporel des interventions :

- Intervalle de temps de faisabilité :

L'égourmandage a lieu après la taille, pendant la phase de fructification et de maturation des fruits, et se poursuit donc pendant la phase des récoltes.

- Règles de déclenchement et de fin :

Lep supprime les gourmands lorsqu'ils sont petits (5 à 10 cm) et avant qu'ils ne fleurissent. S'il est en retard sur cette opération, il n'hésite pas à supprimer les gourmands qui portent des bouquets avec des fleurs ou des petits fruits. Il s'organise pour faire précéder un traitement phytosanitaire d'une opération d'égourmandage et feuillage, mais ce n'est pas un préalable obligatoire.

Les unités de gestion :

Comme les autres opérations de conduite de la végétation, la gestion de l'ébourgeonnage se fait au plant. Par cette pratique de sélection de tiges, Lep régule le nombre de bouquets et de fruits en comparaison à une conduite libre sans taille, ni ébourgeonnage. La concurrence pour les assimilats s'en trouve normalement atténuée, avec pour conséquence l'obtention de fruits moins nombreux mais plus gros.

Nous résumons ci-après les différentes opérations culturales de conduite de la végétation avec les indicateurs de déclenchement et de fin d'opération.

Opération culturale	Indicateur de déclenchement	Indicateur de fin
Effeuillement sanitaire	Date seuil : 8 à 10 JAP	Floraison / nouaison
Installation des tuteurs au champ	Apparition des premiers boutons floraux	Floraison / nouaison
Tuteurage (pose du 1 <sup>er</sup> lien) + taille + effeuillage sanitaire	Floraison des premiers bouquets	Floraison / nouaison
Effeuillement + égourmandage	Gourmands > 5-10 cm	Avant floraison des gourmands
Pose des autres liens (attache du plant sur tuteur)	Quand les tiges ont poussé de 20 à 25 cm	Avant que les tiges ne se plient et touchent le sol
Ecimage (exceptionnellement)	Opportunité commerciale : si prix sur les marchés élevés.	

A part le premier effeuillage sanitaire qui est prévu selon une date-seuil (8 à 10 jours après plantation), les autres tâches se positionnent par rapport à un critère visuel à un certain stade cultural : floraison (pour le tuteurage et la taille), longueur des tiges et des gourmands (respectivement pour l'attache des plants et l'égourmandage). L'écimage répond quant à lui à une opportunité commerciale pour accélérer la maturité des fruits.

On constate, et on y reviendra, que ces opérations de conduite de la végétation privilégient l'unité de gestion « trou ». Leur longueur élémentaire et leur combinaison peuvent ainsi induire une hétérogénéité entre plants au sein d'une parcelle, quant aux stades auxquels ces opérations sont réalisées.

### 2.3. La fertilisation

Modalités :

Lep prévoit de réaliser une fumure de fond (fumier + engrais NPK) au moment de la trouaison et d'apporter de l'engrais minéral NPK à raison d'une poignée (15 g environ) par plant vers le stade floraison. Les règles relatives à la gestion de la fumure de fond ont été présentées précédemment, aussi nous focalisons nous ici seulement sur la fertilisation d'entretien.

L'engrais est épandu autour du pied après un sarclo-binage. Le plant est ensuite bien arrosé pour favoriser la dissolution de l'engrais. Lep utilise du 10-20-20 ou du 15-12-24, voire une autre formulation. Le choix est souvent contraint par le type d'engrais disponible à Mayotte. Lep limite la quantité apportée à une poignée par plant à cause de la cherté des engrais, sans tenir compte des caractéristiques chimiques du sol.

Le positionnement temporel des interventions :

L'apport d'engrais peut intervenir entre la reprise des plants et le début des récoltes, c'est-à-dire pendant la période de nouaison et de grossissement des fruits. Aucun apport n'est réalisé pendant la phase de récoltes.

#### Règles d'enchaînement :

L'épandage d'engrais est toujours précédé d'un sarclo-binage et suivi d'un arrosage au trou.

#### Solutions de rechange :

Il peut survenir que Lep ne réalise pas de fertilisation. Dans le cas où il ne trouve pas d'engrais en vente chez les fournisseurs de produits agricoles, il ne fait aucun apport. Ce cas peut arriver à cause des ruptures de stock assez fréquentes à Mayotte. Dans un autre cas, si Lep observe une forte attaque parasitaire et estime que le rendement en tomates sera fortement affecté (par exemple une forte mortalité par flétrissement bactérien), il abandonne l'apport d'engrais initialement prévu pour réduire les coûts de production.

#### Les unités de gestion :

Le raisonnement des quantités à apporter se fait au plant et non à la parcelle en employant une unité de mesure approximative : la poignée. Cette mesure est la même quel que soit l'engrais. Par conséquent, la quantité d'éléments apportés à chaque plant peut légèrement varier selon qu'il s'agit d'une petite poignée ou d'une grosse poignée, de la taille de la main de la personne qui effectue l'épandage et bien sûr du dosage de l'engrais. Nous avons évalué la poignée moyenne à 15 g.

### 2.4. L'irrigation

#### Modalités :

L'exploitation est située dans un périmètre irrigué, ce qui permet à Lep d'avoir accès à l'eau sur l'exploitation et de cultiver toute l'année. Une seule modalité d'arrosage est prévue comme suit :

- 2 fois/jour jusqu'à la floraison : 1 arrosoir de 14 litres pour 10 à 12 plants, soit environ 1,2 l/plant apportés 2 fois par jour ;
- 1 fois/jour de la floraison à début récolte : 1 arrosoir pour 10 à 12 plants (environ 1,2 l/plant/jour) ;
- 1 fois tous les 3 jours durant la période des récoltes : 1 arrosoir pour 10 à 12 plants (environ 0,4 l/plant/jour).

Lep module donc les doses d'irrigation en fonction du stade de croissance de la plante en arrosant beaucoup en début de cycle et en réduisant les apports en fin de cycle.

L'arrosage est une opération physiquement pénible qui demande beaucoup de temps (2 à 3h/jour selon la surface plantée en tomate).

En cas de manque d'eau sur l'exploitation et s'il faut arbitrer pour cette ressource entre les cultures, ce sont les espèces à fort potentiel de rendement et susceptibles de générer un chiffre d'affaire élevé qui sont privilégiées : la tomate sera ainsi prioritaire sur le chou et la laitue par exemple.

#### Le positionnement temporel des interventions :

- Intervalle de temps de l'irrigation :

L'irrigation démarre juste après la plantation. Lep prévoit de sur-irriguer en début de cycle pour assurer une bonne reprise du plant. Il ne veut pas prendre le risque d'un moindre stress hydrique pendant cette phase de reprise et d'installation du système racinaire. L'irrigation est réalisée de préférence le matin avant les autres opérations culturales, et en fin d'après-midi quand il arrose deux fois par jour.

L'arrosage n'est pas effectué en cas de fortes pluies ou de pluies utiles (> 5 mm). Lep peut être confronté à des problèmes de disponibilité de la ressource, notamment pendant la pleine saison sèche (juillet-août) où les cours d'eau sont au plus bas. Des dégradations de matériel dans les périmètres irrigués et la baisse des cours d'eau obligent Lep à user d'alternatives : constitution de réserves d'eau avec remplissage de fûts de 200 litres la nuit ou quand l'eau est disponible, paillage des cultures avec du feuillage d'avocat marron, réduction de la fréquence d'irrigation (arrosage tous les trois jours au lieu d'un arrosage quotidien).

- Règles de déclenchement et de fin :

Lep se base sur un indicateur visuel pour justifier sa décision d'arroser : "*si la terre est sèche en surface alors j'arrose*". Cependant, un sol sec en surface n'indique pas forcément un manque d'eau pour la plante, ni que le sol soit desséché en profondeur dans la zone racinaire. On peut donc supposer que les agriculteurs irriguent trop par rapport aux besoins de la plante. Nous reviendrons sur ce point dans le chapitre III qui traite du diagnostic agronomique.

La décision d'arrêter d'irriguer la culture est prise quand la plupart des fruits récoltés sont de petits calibres ou lorsque les plants commencent à bien se dessécher. Généralement, Lep constate cela 8 à 10 jours environ avant la dernière récolte qu'il effectuera. Le tri sera plus sévère sur les deux à trois dernières récoltes : les plus gros fruits seront commercialisés et les petits seront le plus souvent autoconsommés ou offerts.

Les unités de gestion :

L'arrosage est raisonné au trou de plantation. Pour déterminer la dose d'eau à apporter, Lep se base sur son expérience de la culture et sur le temps de travail, sans tenir compte de la capacité de rétention du sol, de sa texture, ni de l'ETP (qu'il ne connaît pas).

## 2.5. La gestion des ravageurs et maladies

Modalités de traitements :

Lep accorde au choix variétal et à la lutte chimique contre les maladies et ravageurs de la tomate un rôle clé dans la réussite de la culture ; « *Si tu traites tu peux gagner beaucoup, mais si tu ne traites pas tu peux perdre ta récolte* ». Tout agriculteur peut bénéficier des conseils des agents techniques de vulgarisation et du service de la Protection des Végétaux en termes de diagnostic phytosanitaire et de méthodes de lutte.

Lep prévoit de réaliser 9 à 10 traitements préventifs au champ et 1 à 2 traitements en pépinière (avec un insecticide essentiellement). Il traite le matin après avoir effectué l'irrigation, et systématiquement chaque semaine. S'il pleut moins de 3 heures après un traitement, il le renouvelle le soir ou le lendemain matin. Le traitement phytosanitaire est prioritaire sur les autres opérations culturales.

Son programme de traitements comprend surtout l'usage de fongicides jusqu'à la floraison, puis le mélange d'un insecticide et d'un fongicide. Il évite de traiter pendant la période des récoltes, et considère qu'on peut faire l'économie d'insecticides tant que les fruits ne sont pas encore apparus. Néanmoins si le feuillage subit l'attaque de chenilles défoliatrices ou de mineuses, il ajoute un insecticide au traitement fongicide initialement prévu.

Il utilise un nombre limité de produits phytosanitaires : Dithane<sup>®</sup> (*mancozèbe*) et Bouillie Bordelaise<sup>®</sup> (*cuivre*) comme fongicides, Décis<sup>®</sup> (*deltaméthrine*) et Karaté<sup>®</sup> (*lambda-cyhalothrine*), voire le Trigard<sup>®</sup> (*cyromazine*) comme insecticides. Il alterne les produits de traitements (par exemple Dithane<sup>®</sup> + Karaté<sup>®</sup>, puis Bouillie Bordelaise<sup>®</sup> + Décis<sup>®</sup>). Ces produits sont appliqués avec un pulvérisateur à dos d'une contenance de 12 ou 15 litres, sur l'ensemble des plants de la parcelle.

Le positionnement temporel des interventions :

- Intervalle de temps IT :

Lep prévoit de démarrer les traitements au champ 8 à 10 jours après la plantation, et de les arrêter à partir de la première récolte. Les traitements étant préventifs, ils sont effectués systématiquement chaque semaine, indépendamment de l'incidence et du niveau de gravité du parasitisme.

Les unités de gestion :

L'agriculteur gère l'état sanitaire d'un peuplement végétal qu'il interprète comme un nombre de pieds plantés. Cela signifie qu'il traite un certain nombre de pieds qu'il a planté et non une surface donnée, ce qui ne va pas sans poser des problèmes de préparation de la bouillie de traitement compte tenu que les conseils phytosanitaires sont formulés pour une surface donnée, généralement l'hectare.

### 3. La période de récoltes

#### Modalités :

Lep récolte les fruits à la main, le matin, en moyenne tous les trois jours. Ils sont déposés dans des bassines ou des seaux, puis transportés au siège de l'exploitation ou au marché pour y être vendus. Les tomates sont récoltées aux stades orange et rouge pour éviter les pertes liées aux vols (fréquents à Mayotte) et pour qu'elles résistent mieux aux chocs pendant le transport. Les tomates de couleur orangée ont passé la période de crise climactérique, et continuent donc à murir après la cueillette. Lep pratique exceptionnellement l'écimage pour hâter la maturation des fruits lorsque les prix sur les marchés sont élevés.

Il vend en direct sur l'exploitation à des particuliers et à des revendeurs, mais aussi sur le marché du village à des revendeurs quand il ne peut écouler toute sa production sur l'exploitation. A chaque récolte, il cueille tous les fruits mûrs (orange à rouge) sur les plantes.

- Règles de déclenchement et de fin :

La période de récoltes démarre lorsque les premiers fruits rouges sont observés sur les plantes et elle s'achève quand la majorité des fruits rouges récoltés sont de faible calibre (30-35 mm). C'est donc un indicateur visuel qui détermine le début et la fin des récoltes à l'échelle de la parcelle.

### 4. Comparaison des réalisations avec le prévisionnel de conduite

L'analyse des écarts entre les réalisations et le modèle de conduite prévisionnelle permet de se rendre compte comment l'agriculteur pilote réellement la culture en fonction des ressources productives dont il dispose.

#### 4.1. Conduite de la tomate en 2003

Le modèle d'action par rapport à la conduite de la tomate est respecté dans les grandes lignes. Bien que souhaitant démarrer les semis très tôt dans la saison (mars-début avril), Lep a effectué le premier semis (variété Carioca) tardivement le 25 avril à cause des conditions pluviométriques. Le tracteur n'étant pas disponible en début de saison, Lep a préparé manuellement, à partir du 16 mai, la première parcelle de tomate (environ 450 m<sup>2</sup>), et le reste du terrain a été labouré à la charrue à partir de début juin pour l'implantation des autres parcelles de tomate et autres espèces maraîchères.

Lep n'a pas apporté de fumier en fumure de fond car il n'y en avait pas de disponible chez son voisin éleveur. Il a apporté seulement 15 g d'engrais 10-10-20 par trou comme cela était prévu. Le chantier de trouaison-fumure s'est étalé sur 3 jours (à partir du 19 mai). Lep travaille sans main-d'œuvre extérieure permanente, ce qui explique l'étalement des travaux sur plusieurs jours.

La plantation a démarré le 22 mai et s'est étalée sur deux jours avec des plants âgés de 24 à 25 jours. Lep a planté en premier les plants qui étaient les plus grands en pépinière pour terminer par les plus petits, afin de limiter l'hétérogénéité de hauteur entre plants au champ.

En 2003, la pression en adventices a été très faible, et Lep n'a désherbé que 2 fois : à 8 JAP et à 24 JAP, juste avant le tuteurage et la taille. Les deux apports d'engrais (à 8 et 28 JAP) ont été effectués comme prévu après un désherbage (8 et 24 JAP). L'apport de fumier initialement prévu avant plantation a été effectué 8 JAP (une pleine double main par trou) en même temps que le premier apport d'engrais ternaire 10-20-20. En considérant la densité de plantation (12 500 plants/ha), les quantités de fumier et d'engrais apportées ont été respectivement de 3,8 t/ha et 75 kg/ha.

Lep a démarré le tuteurage très tôt, le 8 juin (14 JAP) par la pose des piquets en bois, afin d'avoir moins de travail à faire au moment de la taille et de l'attache des plants. La recherche des piquets en forêt

et leur transport lui prend beaucoup de temps. L'attache des plants a été réalisée une première fois, du 17 au 20 juin, en même temps que la taille et l'effeuillage, puis un peu plus de quinze jours après.

Le premier effeuillage sanitaire est intervenu huit jours après plantation avec la suppression de toutes les feuilles qui touchaient le sol.

Il a été difficile d'obtenir les dates exactes d'égourmandage et d'effeuillage post-floraison. En fait, l'agriculteur ne définit pas à l'avance de dates précises pour ces opérations dont la vitesse d'exécution dépend en grande partie de la main d'œuvre disponible sur l'exploitation. Chaque plant est géré indépendamment l'un de l'autre selon des indicateurs qui sont néanmoins communs au peuplement : égourmandage dès que les axillaires ont une certaine longueur (5 à 10 cm), suppression des feuilles tachées et sénescentes. L'agriculteur gère dans ce cas un peuplement de tiges et leurs états sanitaire et végétatif. L'objectif est de maintenir un certain nombre de tiges par plant et de favoriser la croissance des fruits. Les premières tomates ont été récoltées 71 jours après plantation, et la période de récolte s'est étalée sur 27 jours (du 25/07 au 22/08). Le rendement a été mauvais (moins de 4 tonnes de fruits commercialisables par hectare).

L'irrigation a été modulée en fonction du stade de culture : de la plantation à la fin juin, les plants ont été arrosés deux fois par jour (matin et fin d'après midi), soit un apport total d'environ 2,3 l/plant. Ensuite, de la nouaison jusqu'au 5 août, les plants étaient arrosés le matin une seule fois par jour : un arrosoir de 14 litres d'eau pour 12 plants environ, soit un peu plus de 1,1 l/plant/jour. Pendant la période de récolte, l'irrigation a été pratiquée tous les trois jours sans varier la dose.

La protection phytosanitaire a été intense avec un premier traitement en pépinière au Dithane<sup>®</sup> et Décis<sup>®</sup> deux semaines après le semis. Au champ, le premier traitement a démarré le 2 juin (11 JAP) suivi de huit autres traitements à un intervalle moyen de sept jours. Les produits utilisés dans l'ordre des traitements ont été Bouillie Bordelaise<sup>®</sup> (BB), Dithane<sup>®</sup>, BB, Dithane<sup>®</sup>, BB + Best<sup>®</sup> (*deltaméthrine* + *pyrimicarbe*), BB + Karaté<sup>®</sup>, Dithane<sup>®</sup> + Callifol (*Dicofol*), BB + Best, Karaté<sup>®</sup>. Les pulvérisations ont été faites avec un pulvérisateur de 15 litres. Lep accentue les fongicides en début de cycle jusqu'à la floraison, puis combine un insecticide avec un fongicide jusqu'au début de la période des récoltes.

