



UNIVERSITE  
JEAN LOROUGNON GUEDE

UFR AGROFORESTERIE

REPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE

Union-Discipline-Travail

Ministère de l'Enseignement Supérieur et  
de la Recherche Scientifique

# THÈSE DE DOCTORAT

Mention : Agriculture et foresterie tropicale

Spécialité : Agrophysiologie

**Amélioration de la production de la tomate (*Solanum Lycopersicum L*) et de quelques indicateurs de qualité organoleptique des fruits issus des plants produits en culture hors sol sur des substrats biologiques à Daloa (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire)**

CANDIDAT

Nom : AKA

Prénoms : Borel Junior Kevin

**Soutenue publiquement  
le 24 février 2024**

## JURY

Président : Monsieur SORO Senan, Professeur Titulaire, Université Jean Lorougnon Guédé

Directeur : Monsieur BOYE Mambé Auguste-Denise, Professeur Titulaire, Université Jean Lorougnon Guédé

Rapporteur : Madame TONESSIA Dolou Charlotte, Maître de Conférence, Université Jean Lorougnon Guédé

Examineurs : Monsieur NIABA Koffi Pierre Valéry, Maître de Conférences, Université Jean Lorougnon Guédé

Madame YAH N'Guettia Marie, Maître de Conférences, Université Jean Lorougnon Guédé

## TABLE DES MATIERES

|   |      |
|---|------|
| DÉDICACES.....                                | vi   |
| REMERCIEMENTS .....                           | vii  |
| LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS.....         | iiix |
| LISTE DES TABLEAUX.....                       | x    |
| LISTE DES FIGURES .....                       | xii  |
| LISTE DES ANNEXES .....                       | xiv  |
| INTRODUCTION.....                             | 1    |
| PREMIÈRE PARTIE : GÉNÉRALITÉS .....           | 5    |
| CHAPITRE 1 : Tomate .....                     | 6    |
| 1.1. Origine.....                             | 6    |
| 1.2. Taxonomie.....                           | 6    |
| 1.3. Morphologie .....                        | 7    |
| 1.3.1. Appareil végétatif .....               | 7    |
| 1.3.2. Appareil reproducteur.....             | 8    |
| 1.4. Ecologie.....                            | 10   |
| 1.4.1. Besoins en chaleur et température..... | 10   |
| 1.4.2. Besoins en eau .....                   | 10   |
| 1.4.3. Besoin en sol .....                    | 10   |
| 1.5. Croissance et développement .....        | 11   |
| 1.5.1. Germination des graines .....          | 11   |
| 1.5.2. Phase de croissance .....              | 12   |
| 1.5.3. Floraison .....                        | 12   |
| 1.5.4. Fructification .....                   | 12   |
| 1.6. Maladies de la tomate.....               | 13   |
| 1.6.1. Maladies abiotiques.....               | 13   |
| 1.6.1.1. Causes des maladies abiotiques.....  | 13   |
| 1.6.1.2. Quelques maladies abiotiques .....   | 14   |
| 1.6.2. Maladies biotiques de la tomate .....  | 15   |
| 1.6.2.1. Maladies fongiques.....              | 15   |
| 1.6.2.2. Maladies bactériennes .....          | 18   |
| 1.6.2.3. Maladies virales de la tomate .....  | 19   |
| 1.7. Importance de la tomate .....            | 21   |
| 1.7.1. Importance nutritionnelle .....        | 21   |

|  |    |
|--|----|
| 1.7.2. Importance économique .....                                     | 22 |
| 1.7.3. Importance médicinale et phytothérapeutique.....                | 22 |
| CHAPITRE 2 : Culture hors sol.....                                     | 24 |
| 2.1. Définition.....   | 24 |
| 2.2. Type de culture hors sol .....                                    | 24 |
| 2.3. Éléments nécessaires à la réalisation d'une culture hors-sol..... | 24 |
| 2.4. Avantages et inconvénient de la culture hors-sol.....             | 25 |
| CHAPITRE 3 : Substrats et fertilisants utilisés.....                   | 27 |
| 3.1. Substrats .....   | 27 |
| 3.1.1. Sciure de bois .....  | 27 |
| 3.1.1.1. Présentation .....  | 27 |
| 3.1.1.2. Usages .....  | 27 |
| 3.1.2. Balle de riz.....   | 28 |
| 3.1.2.1. Présentation .....  | 28 |
| 3.1.2.2. Usages .....  | 28 |
| 3.1.3. Son de riz.....   | 29 |
| 3.1.3.1. Présentation .....  | 29 |
| 3.1.3.2. Usages .....  | 29 |
| 3.2. Fertilisants .....  | 30 |
| 3.2.1. Fiente de poulets.....  | 30 |
| 3.2.1.1. Présentation .....  | 30 |
| 3.2.1.2. Usages .....  | 31 |
| 3.2.2. Engrais minéraux.....   | 31 |
| 3.2.2.1. Présentation .....  | 31 |
| 3.2.2.2. Usages .....  | 32 |
| CHAPITRE 4 : Qualité des aliments.....                                 | 33 |
| 4.1. Définition.....   | 33 |
| 4.2. Qualité hygiénique .....  | 33 |
| 4.3. Qualité nutritionnelle.....                                       | 33 |
| 4.4. Qualité organoleptique .....                                      | 33 |
| 4.5. Qualité d'usage .....   | 35 |
| DEUXIÈME PARTIE : MATERIEL ET METHODES .....                           | 36 |
| CHAPITRE 1 : Zone d'étude .....  | 37 |
| 1.1. Situation géographique.....                                       | 37 |

|  |    |
|--|----|
| 1.2. Sol et sous-sol.....  | 38 |
| 1.3. Climat .....  | 38 |
| CHAPITRE 2 : Matériel.....   | 40 |
| 2.1. Matériel végétal.....   | 40 |
| 2.1.1. Matériel végétal utilisé .....  | 40 |
| 2.1.2. Caractéristiques de la variété.....   | 40 |
| 2.2. Substrats de culture .....  | 41 |
| 2.3. Fertilisant utilisés pour la culture .....  | 42 |
| 2.4. Matériel technique .....  | 42 |
| 2.4.1. Matériel pour la réalisation de la pépinière .....  | 42 |
| 2.4.2. Matériel utilisé pour la réalisation des expériences en parcelle expérimentale.....                                 | 43 |
| 2.4.3. Matériel utilisé pour la réalisation des tests biochimiques et hédoniques.....                                      | 43 |
| 2.4.3.1. Matériel utilisé pour la réalisation des tests biochimiques.....  | 43 |
| 2.4.3.2. Matériel utilisé pour la réalisation des tests hédoniques .....   | 44 |
| 2.2.3.3. Matériel utilisé pour la prise des différentes mesures .....  | 44 |
| CHAPITRE 3 : Méthodes.....   | 46 |
| 3.1. Préparation de la parcelle expérimentale.....   | 46 |
| 3.2. Processus de carbonisation de la balle de riz .....   | 46 |
| 3.3. Identification des formulations ayant les meilleures caractéristiques de germination et de croissance des plants..... | 48 |
| 3.3.1. Formulations des substrats de culture pour les tests préliminaires .....  | 48 |
| 3.3.2. Dispositif expérimental .....   | 50 |
| 3.3.3. Mise en œuvre .....   | 50 |
| 3.4. Culture des plantes sur les formulations sélectionnées au cours des tests préliminaires.....                          | 51 |
| 3.4.1. Pépinière.....  | 51 |
| 3.4.1.1. Réalisation des formulations des substrats sélectionnées.....   | 51 |
| 3.4.1.2. Déroulement de l'expérience en pépinière .....  | 52 |
| 3.4.2. Culture en parcelle expérimentale .....   | 52 |
| 3.4.2.1. Dispositif expérimental .....   | 52 |
| 3.4.2.2. Réalisation des formulations de substrats pour la culture en parcelle expérimentale.....                          | 54 |
| 3.4.2.3. Déroulement de l'expérimentation en parcelle expérimentale.....   | 54 |
| 3.4.2.4. Itinéraires des traitements phytosanitaires en parcelle expérimentale .....                                       | 56 |
| 3.4.3. Mesure des paramètres en pépinière et en parcelle expérimentale.....  | 57 |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.4.3.1. Evaluation des paramètres de germination des graines de tomate .....   | 57        |
| 3.4.3.2. Evaluation des paramètres de croissance des plantes de tomate .....  | 58        |
| 3.4.3.3. Evaluation du taux de mortalité des plantes .....  | 61        |
| 3.4.3.4. Composantes du rendement.....  | 61        |
| 3.5. Détermination des caractéristiques biochimiques et organoleptiques des fruits de tomate.....   | 64        |
| 3.5.1. Détermination des caractéristiques physico-chimiques des fruits de tomate .....  | 64        |
| 3.5.2. Evaluation des caractéristiques organoleptiques des fruits de tomate.....  | 67        |
| 3.6. Analyses statistiques des résultats .....  | 68        |
| <b>TROISIÈME PARTIE : RÉSULTATS ET DISCUSSION .....</b>   | <b>70</b> |
| <b>CHAPITRE 1 : Effet des formulations sur les caractéristiques de germination des graines et de croissance des plants en pépinière .....</b>                 | <b>71</b> |
| 1.1. Introduction .....   | 71        |
| 1.2. Résultats .....  | 71        |
| 1.2.1. Taux de germination des graines de tomate .....  | 71        |
| 1.2.2. Hauteur moyenne des tiges des plants de tomate .....   | 73        |
| 1.2.3. Nombre moyen de feuilles.....  | 75        |
| 1.3. Discussion .....   | 77        |
| 1.4. Conclusion partielle.....  | 78        |
| <b>CHAPITRE 2 : Tests des formulations sélectionnées pour supporter un cycle complet de culture.....</b>  | <b>79</b> |
| 2.1. Introduction .....   | 79        |
| 2.2. Résultats .....  | 79        |
| 2.2.1. Phase pépinière.....   | 79        |
| 2.2.1.1. Effet des formulations sélectionnées sur le taux et la vitesse de germination.....   | 79        |
| 2.2.1.2. Corrélacion entre le taux de germination et la vitesse de germination .....  | 80        |
| 2.2.1.3. Hauteur moyenne des tiges, nombre moyen de feuilles, couleur des feuilles et état sanitaire des plantes de tomate .....                              | 80        |
| 2.2.1.4. Couleur des feuilles des plants de tomate des formulations.....  | 83        |
| 2.2.1.5. Classification ascendante hiérarchique des formulations en fonction de la hauteur des tiges et du nombre de feuilles de leurs plantes de tomate..... | 86        |
| 2.2.1.6. Corrélacion entre la hauteur des tiges et le nombre de feuilles des plantes de tomate des formulations .....   | 87        |
| 2.2.2. Paramètres mesurés en parcelle expérimentale .....   | 87        |

|  |     |
|--|-----|
| 2.2.2.1. Détermination de la hauteur, du diamètre, du nombre de feuilles et du nombre de gourmands des plantes de tomate des formulations .....                      | 87  |
| 2.2.2.1.1. Evolution de la hauteur, du diamètre, du nombre de feuilles et du nombre de gourmands des plantes de tomate .....   | 87  |
| 2.2.2.1.2. Effets des formulations sur la hauteur moyenne, le diamètre moyen, le nombre moyen de feuilles et le nombre moyen de gourmands des plantes de tomate .... | 91  |
| 2.2.2.2. Couleur des feuilles des plantes de tomate des formulations .....   | 93  |
| 2.2.2.3. Taux de mortalité des plantes de tomate des formulations .....  | 98  |
| 2.2.2.4. Classification ascendante hiérarchique des formulations en fonction des paramètres de croissance et du taux de mortalité des plantes de tomate.....         | 100 |
| 2.2.2.5. Effet de la couleur des feuilles sur les paramètres de croissance des plantes ...   | 101 |
| 2.2.2.6. Paramètre de production des plantes de tomate en fonction des formulations..  | 102 |
| 2.2.2.6.1. Effet des formulations sur le délai de floraison des plantes de tomate .....  | 102 |
| 2.2.2.6.2. Effet des formulations sur le délai de fructification des plantes de tomate....   | 103 |
| 2.2.2.6.3. Effets des formulations sur le rendement des plantes de tomate.....   | 104 |
| 2.2.2.6.4. Effets des formulations sur le calibre des fruits de tomate.....  | 105 |
| 2.2.2.6.5. Effet des formulations sur la durée de production des plantes de tomates.....   | 106 |
| 2.2.2.7. Test de conservation des fruits de tomate des plantes des formulations .....  | 106 |
| 2.3. Discussion .....  | 110 |
| 2.3.1. Pépinière .....   | 110 |
| 2.3.2. Parcelle expérimentale.....   | 111 |
| 2.4. Conclusion partielle.....   | 113 |
| CHAPITRE 3 : Caractéristiques organoleptiques et biochimiques des fruits de tomate produits par les meilleures formulations .....                                    | 114 |
| 3.2. Résultats .....   | 114 |
| 3.2.1. Effets des formulations sur les paramètres physico-chimiques des fruits de tomate des formulations .....  | 114 |
| 3.2.2. Effets des formulations sur les caractéristiques organoleptiques des fruits de tomate des formulations .....  | 115 |
| 3.3. Discussion .....  | 117 |
| 3.4. Conclusion partielle.....   | 119 |
| CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....   | 120 |
| RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....  | 123 |
| ANNEXES .....  | 138 |
| PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES   |     |
| RÉSUMÉ   |     |