L'examen de la manière dont Lep prépare la bouillie montre qu'il traite à 330 litres de bouillie à l'hectare, et pratiquement à la même dose quel que soit le stade de la plante (sauf pour les deux premiers traitements où le volume est moindre). On note des sous-dosages importants pour les insecticides (variant de 22 à 73% de la dose préconisée) et des sur-dosages pour les fongicides (130% pour la BB). Malgré l'action parfois dépressive que le cuivre (BB) exerce sur les plantes et sa phytotoxicité par températures élevées, Lep, comme la majorité des agriculteurs d'ailleurs, lui reste fidèle en raison de son efficacité. Les sous-dosages d'insecticides et acaricides peuvent limiter l'efficacité de ces traitements et favoriser les phénomènes d'accoutumance (exemple du couple *Helicoverpa armigera*/Deltaméthrine).

#### 4.2. Conduite de la tomate en 2005

En 2005, le modèle d'action est aussi respecté dans les grandes lignes. Lep obtient un rendement commercial qu'il juge satisfaisant (18,3 t/ha) avec la même variété qu'il avait utilisé en 2003 (Carioca). La parcelle était petite : 150 m<sup>2</sup> environ. Les principales variations par rapport à 2003 concernent l'irrigation et la fertilisation.

En matière d'irrigation, Lep n'a arrosé qu'une fois par jour de la plantation à la floraison (1 l environ par plant). Puis, il a arrosé deux fois par jour (matin et après midi) à raison d'un arrosoir pour 14 plants environ à chaque apport, soit 2 l/plant/jour. A partir de la récolte, il a repris le rythme d'un arrosage par jour. La campagne a été marquée par des ruptures d'alimentation en eau, contraignant Lep à installer un paillage naturel (avec des branches « d'avocat marron ») au pied des tomates à partir du 56<sup>ème</sup> JAP pour limiter les pertes en eau par évaporation. L'irrigation a cessé à partir de 69 JAP, une semaine après le début de la récolte. Malgré les problèmes d'irrigation, la récolte s'est étalée sur 30 jours, du 18/07 au 17/08.

Contrairement à 2003, Lep a pu obtenir en début de saison du fumier de lapins et en a apporté dès la préparation de sol : environ 500 g/trou (3 doubles mains) au moment de la trouaison ainsi que 30 g d'engrais 15-12-24 par plant. Un autre apport d'engrais a été réalisé le 16/06 (28 JAP) à raison de 5 g

environ par plant. En considérant la densité de plantation (environ 29 400 plants), les apports de fumier et d'engrais ont été respectivement de 14,7 t/ha et 1 005 kg/ha cette année, donc beaucoup plus qu'en 2003 (aussi bien à la parcelle qu'un plant).

La protection phytosanitaire quant à elle a peu varié. En pépinière, Lep a traité avec de la Bouillie Bordelaise<sup>®</sup> dix jours après le semis. Au champ, il y a eu neuf traitements avec une application tous les sept jours d'un mélange de Dithane<sup>®</sup> + Décis<sup>®</sup> en alternance avec du Karaté<sup>®</sup> + Bouillie Bordelaise<sup>®</sup>. Le dernier traitement a été positionné juste après la première récolte (19/07). Comme en 2003, on note une mauvaise gestion des dosages : tendance au sur-dosage pour les produits en poudre et au sous-dosage pour les liquides. Lep fait partie des référents en matière de conduite de la tomate, mais on constate néanmoins que la protection phytosanitaire reste un poste non encore maîtrisé.



### Annexe 5 : Planification et réalisations des opérations culturales de Lep en 2003

Année 2003

Opération culturale	Planification des opérations					
	modalités			positionnement temporel		
	prévue	rechange	déterminant	prévu	rechange	déterminant
choix variété	Carioca, Caracoli, Caribou	Calinago, Roma, Calinago	bonne production, résistance au FB	1 à 2 mois avant le début de la campagne		
semis en pépinière	Désherbe et labore au pic un coin de la parcelle pour implanter la pépinière (change d'endroit chaque année). Semis sur planche surélevée - apport fumier (3 grosses poignées/m <sup>2</sup> ) + engrais NPK (1 poignée / 5 m <sup>2</sup> )	ne met pas de fumier s'il n'en trouve pas	Protection des plants si forte pluie. Croissance meilleure avec engrais et fumier.	fin de saison des pluies en mars/avril	Retard s'il ne trouve pas les semences.	Prix élevé de la tomate en début de saison.
Travail du sol	mécanisé : labour + enfouissement des résidus	manuel : désherbage au chombo ou houe + évacuation MH	labour profond, sol meuble, gain de temps.	fin de saison des pluies - mars/avril	si tracteur indisponible ou si saison pluvieuse persiste : travail manuel	sol ressuyé, disponibilité tracteur
Trouaison	trou de 30 cm x 20 cm (profondeur) : au chombo si passage tracteur. Trous alignés avec une ficelle.	au pic ou à la houe si pas de labour mécanisé (sol dur).	trouaison facile car la terre est meuble	20 jours environ après le semis, estimation du nombre de plants pour connaître le nombre de trous à faire.		
Fumure de fond	Après trouaison, mélange de la terre du trou de plantation avec fumier et engrais, puis arrosage. 2 pleines mains de fumier lapin (~ 250 g) + 1 poignée engrais NPK (~ 15 g) / plant.	fumier volailles + engrais ou engrais seul	bonne croissance des plantes avec apport mat. org.	1 ou 2 jours avant plantation		éviter que le fumier brûle les racines.
Plantation	Plante en premier les grands plants, puis les plus petits pour éviter effilement des plants. 1 plant / trou, puis couverture du plant avec feuilles de palmier.		1 seul plant car tuteurage et taille du plant.	en fin d'après midi (16h-18h). Plante quand les plants ont la taille d'un crayon.		protection des plants contre coups de soleil
Sarco-binage	1ère fois à 8 JAP : ramène un peu de terre dans le trou de plantation après avoir enlevé les MH. Puis vers floraison et pendant croissance des fruits  2ème désherbage à la floraison, puis apport engrais.	Apporte au pied des copeaux de bois ou feuilles d'avocat marron pour limiter l'enherbement.  Plus de 3 désherbages si beaucoup de MH.	ne pas laisser les MH grandir car sinon trop de travail de désherbage.	8 JAP, à la floraison, quand premiers fruits commencent à grossir.	au plus tard avant floraison et le 1er apport d'engrais de couverture	<i>"il ne faut pas que les MH soient grandes sinon les tomates manquent d'azote"</i>

Fertilisation	1 poignée engrais NPK (environ 15 g/plant) épandu autour du plant.	ne met pas d'engrais si beaucoup de plants flétris par <i>Ralstonia</i> .	ne met pas beaucoup d'engrais car coûtent chers.	à la floraison		"c'est le moment où la plante en a besoin pour faire grossir les fruits"
Irrigation	2 x/j jusqu'à floraison : 1 arrosoir pour 10-12 plants (~ 1,2 l/plant x 2)		"arroser souvent car sinon la reprise est mauvaise"	tôt le matin et en fin d'après midi	parfois il faut arroser le soir car pas d'arrivée d'eau le jour au robinet	Beaucoup irriguent le jour, d'où des manques d'eau pour ceux qui sont en bout de réseau.
	1 x/j floraison à début récolte : 1 arrosoir pour 10-12 plants (1,2 l/plant)		besoins en eau plus importants	tôt le matin ou en fin d'après midi	parfois arrosage le soir car pas d'arrivée d'eau le jour au robinet	
	1 x tous les 3 jours durant récolte : 1 arrosoir pour 10-12 plants (0,4 l/plant/jour)	si pas assez d'eau, arrosage tous les 4-5 jours et paillage	si trop d'eau, taches sur fruits	tôt le matin ou en fin d'après midi	parfois il faut arroser le soir car pas d'eau le jour au robinet	Si plus d'eau au robinet, pas de nouvelle plantation de tomates
Tuteurage	Pose les tuteurs en bois à 15 cm du plant.  attache 2 fois avec feuilles de bananes ou morceaux de ficelle.	Jusqu'à 4 liens si plant très vigoureux	empêcher que les feuilles et fruits soient en contact avec le sol.	1ère attache du plant au moment de la taille  2ème attache : fruits au stade "empoigne" (3 cm environ).	au plus tard quand les tiges commencent à plier	chercher et poser les tuteurs tôt pour combiner attache et taille du plant.
Taille	Garde 2 à 3 tiges vigoureuses portant des bouquets		avoir de gros fruits	à la floraison - en même temps que l'attache des plants sur les tuteurs	au plus tard quand les tiges commencent à plier	
Effeillage	suppression des feuilles qui touchent le sol avec un couteau  suppression des feuilles tachées (vieilles et jeunes)		limiter attaques fongiques et bactériennes  limiter propagation des maladies; économiser les produits de traitements et l'eau.	8 à 10 JAP  tous les 8-10 jours		"tu dois toucher le plant au moins tous les 10 jours"
Ebourgeonnage	suppression à la main (très jeunes bourgeons) ou au couteau		"jeunes bourgeons se cassent facilement"	toutes les semaines (avant un traitement phytosanitaire)		économiser les produits de traitements et l'eau.
Traitement phytosanitaire	Plantation à floraison : protection préventive avec fongicides (Bouillie Bordelaise et Dithane). Puis protection avec fongicides + insecticides (Décis et Karaté). Ne traite pas pendant récolte sauf si problème.	Recherche les produits les plus efficaces si attaques parasitaires sévères. Arrache et brûle les plants virosés.	"Les insecticides protègent les fruits et les fongicides protègent les feuilles". Sait que utilisation abusive de Karaté et Décis peut entraîner phénomène de résistance, mais ces produits sont les moins chers.	1er traitement à 7 JAP, puis tous les 7 jours.	S'il pleut, pas de traitement : report le soir ou le lendemain. Si pluie moins de 3 h après traitement : renouvellement.	"Traiter préventivement car quand la maladie est là, difficile de s'en débarrasser"
Récolte	récolte des fruits pointés orange ou entièrement orange	récolte fruits rouges si demande faite par client	vente dans la journée ou au plus tard le lendemain.	tôt le matin ou fin d'après midi	dans la journée si des clients viennent acheter sur l'exploitation	approvisionner le marché du village le matin

## Réalizations en 2003

### Année 2003

Opération culturale	Date JAP	modalités		
		Réalisé	Ecart/Prév	Raisons
choix variété	Carioca	Carioca		
semis en pépinière	29-avr	fin SDP	n'a pas mis de fumier car celui-ci n'était pas bien décomposé.	
Travail du sol + trouaison en même temps	16-mai	travail manuel au pic + trou de 30 x 20 cm au chombo. 450 m <sup>2</sup> environ. Précédent = melon. Ne rebouche pas le trou plantation.	1ère parcelle labourée au pic car tracteur non disponible. 2ème parcelle labourée au tracteur en juin.	Aucune emprise sur la date de passage du tracteur (c'est la DAF / Service mécanoculture qui établit le planning).
Fumure de fond	19-mai	1 poignée engrais 10-10-20 (15 g/plant). Puis arrosage le soir.	pas d'apport de fumier.	non disponible.
Plantation	22 au 25 mai (24 à 27 JAS)	arrose en début après midi puis repique en fin d'après midi à partir 16h. 1 seul plant par trou. Recouvre ensuite les plants de feuilles de palmier.		
Sarclage	2/06 (8 JAP); 17/06 (24 JAP)	Au 1er, ramène un peu de terre dans le trou de plantation après avoir enlevé les MH et mis le fumier. 2è sarclage vers la floraison.	2 fois au lieu 3	Parcelle peu enherbée.
Fertilisation	20 juin (29 JAP)	1 grosse poignée fumier en même temps que 1er sarclage. Puis 1 poignée engrais 15-15-15 / plant le 20/06.	apport de fumier à 8 JAP en même temps que le 1er sarclage.	pas d'apport de fumier au moment de la plantation d'où rattrapage 8 JAP.
Irrigation	Plantation à fin de récolte.	2 x/j jusqu'à fin juin : 1 arrosoir pour 9-12 plants (~ 1,2 l/plant x 2) 1 x/j jusqu'au 5/08 : 1 arrosoir pour 9-12 plants (1,2 l/plant) 1 x/ tous les 3 jours du 5/08 à fin récolte : 1 arrosoir pour 9-12 plants (0,4 l/plant/jour)	manque d'eau à partir de fin août.	
Tuteurage	vers floraison	Collecte des piquets après la plantation (avocat marron). Installation des piquets à 15 cm du plant (le 8 juin). Attache des plants en deux fois avec liens en feuilles de bananes ou morceaux de ficelle (17 au 20 juin, puis 15 jours après).		
Taille	17 au 20 juin (au tuteurage)		2 à 3 tiges/plante	
Effeuilage	8 JAP  17 au 20 juin (au tuteurage)	suppression des feuilles qui touchent le sol avec un couteau suppression des feuilles tachées (vieilles et jeunes)		
Ebourgeonnage	17 au 20 juin et chaque semaine selon temps disponible.	suppression à la main (très jeunes bourgeons) ou au couteau		
Protection phytosanitaire	T1 : 2/06 (11 JAP); T9 : 26/07 (72 JAP)	T1 à T4 : Fongicide (Bouillie Bordelaise ou Dithane); T5 à T9 : Fong. (BB ou Dithane) + Ins. (Karaté ou Best ou Callifol)	9 traitements.	fruits à maturité à 71 JAP
Récolte		Récolte du 25/07 au 22/08 (27 jours)		

## Annexe 6 : Planification et réalisations des opérations culturales de Lep en 2005

Année 2005

Opération culturale	Planification des opérations					
	modalités			positionnement temporel		
	prévue	rechange	déterminant	prévu	rechange	déterminant
Choix variété	Floradade, Caribou	Mongal	Bonne production, résistance au FB	Il achète les semences 1 à 2 mois avant la date prévue de semis.	Contacte le Cirad s'il n'en trouve pas ou ses amis d'Anjouan.	Pas de stockage de semences.
Semis en pépinière	Désherbe et labour au pic un coin de la parcelle pour implanter la pépinière (change d'endroit chaque année). Semis sur planche surélevée - apport fumier + engrais.	Ne met pas de fumier s'il n'en trouve pas.	Protection des plants si forte pluie. Croissance meilleure avec engrais et fumier.	Fin de saison des pluies en mars/avril dès que fortes pluies se raréfient.		Prix élevé de la tomate en début de saison.
Travail du sol	Mécanisé : labour + enfouissement des résidus.	Manuel : désherbage au chombo ou houe + évacuation MH. Labour au pic au trou de plantation.	Labour profond, sol meuble, gain de temps.	20 jours environ après le semis, estimation du nombre de plants pour connaître le nombre de trous à faire.	Si tracteur indisponible ou retard, ou si saison pluvieuse persiste : travail manuel.	Sol ressuyé, disponibilité tracteur.
Trouaison	Trou de 30 cm x 20 cm (profondeur) : au chombo si passage tracteur. Trous alignés avec une ficelle.	Au pic ou à la houe si pas de labour mécanisé (sol dur).	Trouaison facile si labour mécanisé car la terre est meuble.	Réalisé après le travail mécanisé du sol, ou l'arrachage des mauvaises herbes si travail manuel du sol.		
Fumure de fond	Après trouaison, mélange la terre du trou de plantation avec fumier et engrais, puis arrosage. 3 grosses poignées de fumier lapin (500 g) + 2 poignées engrais NPK (30 g).	Fumier volailles + engrais ou engrais seul.	Bonne croissance des plantes avec apport mat. org.	1 ou 2 jours avant plantation.		Eviter que le fumier brûle les racines.
Plantation	1 plant / trou, puis couverture du plant avec feuilles de palmier. Plante en premier les grands plants, puis les plus petits pour éviter effilement des plants.		1 seul plant car tuteurage et taille du plant.	En fin d'après midi.		Protection des plants contre coups de soleil.
Sarclo-binage	1ère fois : il ramène un peu de terre dans le trou de plantation après avoir enlevé les MH. 2ème désherbage vers la floraison. 3ème pendant grossissement des fruits si MH ont vite repoussé.		Ne pas laisser les MH grandir car sinon trop de travail de désherbage.	2 semaines environ après plantation, puis à la floraison, puis environ 15-20 jours après.	Au plus tard avant floraison et le 1er apport d'engrais de couverture.	<i>"il ne faut pas que les MH soient grandes sinon les tomates manquent d'azote"</i>
Fertilisation	1 poignée (environ 15 g) pour 2 à 3 plants	Si plants chétifs et si fruits très petits, 2ème apport environ 10 jours après floraison.	<i>"les engrais chimiques, il faut pas en mettre beaucoup car ils brûlent les plants et ils coûtent chers"</i>	A la floraison, après un désherbage.		<i>"c'est le moment où la plante en a besoin pour faire grossir les fruits"</i>

Irrigation	1 x/j avant floraison : 1 arrosoir pour 14 plants (1l/plant)		<i>"arroser souvent car sinon la reprise est mauvaise"</i>	Tôt le matin ou en fin d'après midi.	Parfois il faut arroser le soir car pas d'arrivée d'eau le jour au robinet	En plein jour, beaucoup de gens irriguent, d'où des manques d'eau pour ceux qui sont en bout de réseau.
	2 x/j après floraison : 1 arrosoir pour 14 plants (2 l/plant)	Si pas assez d'eau, arrosage tous les 4-5 jours et paillage.	Besoins en eau plus importants.	Tôt le matin ou en fin d'après midi.	Parfois il faut arroser le soir car pas d'arrivée d'eau au robinet le jour.	Si problème d'appro en eau : arrosage prioritaire des parcelles en production.
	1 x/j pendant récolte : 1 arrosoir pour 14 plants (1 l/plant)	Si pas assez d'eau, arrosage tous les 4-5 jours et paillage.	Si trop d'eau, taches sur fruits.	Tôt le matin ou en fin d'après midi.	Parfois il faut arroser le soir car pas d'arrivée d'eau le jour au robinet	Si plus d'eau au robinet, ne fait pas de nouvelle plantation de tomates.
Tuteurage	Installation des tuteurs puis attache des plants sur tuteurs (2 à 3 liens au total en feuilles de bananes ou morceaux de ficelle).	Jusqu'à 4 liens si plant très vigoureux	Empêcher que les feuilles et fruits soient en contact avec le sol.	Pose des tuteurs avant la floraison (étalée sur plusieurs jours). Première attache des plants vers la floraison (en même temps que la taille).	Au plus tard quand les tiges commencent à plier.	Collecter et poser les tuteurs tôt pour combiner attache et taille du plant.
				2ème attache : fruits au stade "empoigne" (3 cm environ)		Opération étalée sur plusieurs jours à l'échelle du peuplement végétal.
Taille	Sélection de 2 à 3 tiges vigoureuses portant des bouquets.		Obtenir de gros fruits.	A la floraison - en même temps que l'attache des plants sur les tuteurs.	Au plus tard quand les tiges commencent à plier.	
Effeillage	Suppression des feuilles qui touchent le sol avec un couteau.		Limiter attaques fongiques et bactériennes	8 à 10 JAP		
	Suppression des feuilles tachées (vieilles et jeunes) avec un couteau.		Limiter la progression des maladies; économiser les produits de traitements et l'eau.	Tous les 8-10 jours.		<i>"tu dois toucher le plant au moins tous les 10 jours"</i>
Ebourgeonnage	Suppression des jeunes bourgeons à la main ou au couteau.		<i>"jeunes bourgeons se cassent facilement"</i>	Toutes les semaines (avant un traitement phytosanitaire).		Economiser les produits de traitements et l'eau.
Protection phytosanitaire	T1 à T6 : Fongicide (Bouillie Bordelaise ou Dithane) + Insecticide (Décis ou Karaté) T7 à T9 : I (Karaté ou Décis)	T7 à T9 : ajoute un fongicide si pression des maladies fongiques forte	<i>"Les insecticides protègent les fruits et les fongicides protègent les feuilles"</i>	1er traitement à 7 JAP, puis tous les 7 jours.	S'il pleut, pas de traitement : report le soir ou le lendemain. Si pluie moins de 3 h après traitement : renouvellement.	<i>"Traiter préventivement car quand la maladie est là, difficile de s'en débarrasser"</i>
Récolte	récolte des fruits orange à rouge tous les 3 jours environ	récolte des fruits pointés orange si tiges cassées ou rouges si demande faite par client	Vente dans la journée ou au plus tard le lendemain.	Tôt le matin ou fin d'après midi.	Dans la journée si des clients viennent acheter sur l'exploitation.	Approvisionner le marché du village le matin.

## Réalizations en 2005

Année 2005

Opération culturale	Date JAP	modalités		
		Réalisé	Ecart/Prév	Raisons
Choix variété		Carioca		
Semis en pépinière	25/04/2005	Désherbe et laboure au pic 2 m <sup>2</sup> pour implanter la pépinière. Apport fumier (250 g) + engrais 15-12-24 (20 g) mélangés à terre. Semis en lignes. Arrosage.		
Travail du sol + trouaison en même temps	15 et 16 mai	Travail manuel au pic + trou de 30 x 20 cm. Ne rebouche pas le trou complètement après la fumure de fond.	Tracteur	Non disponible. Aucune emprise sur la date de passage du tracteur (c'est la DAF qui décide).
Fumure de fond	16-mai	3 pleines mains de fumier lapin (500 g) + 2 poignées engrais NPK (30 g) mélangés à terre du trou de plantation. Puis arrosage le soir, et plantation le lendemain.		
Plantation	17/05/2005 (22 JAS)	Il plante seul, en fin d'après midi. 1 seul plant par trou. Recouvre les plants de feuilles de palmier pendant 2 à 3 jours.		
Sarclo-binage	3/06 (15JAP); 9/06 (21 JAP); 2/07 (44 JAP)	Au 1er, ramène un peu de terre dans le trou de plantation après avoir enlevé les MH. Désherbe au chombo. Evacue les MH de la parcelle.		Beaucoup de MH. Fait appel à un ouvrier pour l'aider à désherber.
Fertilisation	16/06/2005 (28 JAP)	1 poignée engrais 15-12-24 pour 3 plants (~5g/plant)		
Irrigation	Plantation à 69 JAP	1 x/j avant floraison : 1 arrosoir pour 14 plants (1l/plant/j)		
		2 x/j après floraison : 1 arrosoir pour 14 plants (2 l/plant/j)	Paillage à partir 56 JAP	Manque d'eau : problème lié à canalisation abimée au niveau du bassin collectif de captage d'eau en amont.
		1 x/j pendant récolte : 1 arrosoir pour 14 plants (1 l/plant/j)	Arrêt à 69 JAP	
Tuteurage	vers floraison	Attache du plant sur tuteur à 2 reprises avec liens en feuilles de bananes ou morceaux de ficelle.		
Taille	au tuteurage	3,5 tiges/plant en moyenne (jusqu'à 4,7)	2 à 3 tiges/plante	
Effeuilage	8 JAP	Suppression des feuilles qui touchent le sol avec un couteau		Travail étalé sur plusieurs jours à l'échelle du peuplement car il travaille seul sur l'EA et n'a pas le te
	au cours du cycle	Suppression des feuilles tachées (vieilles et jeunes) avec un couteau.		
Ebourgeonnage	à l'effeuillage	Suppression des jeunes bourgeons à la main ou au couteau.		
Protection phytosanitaire	T1 le 24/05 ; T6 le 12/07	T1 à T6 : Fongicide (Bouillie Bordelaise ou Dithane) + Insecticide (Décis ou Karaté) T7 à T9 : I (Karaté ou Décis)	6 TP au lieu de 7	
Récolte		Récolte du 18/07 au 7/08 (30 jours)		Fruits à maturité à 62 JAP.

## Annexe 7 : Mode opératoire pour le calcul des bilans hydriques.

Les bilans hydriques dans les parcelles suivies peuvent être établis à partir de l'estimation des flux d'eau entrants (irrigations paysannes, pluviométrie, remontées capillaires) et sortants (évapotranspiration réelle de la parcelle, ETa, ruissellement, drainage) de la réserve du sol entre deux dates. Pour calculer le ruissellement, le drainage et les éventuelles remontées capillaires dans chaque parcelle, il nous aurait fallu installer des appareils de mesure appropriés dans les parcelles, ce qui était très difficile compte tenu de nos moyens limités vis-à-vis du nombre et de la dispersion des parcelles. Cependant, compte tenu de la réalité, nous avons considéré ces valeurs comme négligeables : en effet, les pluies sont rares et faibles en saison sèche et l'irrigation est localisée au trou de plantation.

Le bilan hydrique (en mm) entre deux dates s'écrit selon l'équation suivante :

$$\Delta S = Ir + P - ETa$$

avec (en mm) Ir : irrigations

P : précipitations reçues entre deux dates

ETa : évapotranspiration réelle

$\Delta S$  : variation de stocks

L'évapotranspiration réelle (ETa) est difficile à mesurer. On sait néanmoins qu'elle est bornée par le besoin en eau théorique de la culture, dit « évapotranspiration maximale » ETM. Pour calculer ETM, on utilise la formule :

$$ETM = Kc * ETo$$

L'évapotranspiration de référence (ou potentielle) ETo, anciennement appelée ETP (Maraux, 2002) est donnée par la formule de Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998).

Les bilans hydriques ont été calculés pour les trois phases du cycle plantation-floraison, floraison-début de récolte, début de récolte-fin de récolte, celles-ci correspondant souvent à des changements de pratiques d'irrigation (fréquence et/ou doses d'apport).

Nous avons suivi les recommandations de Allen *et al.*, (1998) pour déterminer les Kc. Ainsi avons-nous procédé à des ajustements des Kc compte tenu du mode d'irrigation (au trou) et du mode de plantation de la tomate. En effet, la méthode standard originelle « Kc x ETo » tient compte d'une culture qui couvre entièrement le sol (gazon de fétuque en croissance active), et la formule de Penman-Monteith qui est fondée sur un bilan d'énergie a été établie pour des surfaces humides. Or dans notre cas c'est différent car les tomates ne couvrent pas entièrement le sol compte tenu de la densité et de la géométrie de plantation : plantation en rang avec un inter-rang assez large qui n'est jamais arrosé. Selon Allen *et al.*, (1998), il convient alors d'ajuster les Kc pour tenir compte des surfaces effectivement « évapotranspirantes », c'est-à-dire celles qui sont effectivement mouillées (évaporation du sol nu mouillé), et/ou celles couvertes par la culture (transpiration des plantes). Dans le cas contraire, on maximiserait l'évaporation dans la mesure où un sol nu évapore moins qu'un sol couvert.

En début de cycle la valeur du Kc (Kc initial, noté Kcini) varie avec la fréquence des apports d'eau (pluies ou irrigations), car l'évaporation du sol étant alors prédominante dans l'évapotranspiration, plus le sol est mouillé (en durée) plus il y a de l'évaporation et donc de l'évapotranspiration. La valeur du Kcini dépend aussi de l'ETo : plus l'ETo est élevée, plus vite se dessèche le sol, et donc plus rapidement diminue l'évaporation (effet de mulching) et donc, proportionnellement, la valeur du Kc. Enfin elle dépend également de la superficie de sol mouillé : de fait seul le sol mouillé peut évaporer.

D'après nos observations nous avons considéré une proportion de surface mouillée de l'ordre de 25% de la surface totale. Un tableau donné par la FAO (Allen *et al.*, 1998) permet de déterminer la

valeur du Kcini pour 100% de surface mouillée en fonction de la fréquence des apports et de l'ETo. Ensuite il faut pondérer la valeur en la multipliant par le taux de couverture. Par exemple si on détermine un Kcini de 0,9 et que l'on n'a seulement que 25% du sol qui est mouillé, alors le Kcini à considérer est de  $0,9 \times 0,25 = 0,225$ .

ETo mm/j	Intervalle entre apports en jours			
	1	2	3	4
4	1,15	0,9	0,75	0,6
5	1,00	0,8	0,65	0,5

Si en début de cycle cultural la surface de sol nu qui évapore quand elle est mouillée est dominante, ensuite c'est la surface couverte par la végétation qui domine. Ce qui transpire c'est la partie aérienne des plantes, et le pourcentage de couverture de la partie aérienne est donc pris en considération dans le processus d'évapotranspiration.

La FAO (Allen *et al.*, 1998) propose des valeurs de Kc pour la période du cycle au cours de laquelle les besoins en eau sont maximaux (Kcmid), et également pour la fin du cycle (Kcend) : une fourchette de valeur est donnée pour Kcmid (entre 1 et 1,1 selon la qualité du développement de la culture) et également pour Kcend (de 0,7 à 0,9, selon le moment où l'on arrête les irrigations). Il est précisé que ces valeurs ne sont valables qu'avec des taux de couvertures importants de l'ordre de 85%, et qu'il faut procéder à des ajustements pour diminuer légèrement les valeurs si les taux de couverture sont plus faibles. Un calcul est proposé pour cela, qui tient compte du taux de couverture si celui-ci est inférieur à 85%.

Nos observations ont montré des taux de couvertures très variables (voir tableau ci-dessous). En nous y référant nous avons considéré 2 valeurs types de taux de couverture : 0,6 pour les parcelles les moins belles ; et 0,75 pour les meilleures. Elles nous ont permis de pondérer les valeurs de Kcmid et Kcend.

Valeurs	Année	Taux couverture max sol par feuillage		
		P-F	F - Ri	Ri - Rf
moyenne	2003	26%	59%	48%
maxi		60%	80%	70%
mini		10%	20%	10%
éc-type		14%	16%	19%
CV		55%	27%	39%
moyenne	2005	47%	80%	66%
maxi		75%	90%	90%
mini		30%	50%	30%
éc-type		10%	10%	18%
CV		21%	12%	27%

D'après la FAO les Kcmid avant pondération vont de 1 à 1,1. Après prise en compte des taux de couverture (0,6 à 0,75) nous avons déterminés des valeurs de Kcmid vraisemblables de 0,85 (pour les parcelles les moins belles) et 1,05 (pour les parcelles les plus belles). Ces valeurs seront nos références.

Pour le Kcend, sur la base d'une valeur FAO de 0,9, nous avons déterminé des valeurs possibles de 0,75 (parcelles moins belles) et 0,85 (belles parcelles).

Après calcul, les Kc ajustés pour les campagnes 2003 et 2005 sont respectivement les suivants :

Kc ini  
apport tous les jours                      0,25



apport tous les 2 jours	0,20
apport tous les 3 jours	0,20
apport tous les 4 jours	0,15

Kc mid	
hypothèse basse	0,85
hypothèse forte	1,05

Kc end	
hypothèse basse	0,75
hypothèse forte	0,85

Sur la base de ces valeurs on peut déterminer les évolutions des Kc tout au long du cycle. Ces valeurs permettent de déterminer des ordres de grandeurs des besoins en eau des parcelles ( $ETM = Kc \times ETo$ ) selon leur qualité de développement (belles parcelles ; parcelles moyennement développées).

Parallèlement on peut estimer les consommations réelles des cultures ( $ETa$ ) en les assimilant aux apports d'eau (irrigations et pluies) (et en les bornant si nécessaire par les ETM).

Au final on peut ainsi estimer des indicateurs des niveaux de satisfaction des besoins hydriques des cultures, pour leur cycle et/ou pour différentes phases : le taux de satisfaction est le ratio  $ETa/ETM$ .

**Annexe 8 : Caractéristiques climatiques dans les différents sites d'études de 2003 à 2005 : pluviométrie mensuelle (mm) et température moyenne mensuelle (°C). ETo (mm) ne concerne que le site de Pamandzi en Petite Terre (source : météo nationale).**

Mois	Nord (M'Tzamboro)		Nord Est (Mamoudzou)		Centre (Combani )		Sud Est (Dembéni )		Sud (Mzouazia)		ETo moyenne ( mm)
	Pluvio	Temp.	Pluvio	Temp.	Pluvio	Temp.	Pluvio	Temp.	Pluvio	Temp.	
J03	270	28,3	399	27,6	330	26,8	375	27,5	320	28,3	4,6
F03	299	28,7	314	28,2	380	26,8	174	27,9	246	28,9	4,8
M03	399	28,8	153	28,9	439	27,5	313	27,2	151	28,9	4,6
A03	102	28,6	79	28,7	91	27,4	101	27,0	79	28,3	4,7
M03	12	27,6	18	28,5	4	25,6	mq	26,9	91	27,8	4,3
J03	8	26,4	25	27,4	22	24,4	mq	24,2	3	26,2	4
J03	16	25,7	17	26,1	16	23,8	mq	24,9	7	24,7	4,1
A03	9	24,9	4	25,4	8	23,4	mq	24,1	0	24,7	4,7
S03	62	25,7	66	26,3	31	22,8	mq	23,3	33	26,8	5,3
O03	89	26,3	21	26,8	135	23,0	25	23,4	14	27,3	5,5
N03	mq	26,9	108	27,3	115	25,4	188	26,3	40	27,7	5,5
D03	327	27,4	154	28,0	mq	26,5	254	27,3	43	28,5	5,4
J04	246	29,5	392	28,6	250	27,1	569	27,8	451	28,9	4,8
F04	127	29,3	71	28,5	109	26,9	99	27,7	85	28,6	5,7
M04	410	28,4	246	28,8	322	26,9	250	27,3	366	28,5	5
A04	222	28,5	94	28,7	433	26,5	209	26,9	197	28,5	4,9
M04	202	27,9	84	27,4	100	24,9	107	25,5	195	27,4	4,4
J04	31	27,0	27	26,0	12	23,3	28	23,6	29	25,5	3,9
J04	9	26,1	21	25,2	4	22,7	15	23,2	19	24,9	4
A04	28	25,5	14	25,5	37	22,5	13	23,1	27	24,9	4,7
S04	42	26,0	29	26,1	21	23,7	42	24,7	49	25,8	5,1
O04	101	27,0	75	26,9	56	25,1	57	26,2	78	27,2	5,6
N04	134	27,2	277	27,0	108	25,3	182	26,5	100	27,4	5,3
D04	285	27,9	126	27,5	143	26,2	298	27,2	269	28,1	5,3
J05	150	28,7	252	28,1	134	26,8	28	28,0	169	28,8	5,8
F05	387	28,9	400	28,6	351	27,0	295	28,4	208	29,5	5,3
M05	205	29,1	133	29,1	390	26,9	233	27,9	169	29,3	5,4
A05	135	29,1	83	28,7	205	26,4	148	27,1	103	28,8	4,7
M05	21	28,7	15	27,9	27	25,4	0	26,1	67	27,5	4,1
J05	20	27,3	13	26,8	32	23,7	24	24,3	3	25,8	4,1
J05	2	27,0	4	25,9	12	23,2	24	23,7	7	25,7	4,3
A05	98	25,4	21	25,6	15	22,5	15	23,1	15	25,1	4,6
S05	45	25,6	29	25,7	21	23,2	9	23,8	10	25,7	5
O05	154	26,2	50	26,1	111	24,0	50	25,0	96	26,4	5,1
N05	127	26,5	53	26,9	110	25,0	88	26,0	93	26,8	5,1
D05	157	28,2	141	27,7	301	26,2	197	27,1	174	28,1	5,3

## **Annexe 9 : Procédure opératoire pour la caractérisation du fonctionnement des peuplements de tomate et des états du milieu.**

### **1 - Observations sur le peuplement**

- Observations non destructives jusqu'à la récolte

Campagnes 2003 et 2005 :

- notation de la date de floraison (au moins 50% des plants avec au moins 1 fleur ouverte sur le premier bouquet), de la date de nouaison (au moins 50% des plants avec au moins 1 fruit de la taille d'un petit pois sur le premier bouquet) ;
- notation du nombre de plants par placette à la plantation et à la première récolte ;
- notation du nombre de feuilles précédant la première inflorescence ;
- évaluation de la vigueur végétative par le taux de recouvrement de la ligne de plantation par la végétation ; utilisation d'une grille visuelle à 5 niveaux : < 10%, 10-30%, 30-50%, 50-70%, > 70%.
- évaluation de l'enherbement par le taux de recouvrement du sol par les mauvaises herbes ; utilisation d'une grille visuelle à 5 niveaux : < 10%, 10-30%, 30-50%, 50-70%, > 70%.