## **DÉDICACES**

*Je dédie cette Thèse à mon Papa AKA Agniman Bernard et à ma Maman N'ZEBO Bomo  
Jeannette.*

## REMERCIEMENTS

Ce travail, véritable aboutissement de quatre (04) années de travaux de recherche n'aurait pas été mené à son terme sans la contribution de plusieurs personnes qui de bien des manières y ont participé. C'est le lieu de leur témoigner toute ma reconnaissance à :

- Mme ADOHI Adjo Viviane épouse KROU, Professeur Titulaire en Physique, Présidente de l'Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG) pour l'amélioration des conditions de travail des étudiants de l'Université Jean Lorougnon Guédé.
- M. SORO Dogniméton, Professeur Titulaire en pédologie, Vice-président Chargé de la Pédagogie, de la vie universitaire, de la recherche et de l'innovation technologique et M. KONE Issiaka, Professeur Titulaire en Sociologie, Vice-président Chargé de la Programmation, de la Planification et des Relations Extérieures de l'UJLoG.
- Mme TONESSIA Dolou Charlotte, Maître de Conférences en Phytopathologie, Directrice de l'UFR Agroforesterie de L'UJLoG pour la bonne gestion de l'UFR et pour avoir accepté de siéger dans mon jury en tant que Rapporteur.
- M. AYOLIE Koutoua Constant, Professeur Titulaire en Agro-physiologie, Responsable du Laboratoire d'Amélioration de la Production Agricole de l'UFR Agroforesterie pour son aide dans la réalisation des expériences.
- M. BOYE Mambé Auguste-Denise, Professeur Titulaire en Physiologie Végétale – Agro-physiologie à UJLoG. Je tiens à lui exprimer ma profonde gratitude et mon immense reconnaissance pour sa patience, son appui financier, l'encadrement, le soutien, les conseils et les encouragements à mon égard.
- M. KONE Fankroma Martial Thierry, Maître de Conférences en Biochimie, UFR-STA, Université NANGUI ABROGOUA, pour son aide inestimable dans l'amélioration de ce travail en tant que Rapporteur.
- M. SORO Senan, Professeur Titulaire en Biologie Entomologie, UJLoG, pour avoir accepté de siéger dans mon jury en tant que président dudit jury.
- Mme YAH N'Guettia Marie, Maître de Conférences en phytopathologie, UJLoG, pour tous ses conseils et pour avoir accepté de siéger dans mon jury en tant qu'Examinatrice.
- M. NIABA Koffi Pierre Valery, Maître de Conférences en Biochimie-Nutrition, UJLoG, pour son aide lors de mes différents travaux de recherche et pour avoir accepté de siéger dans mon jury en tant qu'Examineur.
- M. ANGAMAN Djédoux Maxime, Professeur Titulaire en Biochimie et Responsable de la filière « Biotechnologie Agroalimentaire et Biosécurité Alimentaire », UJLoG, pour ses encouragements et son aide inestimable dans la réalisation de mes expériences au laboratoire.

- Mme N'Douba Amako Pauline, Maître de Conférences en Physiologie Végétale, UJLoG, pour ses directives scientifiques lors de la réalisation de mes travaux.
- Mme Koffi Chantale, Maître de Conférence en Chimie, UJLoG, pour son aide dans la réalisation de mes travaux.
- mon oncle M. DJEDA Rodrigue, Maître de Conférences en Chimie, UJLoG, pour tout le soutien, l'attention, l'aide matérielle et financière qu'il n'a cessé de m'apporter depuis de nombreuses années, ce travail a été possible en partie grâce à lui.
- M. SYLLA Tahirou, Maître de Conférences ; M. TOH Goulehi Aymar, Assistant ; M. KOFFI BI Kassia Francis, Maître Assistant, M. N'GONIAN Kouadio Serge, Assistant, M. KOUASSI Kouamé Alfred, Maître de Conférences, UJLoG, pour leur aide et le soutien apporté à ma modeste personne.
- M. N'ZEBO Koffi Legson pour toute l'aide qu'il n'a cessé de m'apporter depuis mes balbutiements dans l'apprentissage jusqu'à ce jour.
- Mme BAH Agnesse pour toute son aide depuis ma naissance jusqu'à ce jour.
- AKA Ulysse Hervé, AKA Kouadio Charles, KOFFI Kablan Bernard, EKA Jules, YOBOUET Estelle pour tout leur soutien et leur aide dans la réalisation de mes travaux.
- BOUMI Demin Marcos, DJE Kouakou Amoin Ange Marina, YOBOUET Konan Elie, KOUAME Aya Eliane, BROU Adjoua Ange Christelle pour leur aide inestimable dans la réalisation de mes travaux à l'UJLoG.

## **LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS**

|                |   |
|----------------|---|
| <b>AFNOR</b>   | : Association Française de Normalisation  |
| <b>ANADER</b>  | : Agence Nationale d'Appui au Développement Rural   |
| <b>ba</b>      | : Balles de riz brutes  |
| <b>bac</b>     | : Balles de riz carbonisées   |
| <b>CAE</b>     | : Capacité d'Absorption de l'Eau  |
| <b>CATA</b>    | : Check All That Apply  |
| <b>CIRAD</b>   | : Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le<br>Développement  |
| <b>CNRA</b>    | : Centre National de Recherche Agronomique  |
| <b>ENSA</b>    | : Ecole Nationale Supérieure Agronomique  |
| <b>INRA</b>    | : Institut National de Recherche Agronomique  |
| <b>INRAE</b>   | : Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et<br>l'Environnement |
| <b>F</b>       | : Formulation   |
| <b>f</b>       | : Fiente de poulets   |
| <b>FAO</b>     | : Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation                     |
| <b>FILB</b>    | : Institut de recherche de l'agriculture biologique                                       |
| <b>NPK</b>     | : Azote, phosphore et potassium   |
| <b>ONU</b>     | : Organisation des Nations Unies  |
| <b>RADHORT</b> | : Réseau Africain pour le Développement de l'Horticulture                                 |
| <b>sc</b>      | : Sciure de bois  |
| <b>so</b>      | : Son de riz  |
| <b>te</b>      | : terre   |
| <b>UE</b>      | : Union Européenne  |
| <b>UFR</b>     | : Unité de formation et de Recherche  |
| <b>UNEP</b>    | : Programme des Nations Unies pour l'Environnement  |
| <b>UJLoG</b>   | : Université Jean Lorougnon Guédé   |

## **LISTE DES TABLEAUX**

|   |    |
|---|----|
| Tableau I : Composition chimique des fruits de la tomate pour 100 g de fruits.....  | 22 |
| Tableau II : Valeurs nutritionnelles pour 100 g de son de riz biologique.....   | 30 |
| Tableau III : Composition moyenne des déjections avicoles.....  | 31 |
| Tableau IV : Substrats de culture formulés pour les tests en préliminaires.....   | 49 |
| Tableau V : Formulations de substrats réalisées à l’issue des tests préliminaires.....  | 52 |
| Tableau VI : Formulations de substrats utilisées en parcelle expérimentale.....   | 54 |
| Tableau VII : : Itinéraire des traitements phytosanitaires.....   | 57 |
| Tableau VIII : Codage de la couleur des feuilles de tomate.....   | 60 |
| Tableau IX : Calibre des fruits de tomate en fonction du diamètre.....  | 63 |
| Tableau X : Taux de germination des graines de tomate en fonction des formulations de substrats.....  | 72 |
| Tableau XI : Hauteur moyenne des tiges des plantes de tomate des formulations au 21ème jours après le semis.....  | 74 |
| Tableau XII : Nombre moyen de feuilles des plantes de tomate des formulations au 21ème jours après le semis.....  | 76 |
| Tableau XIII : Effet de l'ensemble des formulations sur le taux et la vitesse de germination..  | 79 |
| Tableau XIV : Résultats du test de corrélation entre le taux et la vitesse de germination des graine de tomate.....   | 80 |
| Tableau XV : Hauteur moyenne des tiges et nombre moyen de feuilles des plantes de tomate en fonction des formulations au 21ème jour après le semis.....   | 83 |
| Tableau XVI : Répartition des plants des formulations en fonction des différentes couleurs de feuilles au 21ème jour après le semis.....  | 85 |
| Tableau XVII : Effectifs théoriques des couleurs de feuilles des plantes des différentes formulations au 21ème jour après le semis.....   | 85 |
| Tableau XVIII : Corrélation entre la hauteur des tiges et le nombre de feuilles des plantes de tomate des formulations au 21ème jour après le semis.....  | 87 |
| Tableau XIX : Hauteur, diamètre, nombre de feuilles et nombre de gourmands des plantes de tomate des formulations au 70ème jour après le repiquage.....   | 92 |
| Tableau XX : Résultats du test de corrélation entre la hauteur moyenne des tiges, le diamètre moyen des tiges, le nombre moyen de feuilles et le nombre moyen de gourmands des plantes de tomate des formulations au 70ème jour après le repiquage..... | 93 |

|   |     |
|---|-----|
| Tableau XXI : Effectif observé de la couleur des feuilles des plantes de tomate des formulations au 70ème jour après le repiquage.....  | 96  |
| Tableau XXII : Effectifs théoriques de la couleur des feuilles des plantes de tomate des formulations au 70ème jour après le repiquage.....   | 97  |
| Tableau XXIII : Résultats du test exact de Fisher en ce qui concerne la couleur des feuilles des plantes de tomate des formulations.....  | 98  |
| Tableau XXIV : Taux de mortalité des plantes de tomate des formulations au 70ème jour après le repiquage.....   | 100 |
| Tableau XXV : Hauteur moyenne des tiges, diamètre moyen des tiges, nombre moyen de feuilles et nombre moyen de gourmands des plantes de tomate en fonction de la couleur des feuilles au 70ème jour après le repiquage..... | 102 |
| Tableau XXVI : Délai de floraison des plantes de tomate des formulations.....   | 103 |
| Tableau XXVII : Délais avant fructification des plantes de tomate des formulations.....   | 103 |
| Tableau XXVIII : Rendement total des plantes de tomate des formulations.....  | 104 |
| Tableau XXIX : Nombre total de fruits de tomate des formulations par calibre.....   | 105 |
| Tableau XXX : Durée de production des plantes de tomate des formulations.....   | 106 |
| Tableau XXXI : Etat des fruits de tomate des formulations après 5 semaines de conservation.....   | 109 |
| Tableau XXXII : Caractéristiques biochimiques des fruits de tomate des formulations.....  | 115 |
| Tableau XXXIII : Données CATA de dégustations des fruits de tomate des formulations....   | 115 |
| Tableau XXXIV : Fréquence d'apparition d'un caractère un niveau des fruits de tomate des formulations.....  | 116 |