Campagne 2005 :

- mesure de l'indice foliaire (LAI, sans dimension) et du rayonnement intercepté (RI en MJ/cm<sup>2</sup>/j); nous utilisons pour cela le ceptomètre AccuPAR 80. Les mesures de LAI et de RI sont faites sur trois plantes par placette, à 4 moments du cycle cultural (10 jours après plantation, à la floraison du 1<sup>er</sup> bouquet, 15 jours après floraison du 1<sup>er</sup> bouquet, juste avant la première récolte).
- Volume des plantes utilisées pour l'évaluation indirecte de la biomasse sèche avant l'arrachage des plantes : largeur sur la ligne, largeur entre lignes, hauteur (du sol à la dernière feuille déployée).
- Classification des parcelles selon le type d'exposition au rayonnement ; classe 0 = exposition de la culture en plein soleil ; classe 1 : culture sous cocoteraie clairsemée ; classe 2 : culture en intercalaire de jeunes arbres fruitiers (agrumes) ou de bananiers.

- Mesures destructives au cours du cycle

Campagne 2003 :

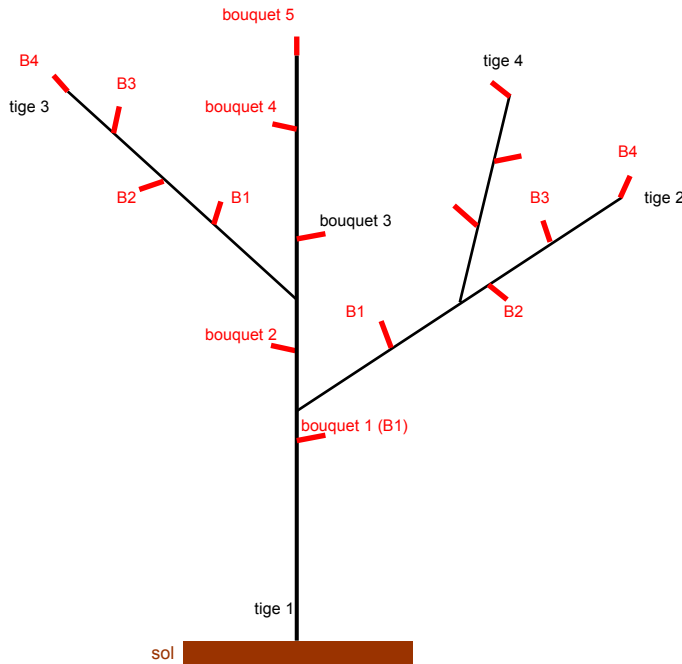
- Des profils racinaires ont été réalisés dans chaque placette à deux stades de culture : à la floraison et en début de récolte. La profondeur d'exploration du système racinaire, la morphologie et la répartition des racines ont été notées à l'aide d'une grille à mailles étroites (3 cm x 3 cm) de 40 cm de large et 80 cm de long, plaquée contre la paroi de terre. La fosse a été faite perpendiculairement à la ligne de plantation.

Campagne 2005 :

- Biomasse aérienne et teneurs en éléments minéraux : des prélèvements de plants ont été effectués à quatre moments du cycle cultural afin de mesurer la masse de matière sèche aérienne et la teneur en N, P, K des différentes parties (tiges, feuilles, fruits) : 10 jours après plantation, à la floraison du premier bouquet, 15 jours après floraison du premier bouquet, juste avant la première récolte (apparition des premiers fruits tournant à l'orange-rouge). Pour cela, trois plantes sont prélevées par placette sans mélanger les échantillons des placettes : les feuilles sont séparées des tiges et des fruits, puis chaque lot est séché séparément (48 h à 70°C), puis pesé. Un aliquot est ensuite prélevé dans chaque lot pour les analyses.
- Profils racinaires réalisés dans chaque placette au stade début de récolte.

- Observations et mesures à la récolte

- Notation du nombre de plants par placette ;
- Comptage du nombre de bouquets et nombre de fruits par plante ; pendant la campagne 2005, sur un échantillon de trois plantes identifiées par placette, nous avons compté, tous les dix jours en moyenne, le nombre de tiges fructifères, le nombre de bouquets par tige, le nombre de fruits par bouquet. Le rang de la tige et du bouquet compté est identifié par un chiffre comme indiqué sur le graphique ci-dessous. Le chiffre le plus faible indique la tige (ou le bouquet) le plus âgé. La tige est signalée par la lettre T et le bouquet est signalé par la lettre B ou l'abréviation Bqt.



Les comptages ont débuté dès la floraison du premier bouquet. En 2003, les comptages ont porté sur un échantillon de 10 plants par placette. Les comptages ont démarré deux semaines après la floraison avec une nouvelle observation effectuée tous les 14 jours. Les mesures ont été moins précises qu'en 2005 en ce sens que les comptages de bouquets et de fruits ont été réalisés sans identification du rang de la tige et des bouquets sur le plant.

- Tri des fruits, identification et quantification des causes de dépréciation des fruits ;
- Masse (kg) récoltée à la placette ; dans un premier temps, les plants de référence de chaque placette sont récoltés sans les mélanger (10 ou 3 plants correspondant respectivement aux campagnes de 2003 et de 2005). Après récolte, les fruits sont répartis en deux catégories (commercialisables et non commercialisables selon les critères « paysans »), puis comptés et pesés. Ensuite, les autres plants de la placette sont récoltés, triés, comptés et pesés pour calculer le rendement biologique et le rendement commercial.

## 2 - Observations sur le parasitisme

Les observations sont destinées à caractériser l'état sanitaire de la culture et à étudier son évolution au cours du cycle cultural dans les différentes parcelles du dispositif. L'état sanitaire global du peuplement dans chacune des trois placettes est apprécié selon une grille visuelle à cinq niveaux. On évalue l'incidence du parasitisme, à l'échelle du peuplement, par un pourcentage de plants présentant des symptômes d'attaques de ravageurs ou de maladies sur l'appareil foliaire et les organes reproducteurs.

La grille utilisée pendant les deux campagnes est la suivante :

M1 - Moins de 10 % de plantes attaquées ;

M2 - 10 à 30 % de plantes attaquées ;

- M3 - 30 % à 50 % de plantes attaquées ;
- M4 - 50 % à 75 % de plantes attaquées ;
- M5 - Plus de 75 % de plantes attaquées.

On considère surtout les maladies foliaires d'origine cryptogamique (oïdium, corynesporiose et alternariose qui sont très fréquentes à Mayotte), bactérienne (gale bactérienne) et virale (TLcMyV), voire des insectes (mineuses) et acariens qui altèrent les surfaces foliaires vertes de la plante.

Le flétrissement bactérien causant la mortalité du plant, l'impact de cette maladie sur le peuplement est évalué en nombre de plants morts dans ce cas.

Nous considérons que la note M3 constitue un stade critique à partir duquel le parasitisme a une influence négative sur l'élaboration du rendement en perturbant le fonctionnement de l'appareil aérien (photosynthèse, transfert des assimilats) et où les pratiques paysannes de lutte phytosanitaire ne permettent pas d'enrayer totalement la progression des infestations parasitaires.

En 2005, nous avons tenté d'affiner les observations en appréciant la gravité des attaques parasitaires à l'échelle de la plante par la proportion de plantes portant des symptômes, mais cette échelle n'est pas facile d'utilisation et nous l'avons délaissée :

- a - moins de 1/3 de plante affectée ;
- b - moins de 2/3 de plante affectée ;
- c - plus de 2/3 de la plante affectée.

Une forte gravité peut conduire à la mort du plant : dans ce cas, on note pour chaque placette le nombre de plants morts, la date et la (les) cause(s) de mortalité.

## Annexe 10 : Programmes des traitements phytosanitaires réalisés dans les quatre couples de parcelles paysannes en 2005.

Modalité TP : Lep2, Inr2, Mhs1, Ord3

Modalité TC : Lep3, Inr1, Mhs2, Ord2

La modalité TC vise à couvrir les périodes d'activité des parasites les plus fréquemment rencontrés en utilisant des matières actives appropriées en termes de modes d'actions et de rémanence. Ces parasites sont la corynesporiose, l'alternariose et l'oïdium pour les champignons, la gale bactérienne pour les bactéries, les acariens, les noctuelles et la mouche de la tomate pour les ravageurs.

Nom producteur : LEP3

Date plantation :

30-mai

Capacité pulvérisateur (l) :

15

Surface en m<sup>2</sup> :

142

153

	Parcelle Cirad (24,9 t/ha)						Parcelle paysanne (Lep2) (17,4 t/ha)					
	Date de traitement	Nb JAP	Produit (s)	Quantité (g ou ml) par pulvé	Nombre de pulvé	Dose (kg ou l / ha)	Date de traitement	JAP	Produit (s)	Quantité (g ou ml) par pulvé	Nombre de pulvé	Dose (kg ou l / ha)
1	14-juin	15	Norsineflo	50	0,7	2,46	03-juin	4	Dithane	90	2	5,88
			Endor	10	0,7	0,49			Vermitec	10	2	0,65
2	27-juin	28	Dithane M45	25	1	1,76	10-juin	11	Bouillie Bordelaise	300	2	19,61
			Callifol	10	1	0,70			Décis	14	2	0,92
3	03-juil	34	Bouillie Bordelaise	25	1,3	2,29	16-juin	17	Norsineflo	153	2	10,00
			Karaté vert	2,5	1,3	0,23			Callifol	66	2	4,31
						Décis			22,5	2	1,47	
4	11-juil	42	Orzin légumes	20	1,3	1,83	22-juin	23	Dithane	120	3,5	7,84
			Endor	10	1,3	0,92			Décis	22,5	3,5	1,47
5	18-juil	49	Norsineflo	50	1,3	4,58	29-juin	30	Dithane	120	4	7,84
			Callifol	10	1,3	0,92			Callifol	66	4	4,31
6	27-juil	58	Ortiva	10	1,3	0,92	06-juil	37	Bouillie Bordelaise	300	4,5	19,61
			Vertimec	5	1,3	0,46			Trigar	6	4,5	0,39
7	08-août	70	Orzin légumes	20	1,5	2,11	13-juil	44	Daconil	50	2,5	3,27
			Décis	10	1,5	1,06			Trigar	6	2,5	0,39
8	17-août	79	Dithane M45	25	1,5	2,64	19-juil	50	Norsineflo	153	2,5	10,00
			Vertimec	2,5	1,5	0,26			Décis	22,5	2,5	1,47
9	29-août	91	Bouillie Bordelaise	25	1,5	2,64	26-juil	57	Décis	22,5	2,5	1,47
			Karaté vert	2,5	1,5	0,26						

Nom producteur : INR1

Date plantation :

04-juin

Capacité pulvérisateur (l) :

15

Surface en m<sup>2</sup> :

200

200

	Parcelle Cirad (67,6 t/ha)						Parcelle paysanne (Inr2) (49,6 t/ha)					
	Date de traitement	Nb JAP	Produit (s)	Quantité (g ou ml) par pulvé	Nombre de pulvé	Dose (kg ou l / ha)	Date de traitement	JAP	Produit (s)	Quantité (g ou ml) par pulvé	Nombre de pulvé	Dose (kg ou l / ha)
1	15-juin	11	Norsineflo	50	1	2,50	14-juin	10	Bouillie Bordelaise	75	0,5	1,88
			Endor	10	1	0,50						
2	27-juin	23	Dithane M45	25	1	1,25	24-juin	20	Bouillie Bordelaise	75	1	3,75
			Callifol	10	1	0,50						
3	05-juil	31	Bouillie Bordelaise	25	1,3	1,63	01-juil	27	Bouillie Bordelaise	75	1	3,75
			Karaté vert	2,5	1,3	0,16						
4	12-juil	38	Orzin légumes	20	2	2,00	08-juil	34	Daconil	50	1	2,50
			Endor	10	2	1,00						
5	25-juil	51	Norsineflo	50	2	5,00	15-juil	41	Décis	10	2	1,00
			Callifol	10	2	1,00			Dithane	75	2	7,50
6	01-août	58	Ortiva	10	2	1,00	22-juil	48	Karaté	5	2	0,50
			Vertimec	5	2	0,50			Bouillie Bordelaise	75	2	7,50
7	12-août	69	Orzin légumes	20	2,3	2,30	29-juil	55	Décis	10	2,5	1,25
			Décis	10	2,3	1,15			Score	15	2,5	1,88
8	23-août	80	Dithane M45	25	2,3	2,88	05-août	62	Karaté	5	2,5	0,63
			Vertimec	5	2,3	0,58			Dithane	75	2,5	9,38
9	30-août	87	Bouillie Bordelaise	25	2,3	2,88	12-août	69	Karaté	5	2,5	0,63
			Karaté vert	2,5	2,3	0,29						
10						19-août	76	Daconil	50	2,5	6,25	
11						26-août	83	Décis	10	2	1,00	

Nom producteur : ORD2

Date plantation :

14-juin

Capacité pulvérisateur (l) :

15 L

Surface en m<sup>2</sup> :

210

295

Parcelle Cirad (89,1 t/ha)							Parcelle paysanne (Ord3) (22,5 t/ha)					
	Date de traitement	Nb JAP	Produit (s) (Qté pour 10 L)	Quantité (g ou ml) par pulvé	Nombre de pulvé	Dose (kg ou l / ha)	Date de traitement	JAP	Produit (s)	Quantité (g ou ml) par pulvé	Nombre de pulvé	Dose (kg ou l / ha)
1	24-juin	10	Norsineflo	50	1	2,38	21-juin	7	Bouillie Bordelaise	125	0,7	2,97
			Endor	10	1	0,48						
2	07-juil	23	Dithane M45	25	1	1,19	28-juin	14	Norsineflo	50	1,5	2,54
			Callifol	10	1	0,48						
3	19-juil	35	Bouillie Bordelaise	25	1,3	1,55	05-juil	21	Trigard	5	1,5	0,25
			Karaté	2,5	1,3	0,15						
4	27-juil	43	Orzin légumes	20	2	1,90	12-juil	28	Dithane	50	1,5	2,54
			Endor	10	2	0,95						
5	01-août	48	Norsineflo	50	2	4,76	19-juil	35	Karaté	5	1,5	0,25
			Callifol	10	2	0,95						
6	12-août	59	Ortiva	10	2	0,95	26-juil	42	Dithane	50	1,5	2,54
			Vertimec	5	2	0,48						
6bis	13-août	60	Karaté	7	2	0,67	02-août	49	Karaté	5	2	0,34
7	22-août	69	Orzin légumes	20	2	1,90	09-août	56	Norsineflo	50	2	3,39
			Décis	10	2	0,95			Trigard	5	2	0,34
8	30-août	77	Dithane M45	25	2	2,38	13-août	60	Karaté	5	2	0,34
			Vertimec	5	2	0,48			Karaté	7	2	0,47
9	13-sept	91	Bouillie Bordelaise	25	2	2,38	16-août	63	Norsineflo	50	2	3,39
			Karaté	2,5	2	0,24			Trigard	5	2	0,34
10	20-sept	98	Décis	10	2	0,95	23-août	70	Karaté	5	2	0,34
									Dithane	50	1,5	2,54
							06-sept	84	Décis	8	3	0,81

Nom producteur : MHS2

Date plantation :

16-juin

Capacité pulvérisateur (l) :

12 L

Surface en m<sup>2</sup>

201

335

Parcelle Cirad (31,3 t/ha)						Parcelle paysanne (Mhs1) (28,2 t/ha)						
	Date de traitement	Nb JAP	Produit (s)	Quantité (g ou ml) par pulvé	Nombre de pulvé	Dose (kg ou l / ha)	Date de traitement	JAP	Produit (s)	Quantité (g ou ml) par pulvé	Nombre de pulvé	Dose (kg ou l / ha)
1	28-juin	12	Norsineflo	50	1	2,48	18-juin	2	Dithane	50	3	4,48
			Endor	10	1	0,50			Karaté	5	3	0,45
2	08-juil	22	Dithane M45	25	1	1,24	28-juin	12	Trigard	3	3	0,27
			Callifol	10	1	0,50			Norsineflo	30	3	2,69
3	19-juil	33	Bouillie Bordelaise	25	1,3	1,61	13-juil	27	Dithane	50	3	4,48
			Karaté	2,5	1,3	0,16			Karaté	5	3	0,45
4	26-juil	40	Orzin légumes	20	2	1,99	21-juil	35	Trigard	3	5	0,45
			Endor	10	2	0,99			Norsineflo	30	5	4,48
5	04-août	49	Norsineflo	50	2	4,96	31-juil	45	Dithane	50	5	7,46
			Callifol	10	2	0,99			Karaté	5	5	0,75
6	16-août	61	Ortiva	10	2	0,99	10-août	55	Trigard	3	5	0,45
			Vertimec	5	2	0,50			Norsineflo	30	5	4,48
7	25-août	70	Orzin légumes	20	2	1,99	18-août	63	Karaté	5	5	0,75
			Décis	10	2	0,99						
8	07-sept	83	Dithane M45	25	2	2,48						
			Vertimec	5	2	0,50						
9	13-sept	89	Bouillie Bordelaise	25	2	2,48						
			Karaté	2,5	2	0,25						

## Annexe 11 : Protocole de l'essai taille en station (2004)

### 1 - Objectif

Il s'agit d'évaluer les conséquences de la taille en elle-même (sans interaction avec d'autres facteurs et conditions) sur la croissance et le développement de la tomate.