## LISTE DES FIGURES

|  |    |
|--|----|
| Figure 1 : Appareil végétatif de la tomate.....  | 8  |
| Figure 2 : Coupe longitudinale d'une fleur de tomate.....                                      | 9  |
| Figure 3 : Fruits de la tomate.....  | 9  |
| Figure 4 : Pourriture apicale sur des fruits de tomate.....                                    | 14 |
| Figure 5 : Craquelure sur un fruit de tomate.....  | 15 |
| Figure 6 : Taches d'alternariose sur une feuille de tomate.....                                | 16 |
| Figure 7 : Plante de tomate attaquée par <i>Phytophthora infestans</i> .....                   | 17 |
| Figure 8 : Symptômes de la flétrissure fusarienne sur une plante de tomate.....                | 17 |
| Figure 9 : Chancre bactérien sur un fruit de tomate.....                                       | 18 |
| Figure 10 : Symptômes de la gale bactérienne sur des organes de la tomate.....                 | 19 |
| Figure 11 : Plante de tomate atteinte par TYLCV.....   | 19 |
| Figure 12 : Noctuelle de la tomate.....  | 21 |
| Figure 13 : Balle de riz.....  | 28 |
| Figure 14 : Carte de la zone d'étude   | 37 |
| Figure 15 : Diagramme ombrothermique de la ville de Daloa de 1991 à 2020.....                  | 39 |
| Figure 16 : Matériel végétal.....  | 40 |
| Figure 17 : Substrats pour la culture.....   | 41 |
| Figure 18 : Fertilisants utilisés.....   | 42 |
| Figure 19 : Quelques matériel technique pour la réalisation de la pépinière.....               | 43 |
| Figure 20 : Quelques outils pour la réalisation du test hédonique et des tests biochimiques... | 44 |
| Figure 21 : Quelques outils de mesure.....   | 45 |
| Figure 22 : Disposition des bâches sur la parcelle.....  | 46 |
| Figure 23 : Etape du processus de carbonisation d'un substrat.....                             | 47 |
| Figure 24 : Disposition des substrats dans les plaquettes alvéolées.....                       | 50 |
| Figure 25 : Filet de protection et ombrière de la pépinière de tomate.....                     | 51 |
| Figure 26 : Dispositif expérimental.....   | 53 |
| Figure 27 : Tuteurage des plants de tomates.....   | 56 |
| Figure 28 : Mesure de la hauteur de la tige d'une plante de tomate à l'aide d'une règle.....   | 59 |

|   |     |
|---|-----|
| Figure 29 : Fruits de tomate disposés pour le test de conservation.....   | 64  |
| Figure 30 : Plants de tomate en pépinière.....  | 80  |
| Figure 31 : Evolution de la hauteur moyenne des tiges des plantes de tomate des formulations en fonction du temps.....  | 81  |
| Figure 32 : Courbe d'évolution du nombre de feuilles des plantes de tomate des formulations en fonction du temps.....   | 82  |
| Figure 33 : Evolution de la couleur des feuilles des plantes de tomates des formulations pendant la pépinière.....  | 84  |
| Figure 34 : Regroupement des formulations en fonction de la hauteur des tiges et du nombre de feuilles des plantes de tomate.....                               | 86  |
| Figure 35 : Croissance des plantes de tomate au cours du temps.....   | 88  |
| Figure 36 : Evolution de la hauteur des tiges des plantes de tomate des formulations en fonction du temps.....  | 89  |
| Figure 37 : Evolution du diamètre moyen des plantes de tomate des formulations en fonction du temps.....  | 89  |
| Figure 38 : Evolution du nombre moyen de feuilles des plantes de tomate des formulations en fonction du temps.....  | 90  |
| Figure 39 : Evolution du nombre moyen de gourmands des plantes de tomate des formulations en fonction du temps.....   | 91  |
| Figure 40 : Couleur des feuilles des plantes de tomate en parcelle expérimentale.....   | 94  |
| Figure 41 : Evolution de la couleur des feuilles des plantes de tomate des formulations en fonction du temps.....   | 95  |
| Figure 42 : Evolution du taux de mortalité des plantes de tomate des formulations au cours du temps.....  | 99  |
| Figure 43 : Classification ascendante hiérarchique des formulations en fonction des paramètres de croissance et du taux de mortalité des plantes de tomate..... | 101 |
| Figure 44 : Evolution du taux de fruits de tomate en bon état au cours du temps.....  | 107 |
| Figure 45 : Evolution du taux de fruits de tomate dans un état intermédiaire au cours du temps.....   | 107 |
| Figure 46 : Evolution du taux de fruits de tomate pourris au cours du temps.....  | 108 |
| Figure 47 : Evolution du taux de fruits de tomate pourris au cours du temps.....  | 109 |

## **LISTE DES ANNEXES**

Annexe 1 : Collecte des balles de riz brutes

Annexe 2: Exemple d'association de deux substrats homogènes avant mélange

Annexe 3 : Mesure de la hauteur des plants en pépinière

Annexe 4 : Morceau de fruits de tomate mis à l'étuve pour la détermination de la teneur en eau

Annexe 5 : Fiche de renseignement pour les analyses organoleptiques

Annexe 6 : Début du test de conservation

Annexe 7 : Après deux semaines de conservation

Annexe 8 : Après quatre semaines de conservation

Annexe 9 : Après cinq semaines de conservation

# **INTRODUCTION**

## Introduction

La tomate (*Solanum lycopersicum L*) compte parmi les cultures légumières les plus importantes du monde (Naika *et al.*, 2005). En effet, la tomate est cultivée pour son fruit qui est un légume très important dans l'alimentation humaine du fait de sa richesse en nutriments. La tomate a un cycle végétatif court et donne de haut rendement en terme de production de fruits. Dès lors, la culture de la tomate constitue une activité lucrative pour de nombreux producteurs (Naika *et al.*, 2005). La tomate occupe la deuxième place dans la production maraîchère et est cultivée dans plus de 170 pays (Louissaint, 2012). Selon les statistiques de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), la production mondiale de tomate a augmenté de 3,35 % par rapport à l'année précédente, passant de 180,766 millions de tonnes en 2019 à 186,821 millions de tonnes produits en 2020 (Anonyme 1, 2024). En Côte d'Ivoire, la production de tomates fraîches qui s'élevait en 2018 à 40 000 tonnes est passée en 2021 à 46 628 tonnes, cela équivaut à une augmentation de production avoisinant les 16,57% (Bancal & Tano, 2019 ; Dosso *et al.*, 2023). Cependant, cette production est insuffisante pour couvrir les besoins de la population galopante qui était déjà estimée à plus de 100 000 tonnes de tomate par an aux alentours de 2007 (Soro *et al.*, 2007).

Cette insuffisance de la production de tomate s'explique entre autres par la baisse de la fertilité des sols, l'accentuation de la pression des parasites et des ravageurs qui rendent difficile la culture de la tomate (Chen *et al.*, 2002). De plus, la mauvaise utilisation des engrais et des pesticides chimiques contribue à la dégradation des écosystèmes naturels (Top, 2014). En effet, la mauvaise utilisation de ces produits chimique participe à la contamination de l'eau potable et à l'eutrophisation des systèmes d'eau douce (UNEP, 2021). Certains engrais ont également une incidence sur la vie humaine (UNEP, 2021).

En outre, les fertilisants utilisés pour l'amélioration des rendements suscitent de plus en plus d'interrogations sur leurs capacités à influencer la qualité nutritionnelle et organoleptique des productions végétales. La diversité des conditions expérimentales mises en œuvre, les interactions avec des facteurs non contrôlés, rendent souvent difficile l'établissement de lois générales concernant les effets de la fertilisation sur la qualité des produits agricoles. Aussi, une importante fertilisation azotée tend à diminuer la concentration en vitamine C dans les fruits de tomate (Veit-Kohler *et al.*, 1999). Or chez la tomate, la production de vitamine C est corrélée positivement à la fermeté du fruit ainsi qu'à la teneur en sucre (Thybo *et al.*, 2006 ; De Pascale *et al.*, 2016). Cette qualité (fermeté du fruit) fait partie d'un ensemble de caractéristiques sensorielles dénommées qualité organoleptique qui serait affectée. Cette dernière réunit un ensemble de critères évalués par quatre de nos cinq sens. En effet, la vue et le toucher sont

## Introduction

sollicités afin d'évaluer la couleur, la forme et la fermeté du fruit. L'odorat et le goût interviennent au moment de la mise en bouche pour la perception des saveurs (sucrées et acides essentiellement), des arômes et de la texture (Gilbert, 2009).

Face à toutes ces difficultés, différentes techniques agricoles ont été mises en œuvre en Côte d'Ivoire. Au nombre de ces techniques, l'utilisation de semences améliorées vendues par les sociétés semencières et l'utilisation de la culture hydroponique (Fondio *et al.*, 2012). La culture hors sol ou culture hydroponique est un mode de production des plantes réalisé avec une solution minérale nutritive sur un support neutre et inerte autre que le sol (Kouassi, 2009). Il existe en générale deux grand types de culture hors sol, la culture sans substrat de culture où les racines des plantes sont directement plongées dans des solutions nutritives et la culture sur un substrat (organique ou non organique) qui est régulièrement irrigué d'un courant de solution qui apporte les sels minéraux et les nutriments essentiels à la plante (Fogliani, 2016). Cette dernière technique se rapproche le plus de ce qui se passe dans le sol pour une culture traditionnelle, par l'alternance irrigation/drainage (Kouassi, 2009).

L'amélioration génétique a permis la mise à disposition de variétés de tomate résistantes aux maladies et à fort rendement tel que les variétés TM43 et TMA97 sélectionnées par le CNRA (CNRA, 2018 ; Fondio *et al.*, 2019). La culture sous serre et la culture hors sol ont permis la mise en place d'environnements de production contrôlés favorisant également la production. Actuellement, la production par unité de temps et de surface est environ une fois et demi à deux fois plus faible en abri froid en sol qu'en serre hors-sol (Gravel *et al.*, 2010). Cependant, de nouvelles difficultés apparaissent et entravent la mise en œuvre de ces techniques. Tout d'abord, le prix élevé du matériel utilisé dans la mise en place des nouveaux systèmes de production pour un domaine où la majorité des systèmes de production sont artisanaux et détenus par des paysans (Lamantia, 2012). Ensuite, les risques de pollution de l'environnement par la mauvaise utilisation des intrants nécessaires à la poursuite d'une agriculture artisanale face aux contraintes biotiques et abiotiques restent relativement élevés (UNEP, 2021). Ainsi, l'utilisation de fertilisants biologiques pourrait être une solution pour réduire les coûts de production et augmenter le rendement d'une part et d'autre part répondre aux besoins croissants des consommateurs. En effet, les consommateurs privilégient la protection de leur santé, la qualité et le goût des produits mais aussi la protection de l'environnement à travers une consommation croissante d'aliments provenant d'une agriculture visant le développement durable (De Pascal, 1992). C'est dans cette optique qu'une étude a été réalisée dans la ville de Daloa (Côte d'Ivoire). L'objectif général de cette étude a été de

## *Introduction*

contribuer à l'amélioration de la production et de la qualité des fruits de tomate par l'utilisation en culture hors sol de formulations de substrats biologiques. Plus spécifiquement, il s'est agi de :

- déterminer les meilleures formulations de substrat biologique à partir de tests préliminaires ;
- évaluer l'effet des meilleures formulations sur tout le cycle végétatif de la tomate ;
- caractériser certains paramètres de qualité des fruits de tomate en fonction des formulations.

Cette thèse scindée par chapitre comporte en plus de l'introduction, une généralité sur la tomate, les composés phénoliques, les caroténoïdes et les principaux substrats. Ensuite, le matériel et les méthodes utilisés dans l'étude ont été présentés. Ces derniers ont permis d'obtenir des résultats qui ont été discutés. Cette thèse se termine par une conclusion générale et des perspectives, suivie des références bibliographiques et des annexes.

# **PREMIÈRE PARTIE : GÉNÉRALITÉS**

## CHAPITRE 1 : Tomate

### 1.1. Origine

La tomate est originaire du Nord-ouest de l'Amérique du sud, précisément des régions andines couvertes par la Colombie, l'Equateur, le Pérou, la Bolivie, et le Nord de la Chili (Biekre, 2013). Neuf espèces sauvages peuvent être observées en Amérique du sud, dont seulement deux comestibles, la « tomate groseille » (*Solanum pimpinellifolium*) et la « tomate cerise » (*Solanum lycopersicum* var *cesariforme*) qui est l'ancêtre de nos tomates actuelles (Renaud, 2006). Elle a par la suite été introduite en Europe au XVI<sup>ème</sup> siècle et dans le reste du monde durant le XIX<sup>ème</sup> siècle (Idrenmouche, 2011).

En Europe les italiens ont été les premiers à la consommer dès le 16<sup>ème</sup> siècle, notamment en sauce, et c'est sous cette forme qu'elle atteint la France par la Provence au 17<sup>ème</sup> siècle, avant d'être popularisée à Paris lors de la révolution (Degioanni, 1997). Ce n'est qu'au milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle et jusqu'au début du XX<sup>ème</sup> siècle qu'on a vu sa culture se répandre un peu partout dans le monde (Pitrat & Foury, 2003).

### 1.2. Taxonomie

La tomate fait partie de la famille des Solanaceae et du genre *Solanum*. La famille des *Solanaceae* comprend 94 genres et environ 2950 espèces cosmopolites. Les *Solanaceae* comprennent notamment le tabac (*Nicotiana tabacum*) et le piment (genre *Capsicum*). D'autres espèces sont connues pour leurs vertus psychotropes comme la mandragore (*Mandragora officinarum*) ou la belladone (*Atropa belladonna*). Le genre *Solanum* est très important dans le monde (environ 1700 espèces recensées) et comporte des plantes alimentaires comme la pomme de terre (*Solanum tuberosum*) et bien sûr la tomate. Ce genre comprend aussi des plantes ornementales comme la morelle faux jasmin (*Solanum jasminoides*).

Certaines espèces de la famille des Solanaceae sont connues pour leur toxicité comme la morelle noire (*Solanum nigrum*) ou la douce-amère (*Solanum dulcamara*). (Ranc, 2010). Dès que la tomate a été introduite en Europe, les botanistes ont inclus cette espèce dans le même genre que la pomme de terre : le genre *Solanum*. Anguillara nomme en 1561 cette plante nouvellement introduite, *Lycopersicon* qui signifie ' pêche de loup ' mais il y a confusion pour ce terme qui pourrait désigner le datura, l'aubergine ou la tomate. En 1694, Tournefort est le premier à distinguer la tomate cultivée et à créer un nouveau genre pour

classer cette espèce : le genre *Lycopersicum*, (Peralta & Spooner 2007). Le genre *Lycopersicum* se divise en deux sous-genres, l'Eulycopersicon et l'Eriopersicon, et ce dernier renfermerait les espèces *Lycopersicon pimpinellifolium* et *Lycopersicon esculentum* (Papadopoulos, 1991).

Dans une version posthume de The Gardener's and Botanist's Dictionary, l'éditeur, Thomas Martyn, reconnaît la classification de Linné établie 50 ans plus tôt. Il inclut *Lycopersicon* dans le genre *Solanum* (Ranc, 2010). Même si la tomate (nommée *Lycopersicon esculentum*) a été reconnue jusqu'à récemment, comme faisant partie du genre *Lycopersicon* par la plupart des taxonomistes, la classification de la tomate au sein du genre *Solanum* est aujourd'hui largement acceptée car elle s'appuie sur les résultats convergents de plusieurs études phylogénétiques portant sur des critères morphologiques et moléculaires (Peralta & Spooner, 2007). L'espèce cultivée *Solanum lycopersicum* se décline en deux variétés botaniques : la variété *esculentum* et la variété *cerasiforme*. La tomate, sous sa forme sauvage *céсарiforme* pourrait être à l'origine des variétés actuellement cultivées (Gallais & Bannerot, 1992). Ainsi la systématique de la tomate est la suivante (Hoquet, 2005) :

|             |                               |
|-------------|-------------------------------|
| Règne       | : Plantae                     |
| Sous-règne  | : Tracheobionta               |
| Division    | : Magnoliophyta               |
| Classe      | : Magnoliopsida               |
| Sous-classe | : Asteridae                   |
| Ordre       | : Solanales                   |
| Famille     | : Solanaceae                  |
| Genre       | : <i>Solanum</i>              |
| Espèce      | : <i>Solanum lycopersicum</i> |

### 1.3. Morphologie

#### 1.3.1. Appareil végétatif

La tomate est une plante à croissance indéterminée (tige monopodiale), mais il existe certaines variétés à croissance déterminée (tige monopodiale puis sympodiale après 4 ou 5 feuilles). En théorie, toutes les variétés à croissance indéterminée sont des plantes vivaces et toutes celles à croissance déterminée sont des plantes annuelles (Papadopoulos, 1991). Chez les variétés à port indéterminé, chaque bouquet floral est séparé par trois feuilles et la plante peut croître ainsi

indéfiniment. Chez les variétés à port déterminé, les inflorescences sont séparées par deux feuilles, puis une feuille, avant de se retrouver en position terminale sur la tige.

Son système racinaire est de type pivotant à tendance fasciculée, très dense et ramifié sur les trente premiers centimètres, il peut atteindre un mètre de profondeur.

La tige est anguleuse, épaisse aux entrenœuds et pubescente. De consistance herbacée en début de croissance, elle tend à devenir un peu ligneuse en vieillissant (Figure 1). Les rameaux issus des bourgeons axillaires produisent des feuilles à chaque nœud et se terminent aussi par une inflorescence (Chaux & Foury, 1994).

Les feuilles, alternes, longues de 10 à 25 cm, sont composées, imparipennées et comprennent de 5 à 7 folioles aux lobes très découpés (Figure 1). Le bord du limbe est denté. Les vieilles feuilles perdent leur pouvoir photosynthétique et deviennent même nuisibles pour la plante, responsables du retard de croissance des fruits. La tige et les feuilles portent deux types de poils : simples ou glanduleux, ces derniers contenant une huile essentielle qui donne son odeur caractéristique à la plante.



Figure 1 : Appareil végétatif de la tomate  
(Source : Bénard, 2009)

### **1.3.2. Appareil reproducteur**

Les fleurs de la tomate sont actinomorphes, autogames, de couleur jaune et réunies en inflorescences pentamères (Bénard, 2009), (Figure 2). Le méristème de l'inflorescence ne se termine pas par une fleur et, en fait, maintient son indétermination. Malgré le fait qu'elle soit autogame, des allofécondations restent possibles.

Le calice compte cinq sépales ou plus, de couleur verte. La corolle compte autant de pétales que de sépales, soudés à la base et le gynécée (pistil) possède entre 2 et 5 carpelles.

## Généralités

L'androcée compte cinq étamines ou plus, à déhiscence latérale, introrses. L'ovaire supère est formé d'au moins deux carpelles soudés, orientés obliquement par rapport à l'axe médian de la fleur, et comprend de très nombreux ovules en placentation axile. Les anthères allongées forment un cône resserré autour du pistil (Ranc, 2010).

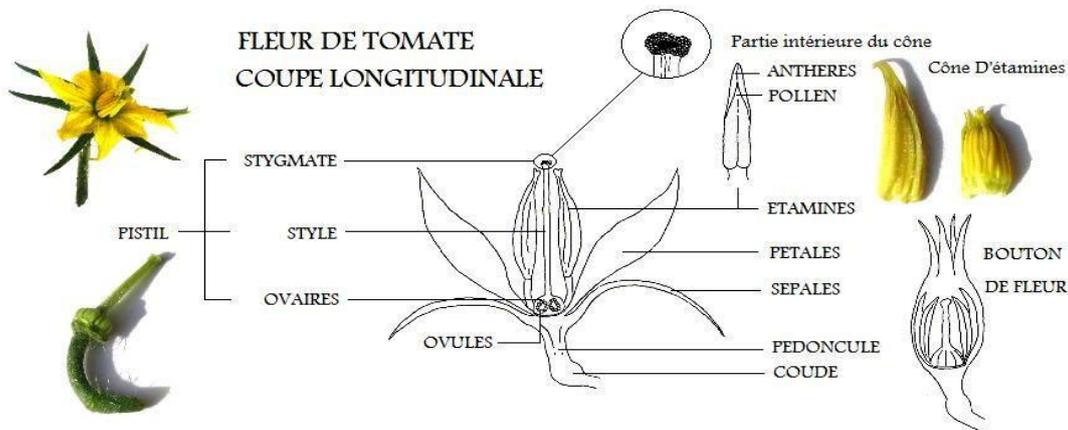


Figure 2 : Coupe longitudinale d'une fleur de tomate  
(Source : Ranc, 2010)

Les fruits de tomates peuvent être de couleur jaune, rose, orange, blanche, noire voire bicolore à maturité (Figure 3A). Ce sont des baies présentant deux ou plusieurs loges (Figure 3B) qui contiennent des graines (Figure 3C). Ils peuvent peser selon les variétés de quelques grammes à près de deux kilogrammes. Leur forme est généralement sphérique mais peut être plus ou moins aplatie, plus ou moins côtelée, en forme de cœur ou de poire. Les fruits sont verts puis virent généralement au rouge à maturité.

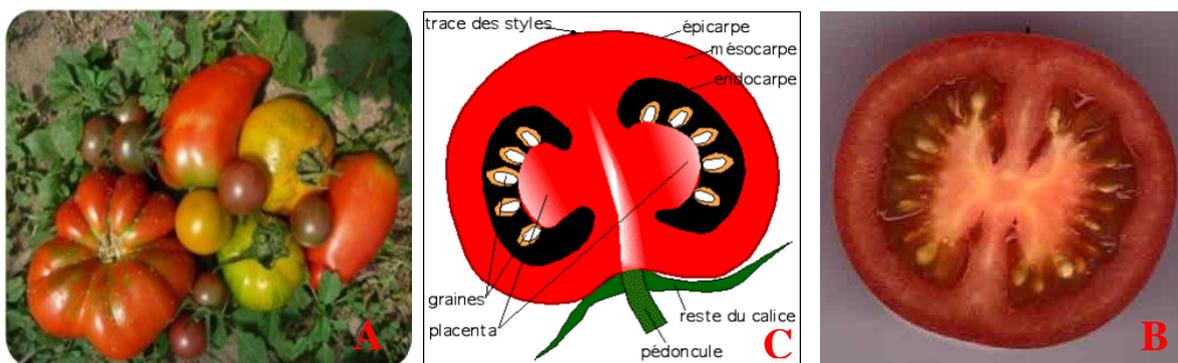


Figure 3 : Fruits de la tomate

A : différentes formes et couleurs de tomate ; B : photo de la coupe longitudinale ; C : dessin d'interprétation

(Sources : Parent-Morvan & Sourdin, 2013 ; Bénard, 2009)

## 1.4. Ecologie

### 1.4.1. Besoins en chaleur et température

La germination des graines est optimale pour des températures comprises entre 18 et 24°C. La tomate est une plante exigeante en lumière. Placée dans un endroit ombragé, sa tige s'effile et donne un faible rendement (Djidji, 2005). Elle nécessite un climat relativement frais et sec pour une récolte abondante et de qualité. Cependant, sa culture s'est adaptée à une diversité de condition climatique (Naika *et al.*, 2005). En général, les températures optimales varient de 21 à 24 °C. Toutefois, au-dessus de 38 °C et en dessous de 10 °C, ses tissus sont endommagés. La pollinisation et la nouaison des fleurs sont influencées par les températures diurnes et nocturnes. Il faut un écart de 6 °C entre le jour et la nuit pour obtenir une nouaison parfaite des fleurs (Biekre, 2013).

### 1.4.2. Besoins en eau

Une pluviométrie de 5 mm par jour est nécessaire du repiquage à la floraison (Daubrey & Akasey, 1992). Les fortes intensités de pluie entraînent l'éclatement des fruits et le développement des maladies fongiques qui réduisent considérablement la production (Djidji *et al.*, 2010). Turcotte (2005) estime que les besoins en humidité relative chez la tomate varient avec la température ambiante. Ainsi, des hygrométries comprises entre 80 et 85% combinées à des températures allant de 24 à 29°C sont favorables à la culture. Les variations des conditions d'alimentations en eau sont très importantes pour la culture car la tomate est très sensible au changement de régime, si bien que :

- un arrosage très actif devant les besoins de la plante va ralentir sa croissance ;
- les arrosages abondants et fréquents pendant la période de floraison ainsi que le déficit en eau peuvent entraîner la coulure des fleurs ;
- à la formation des fruits, une irrégularité de la fourniture en eau se traduit par l'apparition de la pourriture apicale ou "Blossom and rot (Lambert, 2018).

### 1.4.3. Besoin en sol

La tomate exige des sols profonds, frais mais non humides, assez riches en humus et en matières fertilisantes. La tomate est une culture modérément tolérante à une grande variation de pH. Cependant, un pH légèrement acide (5,5 à 7) est préféré (Daubrey & Akasey, 1992). La culture tolère des salinités jusqu'à 2-3 mmho/cm. La qualité du sol n'est pas prédominante pour la

tomate. Il suffit d'avoir un sol profond et bien drainé. Cependant, en culture de contre-saison sur rizière, la tomate se cultive sur les sols riches en matière organique, les sols argileux ne donnent que de très faibles rendements.

## 1.5. Croissance et développement

### 1.5.1. Germination des graines

La tomate donne des graines satinées de 3 à 5 mm qui renferment un gros embryon spiral et enrobé d'une petite quantité d'endosperme. Les graines conservent toutefois leur viabilité pendant de nombreuses années après la récolte, et une germination est possible après 10 ans dans 90 % des cas lorsque les graines sont gardées dans un endroit frais et sec (Papadopoulos, 1991).

Après le semis, la levée s'effectue au bout de 7 à 10 jours (Naika *et al.*, 2005). Le premier indice de germination est l'apparition de la petite racine blanche appelée radicule. À mesure que la radicule s'enfonce dans le substrat de croissance, l'hypocotyle (portion de tige située sous les cotylédons) adopte une forme courbe désignée sous le nom de crochet plumulaire. Ce crochet s'allonge jusqu'à la surface du sol où la lumière contribue à le redresser et à le verdir. Lorsque la graine est fermement ancrée dans le sol et que le crochet plumulaire est redressé, les cotylédons (feuilles germinales) se détachent de l'enveloppe (tégument) de la graine et le tégument reste dans le sol (Papadopoulos, 1991). Toutefois, un milieu de croissance trop meuble empêche les cotylédons de se séparer du tégument, ce qui déforme souvent la plantule.