Le choix d'une densité très faible (1,5 m x 1,5 m, soit 0,44 plant/m<sup>2</sup>) est adopté pour que tous les plants soient soumis aux mêmes conditions micro-climatiques (exposition au rayonnement, absence d'ombrage), de sol (pas de concurrence pour l'eau et les éléments nutritifs) et éviter les contacts involontaires des ouvriers avec les plantes lors des passages dans les allées (risque de cassure de cassures de tiges et de bouquets floraux). En plantation traditionnelle, les écartements sont de l'ordre de 0,7 à 0,9 m entre les lignes et 0,5 à 0,6 m sur la ligne, soit des densités de 2 à 3 plants/m<sup>2</sup>.

### 2 - Matériel et méthodes

Nous avons opté pour un dispositif statistique en randomisation totale à six traitements, correspondant à trois modalités de conduite du couvert végétal (T0, T1, T2) combinées à deux niveaux de fertilisation minérale (F0, F1), et répétées six fois. Les six traitements testés sont les suivants :

T0F0 : aucune taille, fertilisation réduite

T0F1 : aucune taille, fertilisation pléthorique

T1F0 : taille intermédiaire, fertilisation réduite

T1F1 : taille intermédiaire, fertilisation pléthorique

T2F0 : taille paysanne, fertilisation réduite

T2F1 : taille paysanne, fertilisation pléthorique

Avec :

- **T0** : pas de taille, ni de tuteurage du plant.
- **T1** : taille légère consistant en un effeuillage du bas de la plante, de la première feuille située au dessus des cotylédons jusqu'à la feuille précédant le premier bouquet, et en la suppression des axillaires pour n'en garder que trois vigoureux (gros diamètre de tiges et feuillage bien vert). Après la taille, le plant de tomate est attaché sur un tuteur en bambou comprenant une tige principale de 1,5 m de hauteur environ avec des ramifications latérales sur lesquelles reposent les axillaires de la tomate. Aucun égourmandage n'est réalisé pendant tout le cycle cultural.
- **T2** : taille paysanne. Comme dans le traitement T1, au moment de la floraison, on réalise un effeuillage du bas de la plante, de la première feuille située au dessus des cotylédons jusqu'au 1<sup>er</sup> bouquet, et on supprime les axillaires pour ne garder que les trois plus vigoureux. Le plant de tomate est attaché sur un piquet en bois, et ce en trois fois au cours du cycle. Le premier lien est posé après la taille et les liens suivants environ 15 jours après, avant que les tiges ne se plient. Les plants sont ensuite égourmandés à deux reprises entre la floraison et le début des récoltes pour maintenir les trois tiges initiales. L'attache du plant sur le tuteur intervient après l'égourmandage.
- **F0** : fertilisation modérée proche de la pratique paysanne avec une quantité totale de 12 g d'engrais ternaire 10-10-20 répartie sur deux apports :
  - à la plantation : 6 g de 10-20-20 / plant,
  - à la floraison : 6 g de 10-20-20 / plant.
 L'engrais est enfoui dans la couche superficielle du sol par un léger binage.
- **F1** : fertilisation pléthorique avec une quantité totale de 36 g de 10-10-20 par plant apportée :
  - à la plantation : 12 g / plant,
  - à la floraison : 12 g / plant.
  - 3 semaines après floraison : 12 g / plant.



Afin de mettre en évidence un éventuel effet de la fertilisation azotée sur la croissance et les composantes du rendement, nous avons choisi des doses d'engrais significativement différentes entre F1 et F0 : la modalité F1 a reçu trois fois plus d'engrais que F0. En considérant les besoins de la tomate en azote qui sont de l'ordre de 2,5 k par tonne de fruits rouges (Geseinberg and Stewart, 1986), la modalité F0 reçoit donc une dose de moitié inférieure aux besoins et F1 environ 1,5 fois plus.

Chaque parcelle élémentaire comporte 5 plantes (notées P1 à P5) : un plant de référence (P4) pour les mesures non destructives (composantes du rendement, croissance, ...), trois plantes (P1 à P3) attribuées aux mesures destructives et 1 plante (P5) pour remplacer le plant de référence en cas de mortalité causée par *Ralstonia solanacearum*.

La variété choisie a été Calinago (hybride F1 à croissance déterminée), bien connue des agriculteurs.

Ecartements de plantation : 1,5 m sur la ligne x 1,5 m entre les lignes.

Surface de l'essai : 450 m<sup>2</sup> (45 m de longueur x 12 m de largeur).

Irrigation réalisée 3 fois par semaine (lundi, mercredi et vendredi) par un système automatisé goutte à goutte en tenant compte de KcxETo.

Protection phytosanitaire assurée par des traitements préventifs et curatifs.

### 3 - Observations et mesures

- ✓ *Destructives* : 108 plantes destinées aux mesures destructives (6 traitements x 6 répétitions x 3 dates de prélèvement) ;

- Mesures de croissance et de biomasse à 3 dates : 15 jours après plantation (JAP), 35 JAP, 55 JAP.

Avant arrachage des plants, les mesures suivantes ont été réalisées au champ :

- Hauteur du plant (h) mesurée du collet au bourgeon terminal ;
- Largeur de l'appareil végétatif sur la ligne de plantation (L1) et perpendiculairement à la ligne de plantation (L2) ; Calcul du volume de la végétation aérienne (h x L1 x L2) ;

Les plants ont été ensuite arrachés pour déterminer, après passage à l'étuve pendant 48h à 72°C :

- Le poids sec des différentes parties aériennes de la plante : feuilles (pétioles inclus), tiges (bouquets inclus), fruits.

Dans le cas des traitements T1 et T2, les déchets de taille et d'effeuillage ont été récupérés pour déterminer leur poids sec.

- ✓ *Non destructives* : 36 plantes dites de référence (notées P4) destinées aux mesures non destructives (6 traitements x 6 répétitions).

- Notation des dates de :

- floraison : au moins 1 fleur ouverte sur le premier bouquet ;
- nouaison : au moins 1 fruit vert > 1 cm de diamètre sur le premier bouquet ;
- début de récolte : 1<sup>er</sup> fruit rouge récolté ;
- fin de récolte : dernier fruit rouge récolté.

- 1 fois par semaine :

- mesure de la hauteur du plant, et de la largeur du feuillage sur la ligne de plantation et perpendiculairement à la ligne de plantation ;
- comptage du nombre de tiges fructifères ;
- comptage du nombre de bouquets par tige ;

- A chaque récolte :

- séparation des fruits en deux catégories : commercialisables et non commercialisables ;
- comptage et pesée des fruits par catégorie en notant leur appartenance au n° de tige et n° de bouquet ;
- identification des causes de dépréciation des fruits non commercialisables.

**Plan de l'essai taille de la tomate (2004)**

chemin exploitation							
B	B	B	B	B	B	B	B
B	P1	P1	P1	P1	P1	P1	B
B	P2	P2	P2	P2	P2	P2	B
B	P3	P3	P3	P3	P3	P3	B
B	P4	P4	P4	P4	P4	P4	B
B	P5	P5	P5	P5	P5	P5	B
B	R2	R1	R5	R4	R2	R4	B
B	P1	P1	P1	P1	P1	P1	B
B	P2	P2	P2	P2	P2	P2	B
B	P3	P3	P3	P3	P3	P3	B
B	P4	P4	P4	P4	P4	P4	B
B	P5	P5	P5	P5	P5	P5	B
B	R3	R3	R5	R5	R5	R4	B
B	P1	P1	P1	P1	P1	P1	B
B	P2	P2	P2	P2	P2	P2	B
B	P3	P3	P3	P3	P3	P3	B
B	P4	P4	P4	P4	P4	P4	B
B	P5	P5	P5	P5	P5	P5	B
B	R1	R6	R3	R4	R6	R5	B
B	P1	P1	P1	P1	P1	P1	B
B	P2	P2	P2	P2	P2	P2	B
B	P3	P3	P3	P3	P3	P3	B
B	P4	P4	P4	P4	P4	P4	B
B	P5	P5	P5	P5	P5	P5	B
B	R2	R2	R6	R6	R3	R1	B
B	P1	P1	P1	P1	P1	P1	B
B	P2	P2	P2	P2	P2	P2	B
B	P3	P3	P3	P3	P3	P3	B
B	P4	P4	P4	P4	P4	P4	B
B	P5	P5	P5	P5	P5	P5	B
B	R2	R5	R1	R4	R1	R2	B
B	P1	P1	P1	P1	P1	P1	B
B	P2	P2	P2	P2	P2	P2	B
B	P3	P3	P3	P3	P3	P3	B
B	P4	P4	P4	P4	P4	P4	B
B	P5	P5	P5	P5	P5	P5	B
B	R4	R1	R3	R3	R6	R6	B
B	B	B	B	B	B	B	B

**Légende :**

ToFo : pas de taille, ferti réduite

ToF1 : pas de taille, ferti en excès

T1Fo : taille inter, ferti réduite

Ri : numéro de répétition

P1 à P5 : plant 1 à plant 5

T1F1 : taille inter, ferti en excès

T2Fo : taille paysanne, ferti réduite

T2F1 : taille paysanne, ferti en excès

B : plant de bordure

P4 : plant de référence

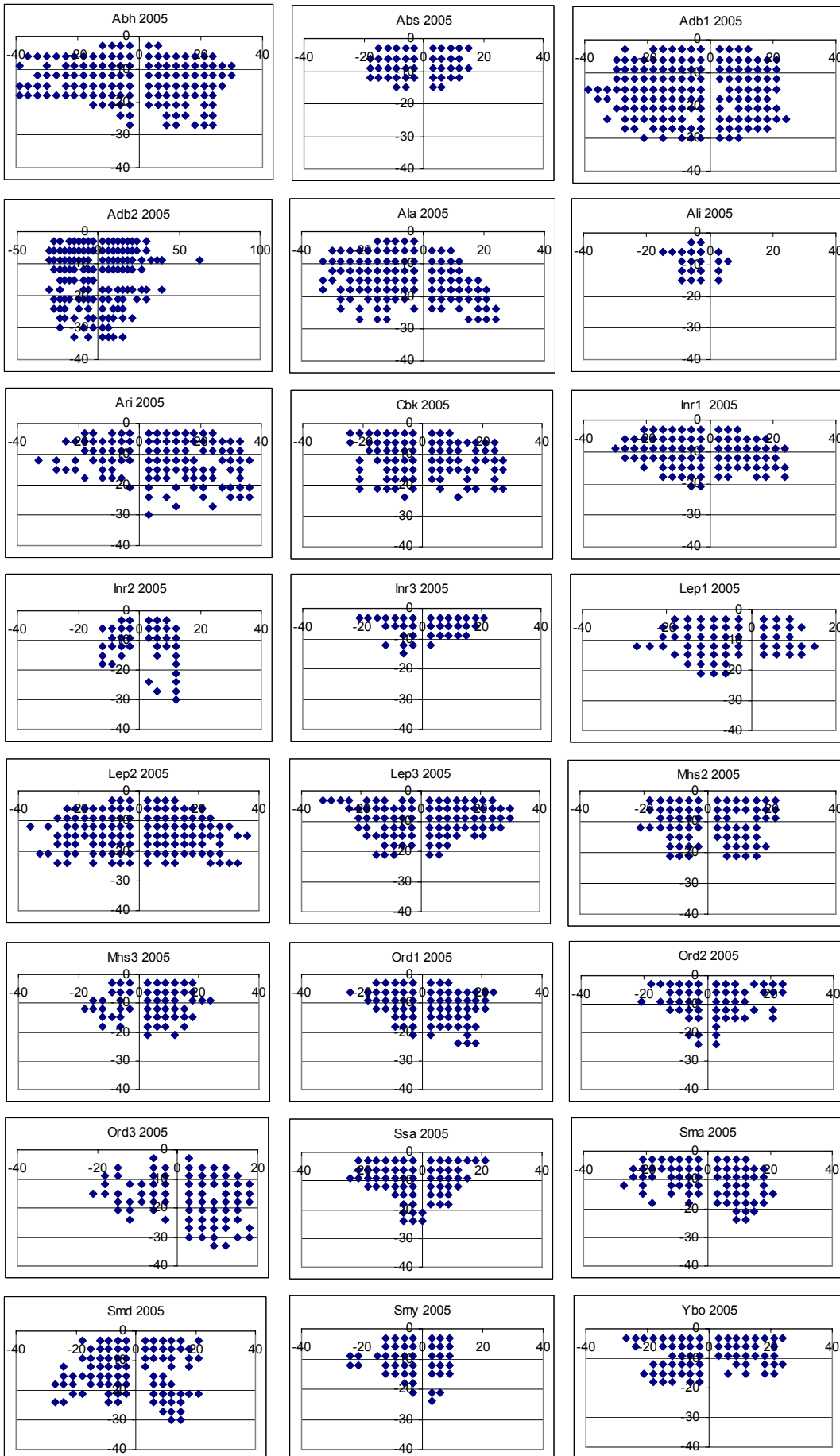
## Annexe 12 : Itinéraires techniques des agriculteurs suivis en 2003 et 2005.