La tomate possède une racine pivotante bien structurée et un grand nombre de racines latérales fibreuses (Naika *et al.*, 2005). Il est possible de favoriser le développement d'un plus grand nombre de racines fibreuses en taillant la racine pivotante, une opération réalisée lorsqu'on retire la plantule de la caisse de semis pour la transplanter dans un pot. La plante développe rapidement sur la tige des racines adventives (aériennes) qui sont fort utiles lorsque les racines sont endommagées ou atteintes de maladie. Une couche de sol ou de tourbe humide (la tourbe est préférable) placée à la base des tiges favorise la formation de nouvelles racines à cet endroit. Une fois que les cotylédons sont entièrement formés, les vraies feuilles apparaissent peu après au point de croissance (Papadopoulos, 1991).

### 1.5.2. Phase de croissance

La racicule s'allonge, des racines secondaires apparaissent ; les deux premières vraies feuilles découpées apparaissent vers le 11<sup>ème</sup> jour. Le plant, vers le 20<sup>ème</sup> jour, possède au moins 3 à 4 paires de feuilles découpées, 15-20 cm de hauteur et c'est le moment de le repiquer directement au champ (Fondio *et al.*, 2019).

### 1.5.3. Floraison

La première inflorescence apparaît à deux mois et demi après le semis, la floraison s'échelonne du bas vers le haut et dure 4 à 6 semaines. Le nombre de feuilles qui poussent avant l'apparition de la première grappe florale varie d'un cultivar à l'autre ; il est influencé par les conditions environnementales. La plupart des cultivars produisent au moins sept feuilles avant l'apparition de la première grappe florale (Papadopoulos, 1991). La tomate survit difficilement aux conditions continues de basses températures en dessous de 10 °C et de hautes températures au-delà de 35 °C à 40 °C.

La tomate est généralement autogame. Le mouvement de la fleur suffit pour faire tomber le pollen des étamines sur le stigmate. Lorsque le pollen atteint l'ovaire à la base de la fleur, la fécondation et la fructification se font. La pollinisation peut être faite par vibration des inflorescences avec un vibreur électrique, ou encore en frappant les ficelles de tuteurage des plants, mais généralement dans les serres on utilise des bourdons (Turcotte *et al.*, 2015). La fertilité du pollen diminue au-delà de 42 °C. Cependant dans les zones tropicales, en plus de la fertilité du pollen, la température agit sur la physiologie de la floraison. Sous l'effet des fortes températures les fleurs chutent, c'est le phénomène de coulure des fleurs.

### 1.5.4. Fructification

La fructification débute durant la phase de floraison. Elle commence par la nouaison des fruits de l'inflorescence de base et ensuite des inflorescences supérieures au fur et à mesure de l'apparition des inflorescences et de la fécondation des fleurs. La fécondation des ovules et la maturation des fruits marquent respectivement le début et la fin du développement du fruit. Le nombre de fruits par grappe est fonction de la variété et peut être déterminé en taillant les plantes, une fois la nouaison des fruits effectuée (Bénard, 2009).

Les fruits sont des baies charnues à peau lisse et de forme globulaire plus ou moins aplatie en général avec un diamètre de 2 à 15 cm (Naika *et al.*, 2005). Les fruits se développent, grossissent puis perdent leur coloration verte au profit du jaune puis rouge de plus en plus

accentuer (Biekre, 2013). Cette phase dure deux mois. La récolte débute 3 mois après le semis et dure 1 à 2 mois. La durée du cycle végétatif complet de la tomate est de 5 à 6 mois pour les plants repiqués (4 à 5 mois pour les semis directs).

## **1.6. Maladies de la tomate**

Les scientifiques classent les maladies des plantes en deux grandes catégories : les maladies biotiques ou parasitaires qui ont pour cause un être vivant (champignons, virus, bactéries), et les maladies abiotiques ou physiologiques occasionnées par de nombreuses causes ayant pour origine divers facteurs de l'environnement de la plante (climat, nature du sol) et/ou des interventions humaines tel que la maîtrise imparfaite de l'irrigation, de la fertilisation, de l'usage des pesticides, etc. (RECA, 2022).

### **1.6.1. Maladies abiotiques**

#### **1.6.1.1. Causes des maladies abiotiques**

##### **➤ Température**

Les grands écarts de la température extérieure compliquent la régulation de la température et de l'humidité dans la serre et sont associés à un risque accru de troubles physiologiques, comme le ramollissement et le fendillement des fruits. Des températures trop élevées donneront des fruits amollis et peu savoureux. De plus, des températures inadéquates au niveau de la zone racinaire favorisent le développement d'agents pathogènes des racines (AAC, 2020).

##### **➤ Humidité**

Les producteurs ont la difficile tâche d'optimiser le taux de transpiration des plants tout en évitant la formation de condensation sur le feuillage. Un taux d'humidité relative élevé peut être problématique dans la serre, car il favorise le développement de nombreux champignons et de nombreuses bactéries pathogènes. Cependant, un taux d'humidité trop faible par suite de l'entrée d'air sec froid en hiver peut causer encore plus de stress aux plants (AAC, 2020).

##### **➤ Densité de plantation**

La densité de plantation est fonction de la quantité de rayonnement solaire disponible. Une densité trop élevée par rapport à l'intensité lumineuse peut donner des fruits de piètre qualité (fruits peu savoureux et à courte durée de conservation). De plus, la baisse d'intensité lumineuse

et le raccourcissement des journées en automne et en hiver se traduisent par une diminution de la qualité des fruits, à moins d'utiliser un éclairage (AAC, 2020).

➤ **Déséquilibres au niveau des éléments nutritifs**

Une carence en calcium induite par un pH élevé, un excès d'azote ou une faible teneur en calcium de la solution nutritive peuvent entraîner l'apparition de nécrose apicale ou de taches immatures sur la tomate. Les taches immatures ont également été associées à d'autres déséquilibres des éléments nutritifs. Un mûrissement inégal peut être causé par des déséquilibres nutritifs, surtout par une carence en potassium. Quant à la carence en magnésium, elle se manifeste par l'apparition de taches jaunes sur les feuilles entre les nervures vertes, de feuilles cassantes, enroulées ou recroquevillées. Cette carence assez commune cause toutefois rarement des pertes de rendement. Des teneurs inadéquates en oligoéléments (par exemple, en fer) dans la plante peuvent être causées par un piètre développement des racines ou une maladie racinaire, ou par d'autres facteurs, et elles se manifesteront par une chlorose au début, puis par une nécrose aux stades de développement plus avancés (AAC, 2020).

**1.6.1.2. Quelques maladies abiotiques**

➤ **Les pourritures apicales**

Ce sont des nécroses qui apparaissent toujours à la base des fruits (Figure 4). Au début, le dégât se présente comme une tache imbibée d'eau qui s'élargit et devient brun sombre. Cette surface brune molle se transforme en pourriture molle lorsque celle-ci est envahie par les bactéries et les champignons. Au niveau physiologique, ces dégâts peuvent être expliqués par une déficience d'absorption du calcium par la plante et aussi par une irrigation irrégulière (Varela *et al.*, 2003).



Figure 4 : Pourriture apicale sur des fruits de tomate  
(Source : DAG, 2018)

➤ **Craquage des fruits**

Des fissures sur la tomate peuvent être radiales ou concentriques (circulaires), (Figure 5). Elles apparaissent la plupart du temps dans la partie apicale (près du pédoncule floral) du fruit. Ces craquelures, plus ou moins profondes, sont dues aux pluies abondantes et aux fluctuations importantes de température (Varela *et al.*, 2003).



Figure 5 : Craquelure sur un fruit de tomate  
(Source : RAP, 2018)

**1.6.2. Maladies biotiques de la tomate**

**1.6.2.1. Maladies fongiques**

➤ **Fonte de semis (*Pythium spp* et *Rhizoctonia solani*)**

La fonte des semis (aussi appelée pourriture basale) est causée par des champignons du sol, tels que *Pythium* et *Rhizoctonia*, qui attaquent les semences et les plantules (Gravel *et al.*, 2006). Cette maladie se manifeste par la pourriture du collet des jeunes plants en pépinière, surtout pendant les périodes chaudes et humides. Cette maladie est favorisée par un semis trop dense, des arrosages trop abondants et des températures élevées (Soro *et al.*, 2008). L'un des moyens pour lutter contre cette maladie consiste à éviter un semis trop dense et des arrosages trop abondants.

➤ **Alternariose (*Alternaria solani*)**

L'alternariose se manifeste par des taches foliaires nécrotiques, de contour arrondi ou irrégulier, d'une dimension de l'ordre d'un centimètre, présentant une zonation plus ou moins régulière,

## Généralités

souvent entourées d'un halo jaune (Figure 6). En plus de taches foliaires, l'alternariose peut aussi provoquer de graves lésions sur les tiges. Sur les fruits, elle induit l'apparition des taches concentriques déprimées à la base du pédoncule. Le développement de cette maladie est favorisé par l'humidité élevée et des températures entre 18 °C et 25 °C. Les plantes mal fertilisées ou très chargées en fruits seraient plus sensibles. L'alternariose est transmissible par les semences (Courtial, 2019). L'usage de graines saines ou désinfectées avec un fongicide est un bon moyen de lutte contre cette maladie. En cas d'arrosage par aspersion, éviter la période d'humectation nocturne du feuillage par des arrosages les matins. Les traitements avec un fongicide (Iprodione, Mancozèbe, Chlorothalonil) peuvent s'avérer efficaces.

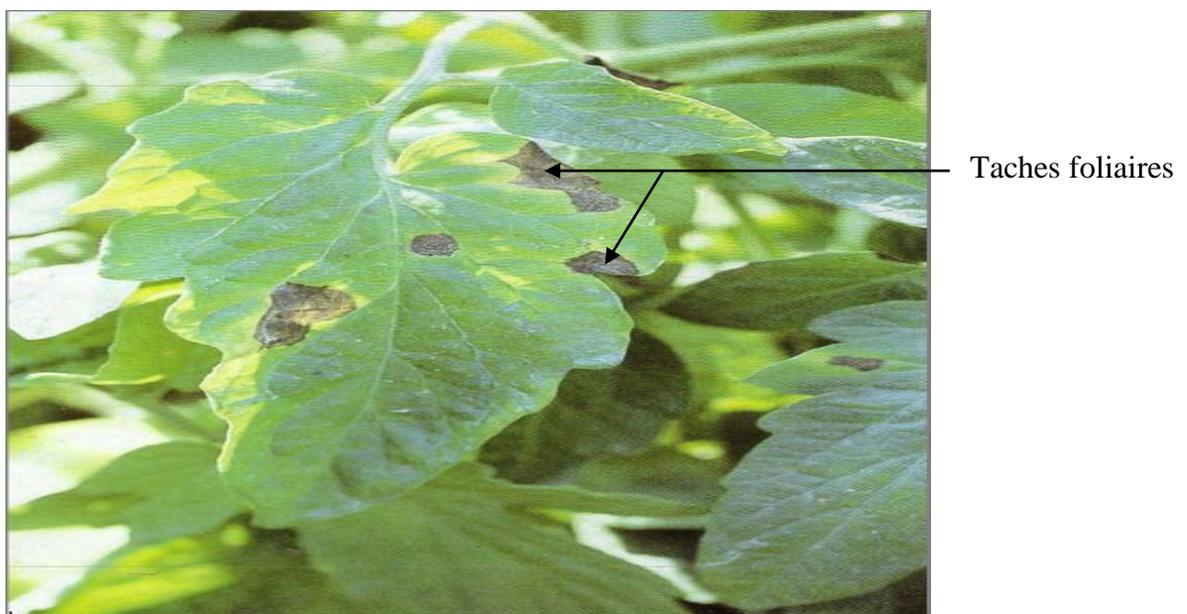


Figure 6 : Taches d'alternariose sur une feuille de tomate  
(Source : Néjji, 2013)

### ➤ **Mildiou (*Phytophthora infestans*)**

Cette maladie cryptogamique à caractère épidémique est causée par *Phytophthora infestans* dont il existe actuellement au moins 13 races physiologiques (Alignan, 2006). Elle s'attaque aussi bien aux feuilles qu'aux tiges et aux fruits. Elle engendre ainsi sur les feuilles des taches brunes se desséchant en leur centre, huileuse et livide en leur périphérie. Sur les fruits, il y a formation de taches brunes marbrées, irrégulièrement bosselées en surface (Figure 7). Ce champignon se conserve dans le sol et se dissémine par le vent et la pluie. La contamination a lieu en présence d'eau libre et a des températures comprises entre 18 et 22 °C (Néjji, 2013). Il existe des traitements préventif et curatif (fongicides), l'élimination des débris de culture est également une solution pour se débarrasser des sources de pollution.



Figure 7 : Plante de tomate attequée par *Phytophthora infestans*  
(Source : Belkhiter, 2021)

➤ **Fusariose (*Fusarium oxysporum*)**

La flétrissure fusarienne, causée par le *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici*, est une maladie terricole qui pénètre dans la plante par les racines. Le champignon monte par les tissus ligneux et émet des toxines qui causent le jaunissement, la flétrissure puis la mort de la plante (Figure 8A). Les tissus ligneux des tiges atteintes ont une coloration brune (Figure 8B), (Benaissa, 2019).



Figure 8 : Symptômes de la flétrissure fusarienne sur une plante de tomate  
A : Jaunissement et flétrissement des folioles et des feuilles basses ; B : Coloration brun sombre de la tige visible en coupe longitudinale  
(Source : Blancard, 2009)

### 1.6.2.2. Maladies bactériennes

#### ➤ Chancre bactérien

Le chancre bactérien (Figure 9) est une très grave bactériose dont l'agent causal est *Clavibacter michiganensis sub. sp. michiganensis* (Gilli, 2007). Les premiers symptômes consistent à un flétrissement et un jaunissement des folioles dans le tier inférieur, en particulier d'un seul côté du végétale. Par la suite, des taches vert pâle apparaissent entre les nervures et les folioles sénescents, s'enroulent vers le haut et brunissent à partir du bord vers le centre. Les tissus flétris affichent des stries pâles qui s'ouvrent pour former un chancre. Les jeunes fruits peuvent être petits, marbrés et lorsque la maladie s'installe, des petites taches blanches évoluent en chancres bruns sous forme d'un « œil d'oiseau » (Gilli, 2007).



Figure 9 : Chancre bactérien sur un fruit de tomate  
(Source : RAP, 2021)

#### ➤ Gale bactérienne

Cette bactériose est causée par *Xanthomonas campestris pv. vesicatoria*. Des petites taches apparaissent sur les feuilles (Figure 10A) et sur les fruits (Figure 10B). En général, ces taches sont brunes et arrondies. Les feuilles jaunissent puis tombent et des lésions elliptiques apparaissent sur les tiges et les pétioles. Cette bactériose se propage principalement par le biais de graines, d'insectes et les opérations culturales (Naika *et al.*, 2005 ; AL-Saleh, 2011).



Figure 10 : Symptômes de la gale bactérienne sur des organes de la tomate

A : Symptômes sur feuille ; B : Symptômes sur fruit

(Source : Boro *et al.*, 2023)

### 1.6.2.3. Maladies virales de la tomate

#### ➤ Tomato Yellow Leaf Curl Virus (TYLC)

Cette maladie est due à un virus connu dans la langue anglaise sous le nom de Tomato Yellow Leaf Curl Virus (TYLCV) qui sévit dans les régions tropicales. Ce virus qui est transmis par *Bemisia Tabaci* (la mouche blanche). Cette maladie cause au niveau des plantes un arrêt de croissance, une chlorose marginale et un recroquevillement en cuillère des feuilles (Figure 11). La production est fortement réduite lorsque les symptômes apparaissent avant la floraison. La mouche blanche est surtout présente de septembre à décembre (RADHORT, 2012).



Figure 11 : Plante de tomate atteinte par TYLCV

(Source : DAG, 2018)

➤ **CMV (Cucumber Mosaic Virus)**

Le CMV est l'un des principaux virus des cultures de cucurbitacées dans les régions tempérées et méditerranéennes. Très commun en culture de plein champ, on le rencontre également sous abri. Le CMV entraîne des pertes d'autant plus importantes que les infections sont précoces. La pastèque est généralement peu affectée. Le CMV est souvent rencontré en infection mixte avec d'autres virus. Des synergies entraînant des symptômes plus forts ont été signalées lors d'infections mixtes avec différents potyvirus. Plus de 1000 espèces végétales y sont sensibles, et en particulier de nombreuses espèces maraîchères (tomate, piment, salades, épinards...), fruitières (cerisier, bananier...) et adventices. Il est transmis par de nombreuses espèces de puceron, selon le mode non-persistant (Nicolas, 2022).

**1.6.2.4. Nématodes et ravageurs**

En Côte d'Ivoire, les espèces d'insectes occasionnant des dommages sur les tomates appartiennent aux ordres des homoptères, des thysanoptères, des lépidoptères ainsi que des acariens et des nématodes. Aux nombres de ces espèces, l'on dénote les thrips, les pucerons, les noctuelles, les mouches mineuses et les aleurodes vecteurs de viroses (Chaux et Fourry, 1994).

➤ **Les nématodes**

Les nématodes attaquent les racines des plantules, cela affecte négativement leurs capacités de se nourrir et donc perturbe leur croissance.

➤ ***Helicoverpa armigera* (Noctuelle de la tomate)**

Les fruits sont troués, les feuilles rongées, les bouquets floraux coupés. Les fruits piqués à l'état jeune tombent généralement. Les autres pourrissent sur les plantes ou sont déformés. Les chenilles (Figure 12A) ont une couleur variant du vert clair ou brun noir avec souvent dans ce cas, une alternance de bandes longitudinales latérales claires et foncées. Elles peuvent mesurer 35-40 mm de long. Le corps est recouvert de petits poils (RADHORT, 2012). L'adulte mesure 3 à 4 cm d'envergure et il est de couleur assez variable. Le mâle est généralement gris-vert et la femelle brun orangé (Figure 12B). Les ailes inférieures sont transparentes (Adamou *et al.*, 2017).



Figure 12 : Noctuelle de la tomate

A : Stade adulte ; B : Stade chenille  
(RECA, 2017)

## 1.7. Importance de la tomate

### 1.7.1. Importance nutritionnelle

La tomate est un aliment diététique, très riche en eau (93 à 95 %) et très pauvre en calories (17 kcal pour 100 g), riche en éléments minéraux et en vitamines (A, C et E). Les glucides, 2 à 3 %, sont constitués principalement de fructose et de glucose (Tableau I). La composition biochimique des fruits dépend de plusieurs facteurs, à savoir la variété, l'état de maturation, la lumière, la température, la saison, le sol ou le substrat, l'irrigation et les pratiques culturales (Rekibi, 2015). A maturité, un fruit de tomate contient 95 % d'eau, 5 % de matière sèche comprenant entre autres 50 % de sucres, 25 % d'acides organiques, 8 % de minéraux, 2 % d'acides aminés, de caroténoïdes et autres métabolites secondaires (Davies & Hobson, 1981), (Tableau I). Parmi les caroténoïdes, le  $\beta$ -carotène qui possède une activité de provitamine A. Le lycopène, aussi présent en grande quantité dans le fruit mûr (entre 3 et 8 mg/100 g de matière fraîche) mais surtout dans les concentrés de tomate (30 mg pour 100 g de concentré), joue un rôle d'antioxydant dans l'alimentation humaine (Giovannucci, 1999). La tomate malgré sa faible teneur en protéines (1,1 %) contient pratiquement tous les acides aminés (Alhagdow, 2006). La composition en lipides varie en fonction de la variété et du degré de maturité lors de la récolte. Il a été répertorié plus de 33 acides gras dans le péricarpe. La teneur en lipides des fruits de tomate est 0,3g pour 100 g de poids frais (Bénard, 2009). Ce légume se consomme, soit cru, en mélange avec d'autres ingrédients, en jus, soit cuit sous la forme de préparations variées à partir de produits frais ou transformés industriellement.

Tableau I: Composition chimique des fruits de la tomate pour 100 g de fruits

(Sources : Davies & Hobson 1981 ; Chanforan, 2010)

| Composés               | Quantité        | Composés             | Quantité     |
|------------------------|-----------------|----------------------|--------------|
| Humidité               | 95%             | Vitamine E           | 0,40 mg      |
| Protéine               | 1 g             | Vitamine C           | 23 mg        |
| Graisses               | 0,2 g           | Thiamine             | 0,06 mg      |
| Carbo hydrate          | 4,7 g           | Riboflavine          | 0,04 mg      |
| Fibre                  | 0,5 g           | Niacine              | 0,70 mg      |
| Calcium                | 13,0 mg         | Acide Pantothénique  | 0,33 mg      |
| Phosphore              | 27,0 mg         | Vit. B6 (pyridoxine) | 0,10 mg      |
| Sodium                 | 3,0 mg          | Acide folique        | 39,00 mcg    |
| Magnésium              | 17,7 mg         | Fer                  | 0,50 mg      |
| Potassium              | 244,0 mg        | Zinc                 | 0,20 mg      |
| Sodium                 | 0,01 mg         | Biotine              | 4,00 mcg     |
| Vitamine               | 900,0 IU        | Vitamine B12         | 0            |
| Vitamine D             | 0               | Caroténoïdes :       |              |
| Composés phénoliques : |                 | Lycopène (E+Z)       | 0,11-17,5 mg |
| Acide chlorogénique    | 3,67 - 21,0 mg  | β-Carotène (E+Z)     | 0,08-1,06 mg |
| Rutine                 | 19,8 - 31,23 mg | Lutéine              | 0,01-0,20 mg |
| Naringénine            | 0 – 22,48 mg    | Phytoène             | 0,01-1,92 mg |

### 1.7.2. Importance économique

La tomate est de plus en plus importante ces dernières années pour l'économie de bon nombre de pays du fait de sa production qui augmente régulièrement pour tenter de satisfaire une demande en constante évolution. En 2007, il s'agissait de la douzième culture au niveau mondial et de la quatorzième au niveau européen avec près de 130 millions de tonnes produites (Ranc, 2010). La culture de la tomate est donc en plein essor au niveau international. Il existe deux grands types de cultures de la tomate : la culture de frais, réalisée en général sous abris et récoltée manuellement et la culture d'industrie, réalisée en plein champs et récoltée mécaniquement (Ranc, 2010).

### 1.7.3. Importance médicale et phytothérapeutique

Le rôle médicinal de la tomate est connu depuis bien longtemps chez les Incas en Amérique de sud. Ces derniers utilisaient les feuilles fraîches de tomate comme antibiotique (Philouze & Hedde, 1995). Plusieurs études prospectives et épidémiologiques ont démontré qu'une consommation élevée de fruits et de légumes diminuait le risque de maladies cardiovasculaires, de certains cancers et d'autres maladies chroniques (Gasser, 2022). La présence d'antioxydants justifie les effets médicinaux de la tomate. Ainsi sa consommation a plusieurs avantages :

## *Généralités*

- excellent pour la santé du foie, car contient des traces d'éléments antitoxiques appelées chlorite et sulfure ;
- diminue l'hypertension grâce à son taux élevé en potassium ;
- stimule les sécrétions digestives, grâce à sa saveur acidulée ;
- contribue à la prévention des maladies cardiovasculaires, l'artériosclérose et la cécité ;
- prévient le cancer grâce à sa teneur en pigments caroténoïdes antioxydants (Basu & Imrhan, 2007) ; notamment sa forte concentration en lycopène (3,5 mg/125 g de tomate).

## **CHAPITRE 2 : Culture hors sol**

### **2.1. Définition**

La culture hors-sol s'oppose à la culture de pleine terre. Le système hors-sol présente un intérêt en cas de contamination des sols par des bioagresseurs difficiles à maîtriser (bactériose et autres ravageurs telluriques). Les plantes se développent soit sur un substrat inerte qui leur sert de support racinaire, soit sans aucun support (hydroponie stricte). L'alimentation hydrique et minérale des plantes est totalement maîtrisée et est apportée sous forme de solutions nutritives. Les cultures hors-sols sont en général protégées à l'abri dans des serres (Le Bellec, 2015).

### **2.2. Type de culture hors sol**

#### **➤ Culture avec substrats**

Les systèmes « avec substrat » (les plus utilisés à ce jour) : le substrat assure une réserve d'eau tout en maintenant une bonne oxygénation du système racinaire entre deux irrigations. Ils ont par contre de nombreux inconvénients quant à la manipulation des substrats utilisés, à leur recyclage (ou à leur destruction) et à leur coût (Fogliani, 2016).

#### **➤ Culture sans substrat**

La culture « sans substrat » (peu développée en zone tropicale) : la solution nutritive est contenue dans un bac ou distribuée dans des gouttières. Cela peut nécessiter une oxygénation complémentaire de la solution nutritive pour éviter l'asphyxie des racines et le dépérissement des plantes. Elle évite les contraintes liées au recyclage du support et la désinfection de l'installation est plus facile. Le problème du réchauffement de la solution nutritive peut se poser. L'absence de réserve hydrique au niveau des plantes représente un risque en cas de panne des pompes (Le Bellec, 2015).