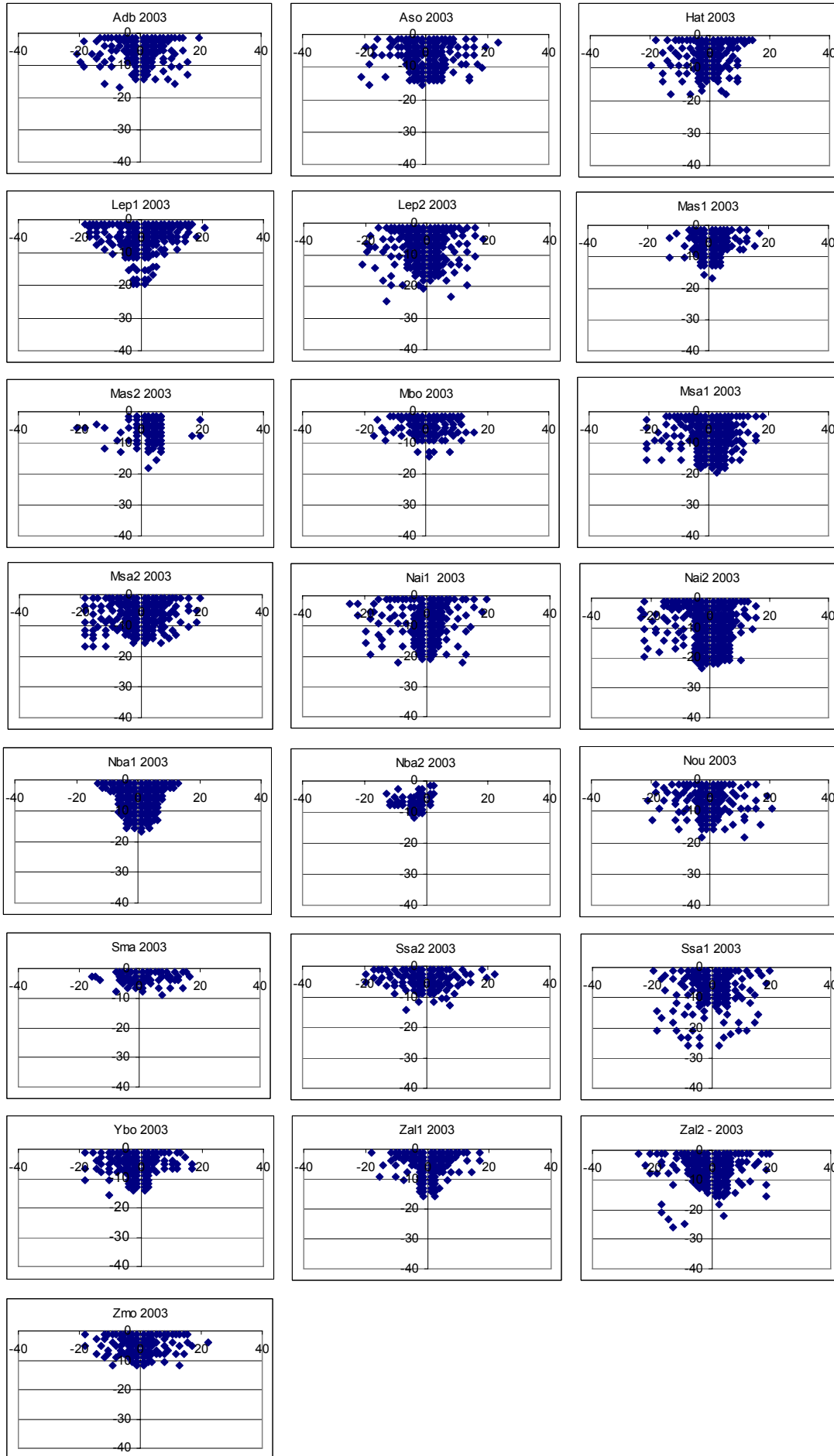
code agri	Année	Site	Rend tot (t/ha)	Prod tot / plant (kg)	Variété	Précédent cultural	Association culturale	Date plantation	Durée pépinière (j)	Durée P-F (j)	Durée F- Ri (j)	Durée Ri- Rf (j)	Travail sol	Résidus	densité à P (plants/ha)	densité à Ri (plants/ha)	Qté fumier (t/ha)	Qté engrais (kg/ha)	Qté N minéral (kg/ha)	Nb traitements phyto	Mode d'irrigation
Abh	2005	Combani	19,4	0,7	Calinago	courgette	aucune	31/05/05	21	30	33	37	manuel	évacués	30 457	29 620	4,6	0	0	12	arrosoir (A)
Abs	2005	Combani	67,6	1,9	Mongal	mafane	aucune	01/06/05	19	33	35	31	manuel	évacués	37 211	36 212	5,6	1 086	163	12	arrosoir
Adb1	2005	Dzoumogné	33,9	1,8	Carioca	interculture	aucune	08/06/05	20	34	30	25	charrue	enfouis	20 424	19 354	0	663	99	10	arrosoir
Adb2	2005	Dzoumogné	13,8	0,9	Mongal	interculture	aucune	22/07/05	17	34	35	18	charrue	enfouis	14 683	14 683	0	457	69	7	arrosoir
Ala	2005	Dembéni	44,3	1,5	Mongal	jachère	cocotiers	07/06/05	36	36	27	35	charrue	enfouis	29 097	29 097	4,4	1 321	198	15	arrosoir
Ali	2005	Combani	40,7	1,2	Mongal	interculture	aucune	04/07/05	28	29	37	26	manuel	évacués	34 243	33 581	8,6	2 638	396	16	arrosoir
Ari	2005	Dzoumogné	20,0	1,0	Calinago	manioc	aucune	20/07/05	33	40	31	25	charrue	enfouis	19 452	19 452	0	763	114	20	arrosoir
Cbk	2005	Bandré	54,1	1,3	Mongal	tomate	cocotiers	27/05/05	31	32	36	34	charrue	enfouis	40 109	40 109	0	1 837	276	18	arrosoir
Inr1	2005	Combani	67,6	1,8	Mongal	interculture	aucune	04/06/05	23	31	38	61	charrue	enfouis	37 994	36 965	19,0	887	133	18	arrosoir
Inr2	2005	Combani	49,6	1,4	Mongal	interculture	aucune	04/06/05	23	31	36	28	charrue	enfouis	38 371	35 217	19,2	883	132	15	arrosoir
Inr3	2005	Combani	33,1	0,7	Carioca	interculture	aucune	02/07/05	22	34	38	21	charrue	enfouis	46 686	44 233	23,3	1 091	164	20	arrosoir
Lep1	2005	Combani	21,0	0,8	Carioca	concombre	aucune	17/05/05	22	28	34	30	manuel	évacués	29 464	27 969	14,7	1 005	151	18	arrosoir
Lep2	2005	Combani	17,4	0,6	Mongal	courgette	aucune	29/05/05	24	32	36	41	manuel	évacués	30 336	30 336	15,2	1 023	153	18	arrosoir
Lep3	2005	Combani	24,9	0,9	Mongal	courgette	aucune	30/05/05	25	31	36	41	manuel	évacués	26 342	26 342	13,2	1 066	160	19	arrosoir
Mhs1	2005	Dembéni	28,2	0,9	Carioca	manioc	bananiers	16/06/05	28	40	30	13	manuel	évacués	33 460	29 985	8,4	402	60	8	tuyau (T) + A
Mhs2	2005	Dembéni	31,3	1,1	Carioca	manioc	bananiers	16/06/05	28	33	37	28	manuel	évacués	30 117	28 620	7,5	298	45	19	tuyau + A
Nba	2005	Mamoudzou	8,3	0,2	Mongal	interculture	aucune	14/08/05	29	32	29	4	manuel	évacués	44 674	41 889	11,2	0	0	4	arrosoir
Ord1	2005	Combani	58,4	1,7	Caracoli	maïs	agrumes	13/06/05	26	29	36	64	manuel	évacués	35 140	35 140	8,8	0	0	28	arrosoir
Ord2	2005	Combani	89,1	2,1	Mongal	maïs	agrumes	14/06/05	27	28	36	64	manuel	évacués	43 515	42 437	10,9	0	0	21	arrosoir
Ord3	2005	Combani	22,5	0,8	Mongal	salade	agrumes	14/06/05	27	29	35	34	manuel	évacués	31 708	29 129	7,9	0	0	25	arrosoir
Pet	2005	Bandré	8,1	0,3	Carioca	jachère	aucune	06/10/05	47	24	33	0	manuel	évacués	26 753	26 753	0,0	0	0	0	arrosoir
Saa	2005	Combani	56,4	1,3	Mongal	jachère	aucune	04/06/05	21	31	31	38	manuel	évacués	44 314	44 314	11,1	756	113	22	arrosoir
Sma	2005	Malamani	9,2	0,4	Calinago	jachère	cocotiers	08/07/05	28	41	27	22	manuel	évacués	28 855	20 429	0	133	20	8	arrosoir
Smd	2005	Dzoumogné	15,0	1,2	Calinago	jachère	aucune	09/06/05	29	33	30	25	manuel	évacués	21 015	12 551	0,0	0	0	18	arrosoir
Smy	2005	Dzoumogné	36,4	1,6	Calinago	manioc	aucune	06/07/05	26	24	37	28	manuel	évacués	23 804	22 462	3,6	1 017	153	20	arrosoir
Sso	2005	Bandré	26,7	0,6	Mongal	interculture	cocotiers	12/06/05	23	24	49	13	manuel	évacués	46 161	44 862	0,0	0	0	20	arrosoir
Ybo	2005	Kani-Kéli	33,2	1,5	Chamou	riz	aucune	28/05/05	22	40	23	58	manuel	évacués	25 971	22 129	6,5	770	116	18	arrosoir + T
Zky	2005	Combani	27,4	1,0	Carioca	friche	cocotiers	05/07/05	27	28	37	26	manuel	évacués	28 813	28 813	0,0	974	146	18	arrosoir
Adb	2003	Dzoumogné	34,8	1,9	Caraiïbo	interculture	aucune	28/07/03	21	31	33	34	charrue	enfouis	18 500	18 000	5,6	0	0	23	arrosoir
Aso	2003	Dembéni	2,7	0,2	Caracoli	interculture	aucune	02/05/03	17	20	41	28	manuel	évacués	20 800	16 000	6,3	125	13	9	arrosoir
Hat	2003	Mangajou	28,9	2,6	Calinago	friche	aucune	16/06/03	30	28	35	29	charrue	enfouis	11 000	11 000	3,3	0	0	7	arrosoir
Lep1	2003	Combani	6,1	0,8	Carioca	melon	aucune	22/05/03	24	28	36	28	manuel	évacués	12 500	8 000	3,8	75	8	9	arrosoir
Lep2	2003	Combani	0,7	0,1	Floradade	interculture	aucune	26/08/03	28	42	49	14	charrue	enfouis	24 900	11 000	7,5	0	0	6	arrosoir
Mbo	2003	Mangajou	12,7	0,5	Caraiïbo	interculture	aucune	29/05/03	30	40	35	23	charrue	enfouis	30 600	24 000	9,2	0	0	4	arrosoir
Mas1	2003	Mamoudzou	4,1	0,4	Caracoli	maïs	aucune	11/05/03	15	25	33	43	charrue	enfouis	22 200	11 000	13,3	890	133	6	arrosoir
Mas2	2003	Mamoudzou	11,8	0,7	Caracoli	friche	aucune	14/06/03	15	21	27	52	charrue	enfouis	22 200	18 000	13,3	890	133	6	arrosoir
Mhs1	2003	Dembéni	8,4	0,3	Carioca	concombre	bananiers	01/09/03	41	21	42	24	charrue	enfouis	32 600	31 000	9,8	196	20	7	arrosoir
Mhs2	2003	Dembéni	2,9	0,1	Carioca	friche	aucune	22/09/03	30	23	41	14	charrue	enfouis	30 800	29 000	9,2	185	12	11	arrosoir
Nai1	2003	Dembéni	25,1	1,5	Caribou	friche	aucune	27/06/03	15	31	43	31	manuel	évacués	17 900	17 000	5,4	107	11	5	arrosoir
Nai2	2003	Dembéni	18,5	1,0	Carioca	friche	aucune	27/06/03	15	30	44	31	manuel	évacués	17 900	18 000	5,4	107	11	5	arrosoir
Nba1	2003	Mamoudzou	16,9	0,7	Caracoli	interculture	aucune	06/05/03	21	31	42	34	manuel	évacués	24 700	23 000	14,8	148	15	17	arrosoir
Nba2	2003	Mamoudzou	34,4	1,0	Caraiïbo	concombre	aucune	28/06/03	21	20	42	42	manuel	évacués	39 700	36 000	23,8	238	24	9	arrosoir
Nou	2003	Combani	14,6	1,2	Caraiïbo	interculture	aucune	06/06/05	20	34	40	34	manuel	évacués	12 500	12 000	3,8	75	8	9	arrosoir
Sma	2003	Malamani	22,3	0,4	King-Kong	maïs	cocotiers	02/05/03	20	33	43	20	manuel	évacués	54 200	51 000	0	325	49	8	arrosoir
Ssa1	2003	M'Tsamoudou	45,3	2,8	Caraiïbo	interculture	aucune	17/05/03	18	28	39	55	charrue	enfouis	16 700	16 000	5	100	15	12	goutte-goutte
Ssa2	2003	M'Tsamoudou	28,6	1,8	Carioca	interculture	aucune	01/06/03	19	26	29	52	charrue	enfouis	16 700	16 000	5	0	0	10	goutte-goutte
Ybo	2003	Kani-Kéli	43,2	2,4	Chamou	riz	aucune	09/06/03	19	31	27	49	manuel	évacués	20 000	18 000	6	240	36	12	arrosoir + T
Zal1	2003	Ouangani	32,2	1,2	Caribou	interculture	aucune	03/05/03	20	26	42	39	manuel	évacués	29 000	27 000	8,7	174	26	6	arrosoir
Zal2	2003	Ouangani	13,5	0,5	Carioca	haricot	aucune	18/05/03	20	26	35	31	manuel	évacués	28 700	27 000	8,6	172	26	5	arrosoir
Zmo	2003	Combani	30,3	1,4	Caraiïbo	interculture	aucune	10/05/03	25	35	38	37	manuel	évacués	22 000	21 000	6,6	264	26	9	arrosoir