### **2.3. Eléments nécessaires à la réalisation d'une culture hors-sol**

#### **➤ Exemple de composants d'un module hydroponique**

Un module hydroponique comprend des fûts pour stocker la solution nutritive, un support contenant le substrat de culture et un réseau d'irrigation, le tout protégé par un abri (dans le cas des cultures sous abris). Le substrat, qui remplace la terre ou le sol, sert de support aux racines et à la plante. Poreux, il doit se dégrader lentement et n'apporter aucun élément nutritif. Deux

substrats d'origine végétale, la fibre de coco et le paddy de riz, qui sont facilement disponibles en Côte d'Ivoire, ont été testés avec succès en 2008. La solution nutritive apporte, sous forme assimilable, les éléments minéraux majeurs et les oligoéléments nécessaires au développement de la plante. Cette solution est constituée d'un mélange d'engrais minéraux (Fondio *et al.*, 2012).

➤ **Caractéristiques de la solution fertilisante**

Liquide aqueux dont les nutriments sont acheminés jusqu'aux racines des plantes. Pour permettre la vie végétale, les racines puisent leurs ressources dans leur environnement. Puisque le système racinaire est dégagé du sol, il est nécessaire d'enrichir l'eau par différents mélanges artificiels. Les minéraux indispensables à la croissance des plantes sont au nombre de 12. De ceux-ci on distingue 6 macroéléments : N, K, P, Ca, Mg, S et 6 oligoéléments : B, Fe, Zn, Cu, Mn et Mo. L'absence de l'un d'entre eux conduit à la mort inévitable d'une plante. Ces substances sont diluées par l'eau du réseau de l'exploitation (Le Bellec, 2015). La solution doit donc être préparée en adaptant la composition en éléments nutritifs en fonction de l'eau d'irrigation disponible. L'eau ne doit pas être trop concentrée en minéraux puisque en s'évaporant les solutés s'accumulent ce qui, à haute dose, peut devenir nuisible (Gilli & Carlen, 2017). Le pH est ensuite ajusté quotidiennement par un produit tampon entre, en moyenne, 5,5 et 6,5 afin d'optimiser l'absorption ionique (Sigg *et al.*, 2006). Il existe une multitude de mélanges synthétiques puisque les besoins des végétaux varient. En effet, la culture, la variété et le stade de développement nécessitent des modifications régulières.

➤ **Espèces cultivées en culture hors sol**

La tomate est largement cultivée en hors-sol avec utilisation de laine de roche, fibres de coco, hydroponique, tourbe, bois, pouzzolane, écorce de pin, mousse de polyuréthane, ... sous toutes les latitudes. Le concombre, l'aubergine, le poivron sont produits sur laine de roche principalement. La laitue est également produite sur bandes de laine de roche ou en hydroponie (Vitre, 2003).

## **2.4. Avantages et inconvénient de la culture hors-sol**

➤ **Avantages**

Les exploitations hors-sols présentent des bénéfices tel que la maîtrise de l'irrigation. Ainsi, il y a un meilleur contrôle des nutriments présents dans le milieu tout en minimisant l'eau

nécessaire (Gasser, 2022). L'utilisation des surfaces est optimisée, ce qui permet de produire plus sur une superficie plus faible en comparaison avec les cultures en pleine terre. Le risque de contamination de l'environnement (ex : polluer les nappes phréatiques) est extrêmement faible puisque la solution nutritive n'entre pas en contact avec le sol. Une diminution de la lutte contre les nuisibles (ravageurs, mauvaises herbes, etc) dû à l'espace fermé (pour les cultures sous abri) s'observe par une réduction de l'utilisation de pesticides et suppression des herbicides (Texier, 2020). Economiquement, les pertes sont plus rares qu'en agriculture de plein champ. Le rendement est amélioré avec un murissement jusqu'à 25% plus rapide (Gasser, 2022).

### ➤ **Inconvénients**

Toutefois, le coût initial des installations hors-sols est élevé (Fogliani, 2016). Cette technologie ne convient pas à toutes les plantes comestibles. Les légumes racines ou les tubercules, par exemple, nécessite une conception complexe non rentable. Il y a une production de déchets liées aux substrats d'origine minérale peu biodégradables (Gasser, 2022). Parfois, l'eau est jetée pour éviter les dépôts de sels minéraux dans les substrats, ceci afin de réduire l'influence de ce type de molécules sur les récoltes. La gestion de la chaleur nécessite une attention particulière puisque les racines ne sont pas dans un milieu isolant. Des températures racinaires supérieures à 26°C ralentissent la croissance (Gasser, 2022). Dépasser 35°C, la mort des végétaux est imminente. Ce système ne laisse pas droit à l'erreur : une terre saine a normalement des fonctions biologiques, chimiques et physiques garantissant une adaptation de la plante face aux contraintes environnementales en rétablissant un équilibre. Sans sol, une faute peut réduire une production à néant en l'espace de plusieurs heures (Texier, 2020).

## CHAPITRE 3 : Substrats et fertilisants utilisés

### 3.1. Substrats

Le terme substrat désigne tout matériau naturel ou artificiel qui, placé en conteneur seul ou en mélange, permet l'ancrage du système racinaire jouant vis-à-vis de la plante le rôle de support (Morel *et al.*, 2000). Un bon substrat doit présenter des caractéristiques compatibles avec l'activité métabolique des racines et intervenir à divers degrés dans l'alimentation hydrique et minérale de la plante (Boufares, 2012).

#### 3.1.1. Sciure de bois

##### 3.1.1.1. Présentation

Le bois est un matériau composite naturel composé de fibres de structure complexe. Ces fibres sont constituées de microfibrilles de cellulose de structure cristalline et fibreuse, enrobées de deux types de polymères amorphes : la lignine et les hémicelluloses (Jebrane, 2009).

La sciure de bois, aussi appelée bran de scie au Québec, désigne l'ensemble des petites particules et fins copeaux issus du sciage du bois. Il se présente presque sous forme de poudre. On le trouve principalement et en quantité assez importante au niveau des grandes scieries. La sciure de bois et les copeaux sont considérés au niveau des scieries comme des déchets et sont évacués le plus souvent dans les décharges publiques (Koala, 2012).

##### 3.1.1.2. Usages

Généralement, le bois est un matériau de construction dont la transformation industrielle génèrent des sous-produits et de la sciure qui peuvent être valorisés par d'autres usages tel que la valorisation énergétique, comme combustible et comme adsorbant propre, naturel et à faible coût (Koala, 2012). La sciure peut aussi être utilisée dans les toilettes sèches où elle empêche le dégagement d'odeurs. La sciure est également utilisée comme litière pour certains animaux élevés en cage (rongeurs par exemple) et comme paillage en agriculture (Leney, 2017). Elle sert aussi à la réalisation de compost où elle contribue à former la réserve organique du sol mais est peu efficace pour nourrir l'activité biologique du sol. Néanmoins, la sciure de bois est souvent utilisée comme substrat pour la germination des graines comme dans le cas de *Cola nitida* (Gbedie *et al.*, 2017).

### 3.1.2. Balle de riz

#### 3.1.2.1. Présentation

La balle de riz est un sous-produit dérivé du décorticage du riz, opération qui permet de transformer le riz récolté ou riz paddy, en riz cargo. La balle de riz est constituée de glumes et glumelles qui sont des bractées modifiées enveloppant l'épillet qui devient à maturité le caryopse constituant le grain de riz (Koala, 2012). La balle de riz est d'une couleur brun-beige, de consistance dure, beaucoup plus résistante que celle du blé. Ce produit, léger et volumineux, dont la densité oscille entre 132 et 140 kg/m<sup>3</sup>, est pratiquement imputrescible et inattaquable par les insectes (Delot, 2015). Sa teneur en éléments nutritifs est faible (3,3 % de protéines et 1,1 % de matières grasses) quand la cellulose représente 45 % de la masse.

#### 3.1.2.2. Usages

La balle de riz est utilisée soit à l'état naturel soit carbonisée à l'aide d'un carbonisateur (Figure 13A et B). La balle peut être utilisée comme matériau de construction (isolant thermique). Elle est aussi utilisée comme paillis pour le jardinage et comme fond de litière dans les étables ou les écuries (Delot, 2015). Riche en silice, imputrescible et de faible densité, la balle de riz est en effet une bonne matière première dans le terreau. Elle a la capacité d'aérer les sols, de les alléger lorsqu'ils sont trop lourds, d'apporter une légère acidité (Misra *et al.*, 2005). Aujourd'hui, au Burkina, au Ghana, au Mali et au Niger la nouvelle tendance dans les ménages est l'utilisation de four à balle des riz brute ou carbonisée comme combustible en lieu et place des foyers à bois (Sani, 2015).

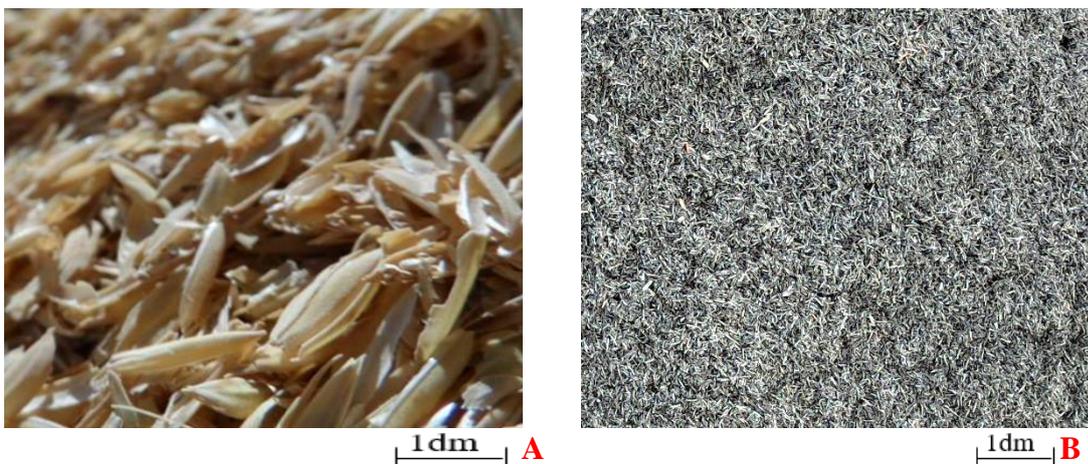


Figure 13 : Balle de riz

A : Etat naturel ; B : balle de riz carbonisé)  
(Sources : Delot, 2015 ; Lebongo, 2011)

### 3.1.3. Son de riz

#### 3.1.3.1. Présentation

Le son de riz est le plus important sous-produit du traitement industriel du riz. Le son de riz pur est produit pendant la phase industrielle du polissage. Le son de riz tout à fait pur a l'apparence d'une farine jaune rougeâtre, onctueuse, inodore et de saveur douceâtre (Raoilisoa, 2014). Le son présente néanmoins l'inconvénient de se conserver assez peu longtemps, puisqu'il aigrit facilement à cause de la matière grasse et les enzymes qu'il contient (Raoilisoa, 2014). Il est principalement composé du péricarpe, de l'aleurone, de la couche subaleurone et du germe.

#### 3.1.3.2. Usages

Les difficultés de catégorisation des sous-produits du riz en l'occurrence la balle, le son et la farine basse de riz se traduisent par une divergence des résultats sur leur composition chimique au sein de chaque groupe selon les auteurs. Au Bénin, la valeur alimentaire du son de riz est de 16,1 ; 17,2 ; 27,5 et 13,6 % respectivement pour la matière azotée totale, les cendres totales, la cellulose brute et les matières grasses (Toléba *et al.*, 2009). Du fait de sa richesse en élément nutritif (Tableau II), il est utilisé en complément dans l'alimentation des ruminants consommant de la paille, mais est surtout utilisé pour engraisser les porcs, élever les poulets où même les poissons (Raoilisoa, 2014). De plus, La présence d'antioxydants comme les tocophérols, les tocotriénols et le  $\gamma$ -oryzanol améliore également les perspectives d'utilisation du son de riz pour les humains (Sharif, 2013).

Dans la province burundaise de Ngozi, les engrais chimiques ont atteint des prix très élevés. De ce fait, les agriculteurs qui les utilisaient habituellement ne pouvaient plus faire de profit. L'utilisation du son de riz à la place des engrais chimique s'est révélé être la meilleure alternative disponible. L'utilisation du son de riz se fait par épandage à la main autour des différents poquets. Étant donné que le décorticage du riz se fait avec une machine, les particules de son de riz sont de différentes tailles, ce qui fait que certaines particules se décomposent rapidement tandis que d'autres restent dans le sol et se décomposent peu à peu, ajoutant des éléments nutritifs dans le sol au fil du temps. L'efficacité du son de riz semble être inférieure à celle des engrais chimiques. En effet, sur une parcelle de terre où l'on récolte 100 kg de haricots avec des engrais chimiques, la récolte avoisine les 70 kg de haricots avec le son de riz (Bassily, 2008).