## Annexe 13 : Bilans hydriques des parcelles suivies en 2003 et 2005 à différentes phases du cycle cultural

Code parcelle	Année	Nb plants/m <sup>2</sup>	durée du cycle en jours			Irrigations moy. (mm/jour)			Pluviométrie moyenne (mm/j)			Total Irr. + Pluvio (mm/j)			ETo moyen (mm/jour)			Kc moyens ajustés			Besoins moyens (mm/jour)			Bilan (en mm) : (Irr+pluvio) - (EToxKc)			Taux de satisfaction : apports/besoins			
			P-F	F-Ri	Ri-Rf	P-F	F-Ri	Ri-Rf	P-F	F-Ri	Ri-Rf	P-F	F-Ri	Ri-Rf	P-F	F-Ri	Ri-Rf	P-F	F-Ri	Ri-Rf	P-F	F-Ri	Ri-Rf	P-F	F-Ri	Ri-Rf	P-F	F-Ri	Ri-Rf	
Adb	2003	1,9	39	25	34	6,4	5,2	2,3	0,3	2,5	2,6	6,7	7,7	4,9	4,80	4,80	4,80	0,21	0,82	0,82	0,99	3,95	3,95	5,7	3,7	0,9	674%	194%	124%	
Aso	2003	2,1	28	32	28	5,6	3,2	1,3	dm	dm	dm	5,6	3,2	1,3	4,80	4,80	4,80	0,19	0,70	0,68	0,91	3,34	3,27	4,7	-0,1	-2,0	610%	97%	40%	
Hat	2003	1,1	33	30	29	3,4	3,3	3,3	0,2	0,4	0,6	3,5	3,7	3,8	4,80	4,80	4,80	0,19	0,73	0,75	0,93	3,50	3,58	2,6	0,2	0,2	377%	106%	107%	
Lep1	2003	1,3	36	28	28	3,3	1,6	0,9	0,6	0,4	0,4	3,9	2,0	1,4	4,80	4,80	4,80	0,19	0,49	0,46	0,92	2,34	2,23	3,0	-0,3	-0,8	430%	87%	62%	
Lep2	2003	2,5	53	37	14	3,7	3,0	0,0	1,3	6,4	3,1	5,0	9,5	3,1	4,80	4,80	4,80	0,21	0,66	0,57	1,02	3,18	2,72	4,0	6,3	0,4	491%	298%	115%	
Mas1	2003	2,2	33	25	43	4,4	2,2	2,2	1,0	0,2	0,4	5,4	2,4	2,6	4,80	4,80	4,80	0,22	0,70	0,60	1,04	3,36	2,86	4,3	-0,9	-0,3	515%	73%	90%	
Mas2	2003	2,2	30	18	52	3,9	1,1	0,4	0,1	0,9	0,7	3,9	2,0	1,2	4,80	4,80	4,80	0,25	0,74	0,75	1,19	3,54	3,58	2,8	-1,6	-2,4	331%	55%	33%	
Mbo	2003	3,1	46	29	23	6,1	6,1	6,1	0,2	0,4	0,4	6,3	6,5	6,6	4,80	4,80	4,80	0,24	0,91	0,87	1,17	4,37	4,16	5,1	2,1	2,4	538%	149%	157%	
Mhs1	2003	3,3	34	28	24	8,8	4,3	4,4	dm	dm	dm	8,8	4,3	4,4	4,80	4,80	4,80	0,27	0,92	0,89	1,30	4,39	4,28	7,5	-0,1	0,1	681%	98%	102%	
Mhs2	2003	3,1	34	29	14	8,3	4,1	4,1	dm	dm	dm	8,3	4,1	4,1	4,80	4,80	4,80	0,26	0,86	0,85	1,26	4,13	4,06	7,1	0,0	0,0	659%	100%	100%	
Nai1	2003	1,8	40	33	31	3,6	7,1	7,8	dm	dm	dm	3,6	7,1	7,8	4,80	4,80	4,80	0,21	0,85	0,89	1,01	4,09	4,25	2,6	3,0	3,5	355%	173%	183%	
Nai2	2003	1,8	40	33	31	3,6	7,1	7,8	dm	dm	dm	3,6	7,1	7,8	4,80	4,80	4,80	0,21	0,85	0,89	1,01	4,09	4,25	2,6	3,0	3,5	355%	173%	183%	
Nba1	2003	2,5	41	30	34	5,0	2,5	2,5	1,0	0,4	0,1	6,0	2,9	2,6	4,80	4,80	4,80	0,26	0,86	0,89	1,26	4,13	4,25	4,7	-1,2	-1,6	475%	71%	62%	
Nba2	2003	4,0	26	36	42	7,0	4,0	0,9	0,5	0,2	1,9	7,5	4,2	2,8	4,80	4,80	4,80	0,26	0,83	0,85	1,25	3,99	4,09	6,3	0,2	-1,2	604%	105%	70%	
Nou	2003	1,3	40	34	34	3,8	3,8	3,8	0,8	0,4	0,1	0,8	4,1	3,9	4,6	4,80	4,80	4,80	0,18	0,58	0,57	0,85	2,78	2,75	3,3	1,1	1,8	485%	140%	166%
Sma	2003	5,4	45	31	20	6,3	6,2	6,2	2,1	0,1	0,2	8,3	6,4	6,4	4,80	4,80	4,80	0,26	0,86	0,85	1,26	4,13	4,06	7,1	2,2	2,4	658%	154%	158%	
Ssa1	2003	1,7	39	28	57	2,4	2,5	0,8	0,7	0,8	0,3	3,1	3,3	1,1	4,80	4,80	4,80	0,26	0,86	0,89	1,26	4,13	4,25	1,9	-0,9	-3,2	247%	79%	25%	
Ssa2	2003	1,7	34	21	54	2,3	2,3	0,7	0,2	1,0	0,3	2,5	3,3	1,0	4,80	4,80	4,80	0,26	0,86	0,89	1,26	4,13	4,25	1,2	-0,8	-3,2	195%	80%	25%	
Ybo	2003	2,0	38	20	49	2,4	1,6	1,2	0,1	0,2	0,1	2,5	1,8	1,3	4,80	4,80	4,80	0,25	0,74	0,73	1,19	3,54	3,52	1,4	-1,7	-2,3	214%	51%	36%	
Zal1	2003	2,9	39	29	39	5,7	5,7	5,0	0,1	0,2	0,5	5,8	5,9	5,5	4,80	4,80	4,80	0,21	0,85	0,85	1,01	4,09	4,06	4,8	1,8	1,5	580%	144%	136%	
Zal2	2003	2,9	36	25	31	5,7	5,7	4,8	0,1	0,2	0,4	5,8	5,9	5,1	4,80	4,80	4,80	0,25	0,74	0,72	1,19	3,54	3,47	4,6	2,4	1,7	486%	167%	148%	
Zmo	2003	2,2	42	31	37	6,6	6,2	2,9	0,6	0,4	0,3	7,2	6,5	3,2	4,80	4,80	4,80	0,26	0,80	0,84	1,23	3,85	4,02	6,0	2,7	-0,8	586%	170%	79%	
Abh	2005	3,0	30	33	37	7,2	6,0	1,8	1,1	0,4	0,5	8,3	6,4	2,3	4,70	4,70	4,70	0,26	0,86	0,89	1,24	4,04	4,16	7,0	2,3	-1,9	667%	158%	55%	
Abs	2005	3,7	33	35	31	6,0	3,7	2,2	1,0	0,3	0,6	7,0	4,0	2,8	4,70	4,70	4,70	0,27	0,94	0,96	1,28	4,42	4,52	5,7	-0,4	-1,7	543%	92%	62%	
Adb1	2005	2,0	34	30	25	2,0	3,0	1,5	0,6	0,1	3,8	2,6	3,1	5,3	4,70	4,70	4,70	0,27	0,89	0,87	1,25	4,17	4,08	1,4	-1,1	1,3	208%	74%	131%	
Adb2	2005	1,5	34	35	18	1,5	2,3	1,1	2,6	1,5	1,4	4,1	3,8	2,5	4,70	4,70	4,70	0,27	0,89	0,87	1,25	4,17	4,08	2,8	-0,4	-1,6	327%	90%	61%	
Ala	2005	2,9	36	27	35	2,6	1,7	1,7	1,1	0,2	0,5	3,7	2,0	2,2	4,70	4,70	4,70	0,27	0,94	0,96	1,28	4,42	4,52	2,5	-2,5	-2,3	292%	44%	50%	
Ali	2005	3,4	29	37	26	4,8	4,8	2,4	0,4	0,5	1,6	5,2	5,2	4,0	4,70	4,70	4,70	0,27	0,94	0,91	1,28	4,42	4,29	3,9	0,8	-0,3	403%	118%	93%	
Ari	2005	1,9	40	31	25	3,4	3,4	3,4	2,5	2,0	5,3	5,9	5,5	8,7	4,70	4,70	4,70	0,27	0,89	0,92	1,25	4,17	4,31	4,6	1,3	4,4	469%	131%	202%	
Cbk	2005	4,0	32	36	34	11,2	6,0	4,8	0,5	0,1	0,3	11,7	6,1	5,1	4,70	4,70	4,70	0,27	0,94	0,96	1,28	4,42	4,52	10,4	1,7	0,6	913%	138%	113%	
Inr1	2005	3,8	31	38	61	5,7	4,6	3,8	1,0	0,4	1,6	6,7	4,9	5,4	4,70	4,70	4,70	0,27	0,94	0,98	1,28	4,42	4,60	5,4	0,5	0,8	524%	111%	117%	
Inr2	2005	3,8	31	36	28	5,7	4,6	3,8	1,0	0,4	0,6	6,7	4,9	4,4	4,70	4,70	4,70	0,27	0,94	0,96	1,28	4,42	4,52	5,4	0,5	-0,1	522%	112%	97%	
Inr3	2005	4,7	34	38	21	7,1	5,6	4,7	0,4	0,5	1,6	7,4	6,1	6,3	4,70	4,70	4,70	0,27	0,94	0,96	1,28	4,42	4,52	6,1	1,7	1,8	577%	138%	139%	
Lep1	2005	2,9	28	34	30	2,9	5,8	1,5	1,1	1,1	0,4	4,0	6,9	1,9	4,70	4,70	4,70	0,27	0,89	0,92	1,25	4,17	4,31	2,7	2,7	-2,4	318%	164%	44%	
Lep2	2005	3,0	32	36	41	3,0	1,5	1,5	1,0	0,3	0,4	4,0	1,8	1,9	4,70	4,70	4,70	0,27	0,89	0,92	1,25	4,17	4,31	2,7	-2,3	-2,4	319%	44%	45%	
Lep3	2005	2,6	31	36	41	2,6	1,3	1,3	1,0	0,3	0,4	3,6	1,6	1,7	4,70	4,70	4,70	0,27	0,94	0,98	1,28	4,42	4,60	2,3	-2,8	-2,9	282%	37%	38%	
Mhs1	2005	3,3	40	30	13	4,6	2,0	2,0	1,1	0,4	0,4	5,7	2,4	2,3	4,70	4,70	4,70	0,27	0,94	0,91	1,28	4,42	4,29	4,4	-2,0	-1,9	445%	55%	55%	
Mhs2	2005	3,0	33	37	28	4,2	1,8	1,8	1,2	0,5	0,2	5,4	2,3	2,0	4,70	4,70	4,70	0,27	0,89	0,87	1,25	4,17	4,08	4,1	-1,9	-2,1	430%	54%	49%	
Nba	2005	4,5	32	29	4	9,0	4,5	0,0	0,2	2,3	0,0	9,2	6,8	0,0	4,70	4,70	4,70	0,27	0,89	0,87	1,25	4,17	4,08	8,0	2,6	-4,1	736%	162%	0%	
Ord1	2005	3,5	29	36	64	7,0	7,0	7,0	1,2	0,3	1,4	8,2	7,3	8,4	4,70	4,70	4,70	0,27	0,89	0,94	1,25	4,17	4,40	7,0	3,1	4,0	657%	174%	191%	
Ord2	2005	4,4	28	36	64	8,8	8,8	8,8	1,3	0,3	1,4	10,1	9,1	10,2	4,70	4,70	4,70	0,27	0,89	0,94	1,25	4,17	4,40	8,8	4,9	5,8	804%	217%	231%	
Ord3	2005	3,2	29	35	34	6,4	6,4	6,4	1,2	0,3	0,4	7,6	6,7	6,8	4,70	4,70	4,70	0,27	0,89	0,87	1,25	4,17	4,08	6,4	2,5	2,8	609%	160%	167%	
Pet	2005	2,7	24	33		5,4	0,0	0,0	2,0	1,9		7,4	1,9	0,0	4,70	4,70	4,70	0,27	0,89	0,87	1,25	4,17	4,08	6,2	-2,2	-4,1	593%	47%	0%	
Saa	2005	4,4	31	31	38	4,0	6,2	6,2	1,0	0,4	0,5	5,0	6,6	6,6	4,70	4,70	4,70	0,27	0,94	0,91	1,28	4,42	4,29	3,7	2,1	2,3	388%	148%	155%	
Sma	2005	2,9	41	27	22	3,5	2,9	2,9	0,2	0,5	1,6	3,7	3,4	4,5	4,70	4,70	4,70	0,27	0,94	0,91	1,28	4,42	4,29	2,4	-1,0	0,3	290%	77%	106%	
Smd	2005	2,1	33	30	25	5,9	5,9	1,5	0,6	0,1	3,9	6,5	6,0	5,3	4,70	4,70	4,70	0,25	0,74	0,70	1,17	3,47	3,27	5,3	2,5	2,1	557%	173%	163%	
Smy	2005	2,4	24	37	28	8,6	8,6	8,6	0,6	0,1	2,7	8,7	11,3	10,6	4,70	4,70	4,70	0,27	0,89	0,94	1,25	4,17	4,40	7,5	7,1	6,2	695%	271%	242%	
Sso	2005	4,6	24	49	13	6,9	6,9	6,9	0,7	0,3	0,																			

**Annexe 14 : Profils racinaires à la récolte dans les différentes parcelles en 2003 et 2005**  
 (Axe Y : profondeur d'enracinement en cm, Axe X : extension latérale des racines en cm, Point 0 : collet)





### Annexe 15 : Caractéristiques chimiques des sols (horizons 0-20 cm et 20-40 cm) des parcelles suivies.

Code produite	Année	horizon	pH eau	pH KCl	N tot (g/kg)	MO (%)	C Dumas	C/N	P ass (mg/kg)	Ca (meq/10)	Mg (meq/10)	K (meq/10)	Na (meq/10)	Σ bases	CEC (meq/10)	Saturati on %	K % CEC
ABH C	2005	0-20	5,6	5	2,71	4,58	2,66	10	113	3,94	2,17	0,08	0,1	6,29	7,16	87,85	1,12
ABH C	2005	20-40	5,4	5,4	1,72	2,55	1,48	9	79	1,4	1,33	0,02	0,13	2,88	4,77	60,38	0,42
ABS C	2005	20-40	5,9	5,1	1,21	1,44	0,84	7	71	6	3,38	0,02	0,17	9,57	14,00	68,36	0,14
ABS C	2005	0-20	5,5	4,6	2,63	4,13	2,4	9	62	7,4	5,64	0,05	0,13	13,22	14,60	90,55	0,34
ADB D	2005	0-20	5,9	5,3	1,38	2,68	1,56	11	57	13,40	3,51	0,56	0,23	17,70	19,30	91,71	2,90
ADB D	2005	20-40	5,9	5,3	1,24	2,17	1,26	10	26	10,00	3,02	0,36	0,14	13,52	16,10	83,98	2,24
ADB D	2003	0-20	6,1	5,2	1,69	3,04	1,77	10	61	8,70	5,97	0,32	0,09	15,08	16,10	93,66	1,99
ADB D	2003	20-40	6,1	5,2	0,94	1,74	1,01	11	55	7,89	5,37	0,06	0,13	13,45	14,60	92,12	0,41
ALA T	2005	20-40	5,9	5,2	1,86	3,73	2,17	12	22	7,12	2,98	0,14	0,05	10,29	10,7	96,17	1,31
ALA T	2005	0-20	5,9	5,2	1,89	3,77	2,19	12	21	7,06	3,08	0,25	0,07	10,46	11,00	95,09	2,27
ALI C	2005	0-20	5,8	5	2,95	5,02	2,92	10	49	3,3	2,61	0,07	0,05	6,03	12,50	48,24	0,56
ALI C	2005	20-40	5,3	4,5	1,74	2,56	1,49	9	57	4,59	1,62	0,02	0,05	6,28	7,93	79,19	0,25
ARI D	2005	0-20	6,4	5,4	2,41	3,68	2,14	9	109	9,61	12,6	0,13	0,23	22,57	23,50	96,04	0,55
ARI D	2005	20-40	6,7	5,6	1,75	2,48	1,44	8	94	9,5	2,61	0,04	0,36	12,51	24,00	52,13	0,17
ASO T	2003	0-20	5,8	5,2	2,80	4,78	2,78	10	23	9,64	2,54	0,68	0,07	12,93	13,60	95,07	5,00
ASO T	2003	20-40	5,9	5,5	1,53	2,37	1,38	9	17	5,11	1,59	0,33	0,08	7,11	7,76	91,62	4,25
CBK B	2005	0-20	6,6	5,7	2,72	5,06	2,94	11	125	9,92	13,6	2,38	0,21	26,11	39,70	65,77	5,99
CBK B	2005	20-40	6,9	5,7	1,62	2,44	1,42	9	72	22,2	13	0,79	0,31	36,30	40,00	90,75	1,98
HAT M	2003	0-20	5,9	5,2	2,24	4,42	2,57	11	12	10,10	5,16	0,16	0,09	15,51	18,10	85,69	0,88
HAT M	2003	20-40	6,2	5,5	1,35	2,60	1,51	11	9	8,67	4,92	0,05	0,09	13,73	15,00	91,53	0,33
INR C	2005	0-20	6	5,3	2,09	3,49	2,03	10	36	5,51	4,64	0,28	0,07	10,50	14,00	75,00	2,00
INR C	2005	20-40	5,4	4,8	1,28	1,72	1	8	44	2,29	3,94	0,25	0,07	6,55	9,85	66,50	2,54
LEP C	2005	0-20	5,6	5,1	2,51	3,89	2,26	9	73	1,92	1,12	0,09	0,1	3,23	5,23	61,76	1,72
LEP C	2005	20-40	5,4	5,3	1,67	2,72	1,58	9	64	1,54	1,33	0,04	0,13	3,04	4,77	63,73	0,84
LEP C1	2003	20-40	5,6	5,1	1,84	3,01	1,75	10	75	4,46	1,15	0,05	0,09	5,75	7,04	81,68	0,71
LEP C1	2003	0-20	5,5	5,5	0,90	1,57	0,91	10	60	1,87	0,72	0,01	0,13	2,73	4,91	55,60	0,20
LEP C2	2003	0-20	4,9	4,5	2,20	3,80	2,21	10	50	1,89	0,91	0,11	0,02	2,93	4,98	58,84	2,21
LEP C2	2003	20-40	4,8	5,4	1,03	1,63	0,95	9	62	0,68	0,38	0,01	0,02	1,09	2,32	46,98	0,44
MAS K	2003	0-20	6,5	5,6	1,59	3,06	1,78	11	105	12,80	6,08	0,92	0,09	19,89	20,70	96,09	4,43
MAS K	2003	20-40	6,4	5,7	1,25	2,46	1,43	11	93	12,40	6,37	0,58	0,15	19,50	20,20	96,53	2,87
MBO M	2003	0-20	6,2	5,5	2,50	5,13	2,98	12	48	8,56	3,41	0,50	0,11	12,58	14,80	85,00	3,38
MBO M	2003	20-40	6,0	5,2	1,61	3,18	1,85	11	13	5,29	2,70	0,23	0,15	8,37	10,90	76,79	2,11
MHS	2003	20-40	6,3	5,5	1,21	2,39	1,39	11	117	18,80	12,70	0,82	0,43	32,75	33,20	98,64	2,47
MHS T	2003	0-20	6,1	5,2	1,27	2,46	1,43	11	97	17,50	12,30	0,51	0,36	30,67	31,40	97,68	1,62
MHS T	2005	0-20	6,6	6	2,71	5,18	3,01	11	90	13,1	3,14	1,11	0,27	17,62	19,30	91,30	5,75
MHS T	2005	20-40	6,4	5,8	1,93	3,32	1,93	10	78	9,74	2,4	0,64	0,13	12,91	14,8	87,23	4,32
NAI T	2003	0-20	6,4	5,6	3,08	6,24	3,63	12	11	11,90	3,70	0,71	0,08	16,39	18,30	89,56	3,88
NAI T	2003	20-40	6,2	5,9	1,01	1,77	1,03	10	19	6,72	2,93	0,19	0,11	9,95	11,70	85,04	1,62
NBA K	2003	0-20	6,8	6,1	2,72	5,23	3,04	11	481	21,50	7,89	3,48	0,38	33,25	33,20	100,15	10,48
NBA K	2003	20-40	6,8	5,9	1,97	3,63	2,11	11	302	17,90	5,99	2,34	0,62	26,85	27,60	97,28	8,48
NBA K	2005	20-40	6,1	5,9	1,98	3,84	2,23	11	189	9,80	5,49	0,55	0,05	15,89	16,70	95,15	3,29
NBA K	2005	0-20	6,2	5,9	2,64	4,78	2,78	11	207	11,80	4,28	0,85	0,09	17,02	17,60	96,70	4,83
NOU C	2003	0-20	5,5	5,0	2,48	4,37	2,54	10	91	5,47	2,97	0,26	0,12	8,82	9,67	91,21	2,69
NOU C	2003	20-40	5,0	5,5	0,73	1,51	0,88	12	28	2,15	1,51	0,03	0,10	3,79	4,73	80,13	0,63
ORD C	2005	0-20	5,5	4,7	2,71	4,51	2,62	10	11	5,43	5,21	0,05	0,07	10,76	11,90	90,42	0,42
ORD C	2005	20-40	5,4	4,6	1,27	1,55	0,9	7	37	3,35	3,38	0,02	0,05	6,80	9,74	69,82	0,21
PET B	2005	20-40	5,8	5,1	1,91	3,59	2,09	11	11	6,1	3,01	0,3	0,11	9,52	10,1	94,26	2,97
PET B	2005	0-20	5,9	5,1	2,52	4,78	2,78	11	15	6,46	3,24	0,5	0,08	10,28	12,40	82,90	4,03
SAA C	2005	0-20	6	5,3	3,45	6,09	3,54	10	8	8,02	2,41	0,08	0,06	10,57	12,00	88,08	0,67
SAA C	2005	20-40	5,6	5,4	1,83	2,67	1,55	8	11	3,04	1,43	0,03	0,05	4,55	6,41	70,98	0,47
SCH T	2003	0-20	6,3	5,5	2,16	4,11	2,39	11	19	9,04	2,89	0,51	0,05	12,49	14,10	88,58	3,62
SCH T	2003	20-40	5,8	4,9	1,08	1,79	1,04	10	15	5,32	2,99	0,10	0,14	8,55	9,84	86,89	1,02
SMA M	2005	0-20	6,0	5,0	1,52	2,94	1,71	11	226	29,70	22,20	1,53	0,15	53,58	56,40	95,00	2,71
SMA M	2003	20-40	6,2	4,6	0,53	0,86	0,50	9	290	28,90	25,10	0,66	0,24	54,90	56,10	97,86	1,18
SMA M	2003	0-20	6,2	5,0	1,57	3,08	1,79	11	266	31,20	22,10	1,61	0,17	55,08	56,20	98,01	2,86
SMA M	2005	20-40	6,1	5,2	0,63	1,24	0,72	11	268	27,80	24,50	0,61	0,24	53,15	54,80	96,99	1,11
SMD D	2005	0-20	6,3	5,1	2,32	3,54	2,06	9	61	8,69	10	0,07	0,27	19,03	20,20	94,21	0,35
SMD D	2005	20-40	6,5	5,4	1,23	1,44	0,84	7	62	7,02	9,06	0,02	0,42	16,52	17,90	92,29	0,11
SMY D	2005	0-20	6,7	5,8	1,89	2,80	1,63	9	122	10,1	10,4	0,41	0,14	21,05	22,20	94,82	1,85
SMY D	2005	20-40	6,9	6	1,40	1,87	1,09	8	111	9,69	10,9	0,18	0,17	20,94	21,90	95,62	0,82
SSA M	2003	0-20	6,6	5,4	1,39	2,55	1,48	11	176	25,10	24,50	1,99	0,59	52,18	53,00	98,45	3,75
SSA M	2003	20-40	6,6	5,3	0,67	1,12	0,65	10	131	22,10	22,50	1,01	0,64	46,25	46,80	98,82	2,16
SSO B	2005	0-20	6,3	5,5	2,48	4,09	2,38	10	87	19,8	6,36	0,86	0,18	27,20	36,00	75,56	2,39
SSO B	2005	20-40	6,6	5,4	1,45	2,15	1,25	9	92	18,2	11,7	0,42	0,24	30,56	32,60	93,74	1,29
YBO K	2003	20-40	6,4	5,0	0,62	1,07	0,62	10	140	19,30	27,90	0,40	0,58	48,18	49,80	96,75	0,80
YBO K	2005	0-20	6,3	5,3	1,41	2,60	1,51	11	186	23,1	29,3	2,51	1,1	56,01	51,90	> 100	4,84
YBO K	2005	20-40	6,1	5,1	1,22	2,25	1,31	11	143	21,4	28,2	2,01	0,65	52,26	49,10	> 100	4,09
YBO K	2003	0-20	6,6	5,4	1,35	2,44	1,42	11	156	20,50	24,70	1,23	0,50	46,93	48,50	96,76	2,54
ZAL 0	2003	0-20	6,0	5,1	2,21	4,56	2,65	12	48	18,90	9,94	0,51	0,27	29,62	31,60	93,73	1,61
ZAL 0	2003	20-40	6,0	5,1	0,91	1,57	0,91	10	56	14,90	9,54	0,07	0,50	25,01	27,00	92,63	0,26
ZKY C	2005	20-40	5,9	5,1	2,28	3,58	2,08	9	34	5,26	3,22	0,02	0,14	8,64	11,10	77,84	0,18
ZKY C	2005	0-20	5,9	5	3,62	6,50	3,78	10	34	8,37	4,43	0,07	0,15	13,02	14,20	91,69	0,49
ZMO C	2003	0-20	5,3	4,6	2,18	3,61	2,10	10	47	4,71	2,34	0,06	0,11	7,22	9,13	79,08	0,66
ZMO C	2003	20-40	5,5	5,2	1,28	1,70	0,99	8	33	2,90	1,94	0,01	0,13	4,98	7,24	68,78	0,14

### Annexe 16 : Caractéristiques granulométriques des sols (horizons 0-20 cm et 20-40 cm) des parcelles suivies.

Code agri	Année	Horizon (cm)	Texture	En pourcentage de terre analysée					
				Argiles	Limons fins	Limons grossiers	Limons	Sables fins	Sables grossiers
Adb	2003	0-20	A	56,8	29,4	6,9	36,3	4,3	2,6
Aso	2003	0-20	A	61,0	18,5	6,7	25,2	6,9	7,0
Hat	2003	0-20	A	68,0	18,3	4,5	22,8	4,6	4,6
Lep1	2003	0-20	AL	35,9	32,8	17,7	50,5	9,8	3,8
Lep2	2003	0-20	A	65,6	20,0	5,8	25,8	5,8	2,8
Mas1	2003	0-20	A	49,6	26,3	8,8	35,1	7,7	7,6
Mas2	2003	0-20	A	49,6	26,3	8,8	35,1	7,7	7,6
Mbo	2003	0-20	A	59,8	18,5	5,2	23,7	4,6	12,0
Nai1	2003	0-20	A	76,7	15,3	2,7	18,0	2,0	3,2
Nai2	2003	0-20	A	76,7	15,3	2,7	18,0	2,0	3,2
Nba1	2003	0-20	AL	39,2	35,1	13,8	48,9	4,8	7,1
Nba2	2003	0-20	AL	39,2	35,1	13,8	48,9	4,8	7,1
Nou	2003	0-20	A	74,5	16,7	4,7	21,4	2,9	1,2
Sma	2003	0-20	AL	41,4	23,0	7,8	30,8	15,3	12,5
Ssa1	2003	0-20	A	56,1	24,3	6,8	31,1	8,4	4,3
Ssa2	2003	0-20	A	56,1	24,3	6,8	31,1	8,4	4,3
Ybo	2003	0-20	A	56,5	25,1	8,0	33,1	7,0	3,4
Zal1	2003	0-20	A	55,1	23,7	7,6	31,3	7,7	5,9
Zal2	2003	0-20	A	55,1	23,7	7,6	31,3	7,7	5,9
Zmo	2003	0-20	A	69,1	18,2	5,8	24,0	4,7	2,2
Adb	2005	0-20	A	59,7	28,3	4,1	32,4	3,5	4,4
Sso	2005	0-20	A	56,6	22,9	8,6	31,4	7,2	4,7
Cbk	2005	0-20	A	55,4	24,5	8,4	32,9	9,7	2,0
Lep	2005	0-20	A	62,4	27,6	6,2	33,8	2,3	1,5
Abh	2005	0-20	A	69,1	19,2	5,4	24,6	4,6	1,8
Abs	2005	0-20	A	69,8	25,5	3,8	29,4	0,6	0,3
Ari	2005	0-20	A	56,5	31,6	6,2	37,8	4,5	1,3
Smy	2005	0-20	A	49,3	26,0	12,5	38,4	8,1	4,2
Smd	2005	0-20	A	61,5	29,0	6,8	35,8	2,1	0,6
Ord	2005	0-20	A	63,0	26,3	5,4	31,7	3,1	2,2
Ali	2005	0-20	A	56,4	24,4	12,4	36,8	3,8	3,0
Nba	2005	0-20	A	41,8	29,3	16,4	45,7	4,9	7,6
Inr	2005	0-20	A	56,3	31,6	7,9	39,4	2,5	1,8
Saa	2005	0-20	A	71,6	21,0	2,9	23,9	2,6	1,9
Zky	2005	0-20	A	62,5	26,2	6,8	33,0	2,3	2,3
Sma	2005	0-20	AL	42,7	18,8	9,7	28,5	15,4	13,5
Ala	2005	0-20	A	50,5	29,1	8,4	37,5	6,4	5,6
Ybo	2005	0-20	A	42,7	25,0	11,0	36,0	12,4	8,8
Pet	2005	0-20	A	50,9	27,8	5,6	33,4	5,9	9,8
Mhs	2005	0-20	A	54,3	23,6	9,6	33,2	6,5	6,0
Adb	2003	20-40	A	54,3	29,5	8,6	38,1	4,6	2,9
Aso	2003	20-40	A	58,4	16,1	11,6	27,7	7,8	6,2
Hat	2003	20-40	A	74,0	16,1	3,2	19,3	3,4	3,3
Lep1	2003	20-40	AL	39,1	35,7	9,8	45,5	10,0	5,4
Lep2	2003	20-40	A	66,0	19,2	6,2	25,4	5,3	3,3
Mas1	2003	20-40	A	54,9	26,4	9,2	35,6	6,2	3,2
Mas2	2003	20-40	A	54,9	26,4	9,2	35,6	6,2	3,2
Mbo	2003	20-40	A	58,8	18,6	5,7	24,3	6,3	10,7
Nai1	2003	20-40	A	74,8	15,2	4,1	19,3	2,5	3,4
Nai2	2003	20-40	A	74,8	15,2	4,1	19,3	2,5	3,4
Nba1	2003	20-40	A	44,1	29,6	11,0	40,6	5,2	10,0
Nba2	2003	20-40	A	44,1	29,6	11,0	40,6	5,2	10,0
Nou	2003	20-40	A	74,9	15,8	5,4	21,2	2,7	1,1
Sma	2003	20-40	ALS	32,1	18,4	8,1	26,5	18,2	23,1
Ssa1	2003	20-40	A	52,7	22,0	6,9	28,9	9,0	9,3
Ssa2	2003	20-40	A	52,7	22,0	6,9	28,9	9,0	9,3
Ybo	2003	20-40	A	49,3	22,6	7,6	30,2	10,4	10,2
Zal1	2003	20-40	A	62,8	18,4	6,7	25,1	6,2	6,0
Zal2	2003	20-40	A	62,8	18,4	6,7	25,1	6,2	6,0
Zmo	2003	20-40	A	73,3	17,0	5,7	22,7	2,8	1,2
Adb	2005	20-40	A	58,2	20,2	14,3	34,5	3,1	4,1
Sso	2005	20-40	A	58,6	23,9	7,5	31,4	6,2	3,9
Cbk	2005	20-40	A	49,9	25,9	9,8	35,6	11,1	3,4
Lep	2005	20-40	A	52,2	29,4	9,5	38,9	5,9	3,0
Abh	2005	20-40	A	75,1	17,6	3,8	21,4	2,3	1,2
Abs	2005	20-40	A	68,8	25,3	5,0	30,3	0,8	0,1
Ari	2005	20-40	A	59,0	29,8	6,6	36,4	3,7	0,9
Smy	2005	20-40	A	47,6	26,1	14,4	40,5	9,5	2,5
Smd	2005	20-40	A	60,1	30,0	7,3	37,3	2,4	0,2
Ord	2005	20-40	A	64,7	24,9	4,6	29,5	3,9	1,9
Ali	2005	20-40	A	57,7	21,7	9,7	31,3	4,0	7,0
Nba	2005	20-40	A	43,9	29,7	15,1	44,8	5,1	6,2
Inr	2005	20-40	A	60,5	26,2	7,4	33,6	3,9	2,1
Saa	2005	20-40	A	75,3	19,4	2,1	21,5	2,0	1,2
Zky	2005	20-40	A	61,0	27,1	6,4	33,5	3,4	2,1
Sma	2005	20-40	AL	39,7	22,9	10,7	33,6	11,9	14,8
Ala	2005	20-40	A	51,4	29,0	8,2	37,2	6,2	5,2
Ybo	2005	20-40	A	45,7	25,9	10,8	36,7	10,9	6,7
Pet	2005	20-40	A	52,9	26,2	5,8	32,0	6,2	8,9
Mhs	2005	20-40	A	56,1	24,5	7,5	32,0	5,3	6,6



## ABSTRACT

The main vegetable crop in Mayotte is tomato. It is produced mainly in open field during the dry season. Its management requires cultural practices which are still little known, in a context marked by strong uncertainties about the access to the productive resources. Most producers are immigrants in irregular situation. We thus sought to know which was the effect of the constraints of access to the productive resources on the conception of vegetables cropping systems including tomato and on the performances of these systems evaluated through the tomato crop management.

Our step associates on one hand a thorough analysis of the technical decisions on the conception of cropping systems, on the localization and cultivation of tomatoes, and on the other hand, an evaluation by agronomic diagnosis of the performances and problems of the culture. Surveys were set up in farmers' fields and follow during two years. This device were associated two experiments : one to assess the impact of three modalities of management of vegetation on the growth and on yield components of tomato, the other to evaluate the impact of the phytosanitary treatments on the sanitary state of tomato crop.

By using the concepts of cropping systems and of models of technical decisions, we highlighted a diversity of cropping systems on an annual scale and on a cropping season. The zone suitable for production is determined in priority by the access to water. The insecurity on the land one is declined particularly on the choice of crops, the succession and number of cultivations over the year. The practice of raised densities, the succession tomato-tomato, the strong percentages of the tomato break in the vegetables break are as much of translation of this uncertainty, and meet especially in the farmers having few resources lands.

The formalization of the rules of tomato crop management has allowed us to reveal a typology of technical itineraries which are characterized in particular by control from the vegetation with operations of staking, trimming, thinning of leaves and disbudding, which causes heterogeneity of the number of stems and the number of inflorescences per plant. These operations count heavily on cultivation in terms of working hours. We observed that the farmer adapts himself to uncertainties by planning alternative solutions, which tend to privilege a lesser dependence from other people and which induce variability of cultivation methods, and of states of the cultivated environments with effects on the performances of the culture that we evaluated through the yield build-up of the tomato.

The analysis of the performances of the cropping systems revealed a large variability of tomato yield ranging from 0.7 tons/hectare to 89 tons/hectare. The main component explaining the variations of the yield in the farmers' fields was the number of fruits per square meter, the average weight of the fruit being less variable. The highly determining number of stems on the number of fruits (through the number of inflorescences) has been shown. The variations in the number of fruits are not so well associated with the variations of the number of inflorescences and of the number of fruits on each inflorescence. The analysis of the profiles of inflorescences and stems has revealed that the first two inflorescences of the first two stems aggregated approximately 70% of the production. Trimming the stems and regular disbudding during the growing season reduce the number of stems per plant, and therefore also the number of inflorescences and fruits per plant. This observation was confirmed by the results of the experimentation of trimming carried out in the station. The sanitary state of tomato crop and the nitrate fertilizers were identified as producing variations in the number of fruits per square meter.

The results obtained lead to propositions of subsequent research and development (for instances modification of the management of vegetation and that of the irrigation). Our endeavor to carry out an analysis of the technical decisions of the crop management together with a diagnosis of the development of the output of this cultivation takes part in a new approach of the analysis and assessment of the cropping systems.

Key words : vegetables cropping system, tomato, diagnosis, yield, uncertainty, Mayotte.

## RESUME

A Mayotte, la tomate est la principale culture maraîchère et elle est produite essentiellement en saison sèche en plein champ. Sa culture fait appel à des pratiques de conduite de la plante encore mal connues dans le détail, et ce dans un contexte marqué par de fortes incertitudes pour l'accès aux ressources productives. La plupart des producteurs sont des migrants en situation irrégulière. Nous avons donc cherché à savoir quel était l'effet des contraintes d'accès aux ressources productives sur la constitution des systèmes de culture maraîchers avec tomate et sur les performances de ces systèmes évaluées au travers de la conduite culturale de la tomate.

La démarche combine d'une part une analyse approfondie des décisions techniques sur la constitution des systèmes de culture maraîchers, sur la localisation et la conduite de la culture de tomate, et d'autre part une évaluation par diagnostic agronomique des performances et problèmes de la culture. Un dispositif d'enquête a été mis en place en parcelles paysannes et suivi pendant deux ans. A ce dispositif ont été associées deux expérimentations : l'une pour évaluer les effets de trois modalités de conduite de la végétation sur la croissance et les composantes du rendement de la tomate, l'autre pour évaluer l'effet de traitements phytosanitaires sur l'état sanitaire des peuplements.

En nous appuyant sur les concepts de système de culture et de modèles de décisions techniques, nous avons mis en évidence une diversité de systèmes de culture maraîchers à l'échelle annuelle et à celle de la saison culturale. C'est l'accès à l'eau qui détermine en priorité la zone cultivable maraîchère. L'insécurité sur le foncier se décline particulièrement sur le choix des cultures, la succession et le nombre de cultures sur l'année. La pratique de densités élevées, la double culture tomate-tomate, les forts pourcentages de sole tomate dans la sole maraîchère sont autant de traduction de cette incertitude, et se rencontrent surtout chez les agriculteurs ayant peu de ressources en terres (types gf2/b2, gf3/b2, gf4/b2).

La formalisation des règles de conduite culturale de la tomate a permis de dégager une typologie d'itinéraires techniques qui se distinguent notamment par la conduite de la végétation avec des opérations de taille, tuteurage, effeuillage et égourmandage qui sont source d'hétérogénéité du nombre de tiges et du nombre de bouquets par pied. Nous avons vu que l'agriculteur s'adapte aux incertitudes en prévoyant des solutions de rechange qui tendent à privilégier une moindre dépendance vis-à-vis des tiers et qui induisent des variabilités de pratiques culturales, d'états du milieu avec des répercussions sur le fonctionnement de la culture que nous avons évaluées au travers de la variable rendement de la tomate.

L'analyse des performances des systèmes de culture a révélé une grande diversité des rendements de la tomate sur les deux années, s'étalant de 0,7 t/ha à 89 t/ha. La principale variable explicative de cette diversité été le nombre de fruits par m<sup>2</sup>, le poids moyen du fruit étant moins variable. Le rôle très déterminant du nombre de tiges sur le nombre de fruits (à travers le nombre de bouquets) a été mis en évidence. Les variations du nombre de fruits sont moins bien associées à celles du nombre de bouquets et du nombre de fruits par bouquet. L'analyse des profils de bouquets et de tiges a montré que les deux premiers bouquets des deux premières tiges concentraient environ 70% de la production. Ces paramètres majeurs ont été reliés aux états du milieu et aux pratiques qui en sont à l'origine. La taille des tiges et les égourmandages réguliers en cours de culture réduisent le nombre de tiges par plant et par conséquent les nombres de bouquets et de fruits par plant. Ce constat est corroboré par les résultats de l'essai taille réalisé en station.

Les résultats obtenus débouchent sur des propositions en termes de recherches ultérieures et de développement (par exemples modification de la conduite de la végétation et celle de l'irrigation). Notre démarche qui a consisté à mener de front analyse des décisions techniques de la conduite d'une culture et diagnostic de l'élaboration du rendement sur cette culture participe à une nouvelle approche de l'analyse et de l'évaluation des systèmes de culture.

Mots clés : système de culture, tomate, diagnostic, rendement, incertitude, maraîchage, Mayotte.