Tableau II : Valeurs nutritionnelles pour 100 g de son de riz biologique  
(Source : Boughaba, 2012)

| <b>Composés</b>       | <b>Valeurs</b> | <b>Composés</b>             | <b>Valeurs</b> |
|-----------------------|----------------|-----------------------------|----------------|
| <b>Energie (Kcal)</b> | 290-330        | Fibres totales (g)          | 27-30,4        |
| <b>Protéines (g)</b>  | 12,3-15,9      | Fibre soluble (g)           | 2-6            |
| <b>Lipides (g)</b>    | 15-19,7        | Humidité (g)                | 6-8            |
| <b>Glucides (g)</b>   | 30,1-34,3      | Fraction insaponifiable (%) | 20-30          |
| <b>Amidon (g)</b>     | 9,7-13,8       | Cendres (g)                 | 6,6-9,9        |

### 3.2. Fertilisants

Les engrais recouvrent l'ensemble des matières fertilisantes épandues à la surface des sols et destinées à apporter aux végétaux les éléments indispensables à la constitution de leurs tissus. On distingue les engrais minéraux (N. P. K) et des engrais organiques comprenant les effluents d'élevage (fiente de poulets, fumier bovins, lisiers bovins, porcins ou de volaille), les composts, les boues résiduaires des stations d'épuration, etc. (Testud, 2015).

#### 3.2.1. Fiente de poulets

##### 3.2.1.1. Présentation

La fiente de volailles sont des excréments purs de couleur brune, produits par les poules élevées sans litière (Bambara, 2017). Ces matières ne doivent donc pas être confondues avec les fumiers qui sont des produits mixtes issus des élevages sur paille. Ce sont des produits pâteux à secs dont la teneur en matière sèche, variable selon leur état de déshydratation, est au moins égale à 20%. La composition moyenne de ces déjections avicoles (Boughaba, 2012) varie en fonction de certains paramètres (Tableau III). En effet, la composition en éléments majeurs de cette famille de produits varie légèrement en fonction de leurs origines (dinde ou poulet ou poulette, litière de paille ou de copeaux).

Tableau III : Composition moyenne des déjections avicoles  
(Source : Boughaba, 2012)

| Composition                                   | Fiente séchée de poules pondeuses | Fumier de poulets et de dindes | Compost de fumier de volaille |
|---|-----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Matière sèche (%)                             | 80                                | 57                             | 63                            |
| Matière minérale (%)                          | 22                                | 9                              | 19                            |
| Matière organique (%)                         | 58                                | 44                             | 44                            |
| Azote total (%)                               | 4                                 | 2,5                            | 2,3                           |
| NH <sub>4</sub> (N ammoniacal) (%)            | 0,4                               | 0,6                            | 0,6                           |
| N organique (%)                               | 3,6                               | 1,9                            | 1,7                           |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (phosphore) (%) | 3,6                               | 1,6                            | 2,8                           |
| K <sub>2</sub> O (potasse) (%)                | 2,5                               | 1,9                            | 2,4                           |
| Cu (cuivre) mg / kg                           | 68                                | 54                             | 124                           |
| Zn (zinc) mg /kg                              | 422                               | 92                             | 288                           |

### 3.2.1.2. Usages

Les fientes de poulets peuvent être utilisées pour la fourniture d'énergie, pour l'alimentation des animaux et en tant qu'engrais en agriculture. Son utilisation pour produire de l'énergie consiste à la production exclusive d'électricité ou de chaleur par méthanisation (Degueurce, 2016). Les déchets de volailles peuvent représenter un vaste réservoir d'éléments nutritifs, surtout pour les ruminants. Au préalable, il faut disposer de matières pouvant être utilisées comme support sur lequel la volaille pourrait faire les déjections (la litière). Ces matières consommables pour les ruminants peuvent être la balle, le son de riz ou le son de blé. Les déjections avicoles, grâce à la matière organique qu'elles contiennent, constituent une garantie pour la fertilité physique, chimique et biologique des sols (Boughaba, 2012).

### 3.2.2. Engrais minéraux

#### 3.2.2.1. Présentation

Les engrais minéraux à usage agricole se présentent usuellement sous forme de granulés sphériques de 2 à 3 mm de diamètre ; ils sont épandus de manière mécanique, soit par gravité, soit à l'aide d'appareils centrifuges générant des poussières (Testud, 2015). Ils sont également plus solubles et agissent plus rapidement dans le sol, mais n'apportent pas de matière organique

(Tessier, 2005). Les engrais minéraux sont plus concentrés que les engrais de ferme et utilisés le plus souvent pour suppléer les insuffisances des sols en nutriments inorganiques. Ils contiennent de l'azote (N), du phosphore (P), du potassium (K), du magnésium (Mg), du soufre (S), du calcium (Ca) et différents microéléments. Ces engrais peuvent être simples (azoté [N], phosphaté [P] ou potassique [K]) ou composés, binaires (NP, NK, PK) ou ternaires (NPK). Un engrais granulé NPK typique contient 15 à 20 % en poids d'ammonitrate, 8 à 10 % d'anhydride phosphorique sous forme de phosphates d'ammonium et bicalcique, 5 à 15 % d'oxyde de potassium. Bien d'autres compositions sont disponibles sur le marché pour répondre à la demande spécifique de chaque type de sol et de culture (Testud, 2015).

#### **3.2.2.2. Usages**

En pratique, les engrais minéraux visent à suppléer les insuffisances des sols en azote, d'où l'importance des nitrates dans leur composition. Ils visent aussi à suppléer les insuffisances en phosphore et en potassium. Il existe toutefois un plafond à la réponse des végétaux aux apports azotés ; l'excès est même nocif à certaines cultures (vigne, arbres fruitiers, betterave à sucre, tournesol, etc.), notamment en favorisant des maladies fongiques et/ou l'infestation par les insectes (Testud, 2015). Les engrais minéraux à usage agricole se présentent usuellement sous forme de granulés sphériques de 2 à 3 mm de diamètre. Ils sont épandus de manière mécanique, soit par gravité, soit à l'aide d'appareils centrifuges générant des poussières. Il existe également des formes liquides pour pulvérisation ou injection dans le sol (Testud, 2015).

## **CHAPITRE 4 : Qualité des aliments**

### **4.1. Définition**

L'Organisation internationale de normalisation (normes ISO 9000) définit la qualité comme "l'ensemble des propriétés et caractéristiques d'un service ou d'un produit qui lui confère l'aptitude à satisfaire des besoins exprimés ou implicites". Quelle que soit la démarche entreprise pour la recherche d'une définition possible, quatre composantes entrent en jeu. Il s'agit de la qualité hygiénique, la qualité nutritionnelle, la qualité hédonique et de la qualité d'usage (Bousquet, 1994).

### **4.2. Qualité hygiénique**

La qualité hygiénique des aliments se fonde sur la "sûreté" du produit. Cet aspect de la qualité qui relève de la non-toxicité en reflète donc la sécurité chimique et bactériologique. La qualité hygiénique est "normalisable" ; la réglementation fixe, en général, les seuils limites à ne pas dépasser pour les principales contaminations toxiques (Bousquet, 1994).

### **4.3. Qualité nutritionnelle**

Les nutriments sont toutes les substances alimentaires que l'organisme absorbe et utilise pour fonctionner. Les aliments deviennent des nutriments sous l'action des sucs digestifs. La qualité nutritionnelle concourt à l'affermissement de la santé. La fonction nutritive de l'aliment se manifeste en effet à la fois quantitativement (calories) et qualitativement (composantes). Pour chaque catégorie d'aliments, les critères nutritionnels sont différents et correspondent aux valeurs maximales à ne pas dépasser. Ainsi, pour qu'un produit alimentaire soit autorisé, il doit respecter les valeurs limites de sa catégorie (Guadagnolo & Marti, 2016).

### **4.4. Qualité organoleptique**

La qualité hédonique, ou organoleptique, sous-tend la satisfaction. Elle se rapporte à la relation entre le produit et les cinq sens. Comme il est impossible de satisfaire universellement tous les acheteurs potentiels, l'industriel doit déterminer un marché particulier et fixer les normes de qualité sensorielle de son produit en fonction du segment plus particulièrement visé (Bousquet, 1994). La description des sens ci-après tente de suivre la progression logique de la dégustation alimentaire. Seront abordés dans l'ordre la vue, l'odeur, le toucher, l'ouïe et enfin le goût.

➤ **La vue**

La vue est sollicitée avant la dégustation afin d'étudier les contours de l'aliment à consommer ; elle détermine le choix alimentaire. L'aspect visuel du plat est le premier critère organoleptique pris en compte lors de l'acte alimentaire, conditionnant l'appétence ou le dégoût ; cela correspond au retour visuel du produit pouvant revêtir différentes couleurs, divers états, diverses formes et dimensions, mais aussi différentes apparences (Djellouli, 2020).

➤ **L'odorat**

Il s'agit ici de la phase de découverte olfactive directe avec l'aliment et aussi de la phase de découverte odorante de l'aliment, une fois celui-ci introduit en bouche. Il est difficile de séparer les deux pans de la perception olfactive, car l'organe nasal en est le seul vecteur. Dans l'acte alimentaire, la qualité organoleptique de l'odorat est donc l'odeur. Cette qualité englobe les notions d'odeur en perception directe mais aussi en perception rétro-nasale, par le biais de l'arôme (Djellouli, 2020).

➤ **Le toucher**

Le toucher provient du latin populaire *toccare* ; il permet de percevoir les caractéristiques mécaniques, les propriétés thermiques et trigéminales de l'aliment. Toucher son aliment avec les doigts permet de confirmer ou infirmer les informations, précédemment données par la vue et donc par l'aspect du mets. La surface peut être éprouvée par le biais de la caresse digitale (Djellouli, 2020).

➤ **L'ouïe**

Deux aspects de la perception auditive alimentaire sont considérés : les bruits extérieurs, liés à la préparation des mets, qui seront considérés puis les sons provoqués par l'aliment lui-même, lorsqu'il est croqué et qu'il pénètre la cavité buccale (Djellouli, 2020).

➤ **Le goût**

Le goût est un terme provenant du latin *gustus* ; il désigne la saveur des aliments perçue grâce aux récepteurs gustatifs situés sur la langue. L'addition des sensations gustatives et olfactives

est communément nommée la flaveur (Couly, 2010). L'odorat, sous forme d'arôme, est donc partenaire du goût (Monnery-Patris *et al.*, 2016) ; cette sensation aromatique est beaucoup plus intense que la sensation odorante directe.

Le goût est le sens grâce auquel nous pouvons percevoir la saveur. C'est un sens lié au caractère chimique des stimuli, au même titre que l'odorat. Il permet la délectation des qualités sapides des denrées alimentaires, et invite donc à apprécier la qualité savoureuse des aliments. Le goût est un terme provenant du latin *gustus* ; il désigne la saveur des aliments perçue grâce aux récepteurs gustatifs situés sur la langue. L'addition des sensations gustatives et olfactives est communément nommée la flaveur (Couly, 2010). L'odorat, sous forme d'arôme, est donc partenaire du goût (Monnery-Patris *et al.*, 2016) ; cette sensation aromatique est beaucoup plus intense que la sensation odorante directe.

#### **4.5. Qualité d'usage**

Un aliment sain, complet et délicieux ne sera pas vendu s'il est trop cher, introuvable, difficile à préparer et impossible à conserver (ex. certains fruits exotiques). Les consommateurs veulent donc des aliments :

- qui se conservent longtemps avant la vente, après achat et après ouverture ;
- qui soient faciles à utiliser à stocker, à ouvrir/fermer et facile à préparer ;

Aujourd'hui, une grande part de la valeur ajoutée aux aliments par l'IAA (International Advertising Association) porte sur cette valeur d'usage et de service (emballages sophistiqués, plats tout-prêts) ;

- qui soient abordables (pas trop chers), disponibles et en vente partout (Ispa, 2004).

**DEUXIÈME PARTIE :**  
**MATERIEL ET METHODES**

## CHAPITRE 1 : Zone d'étude

### 1.1. Situation géographique

Cette étude a été réalisée sur le site expérimental de l'Université Jean Lorougnon Guédé (Figure 14). Construite sur une superficie de 400 hectares dont 90 exploités, elle est localisée au Nord-Est de la ville de Daloa. Cette institution universitaire se situe entre les longitudes 6°26.186' et 6°26.604' Ouest et 6°54.323' et 6°54.844' Nord. La parcelle d'expérimentation (site d'étude) est située à environ 200 mètres derrière le bâtiment de la scolarité, précisément à 6°54'32" de latitude nord et 6°26'14" de longitude ouest.

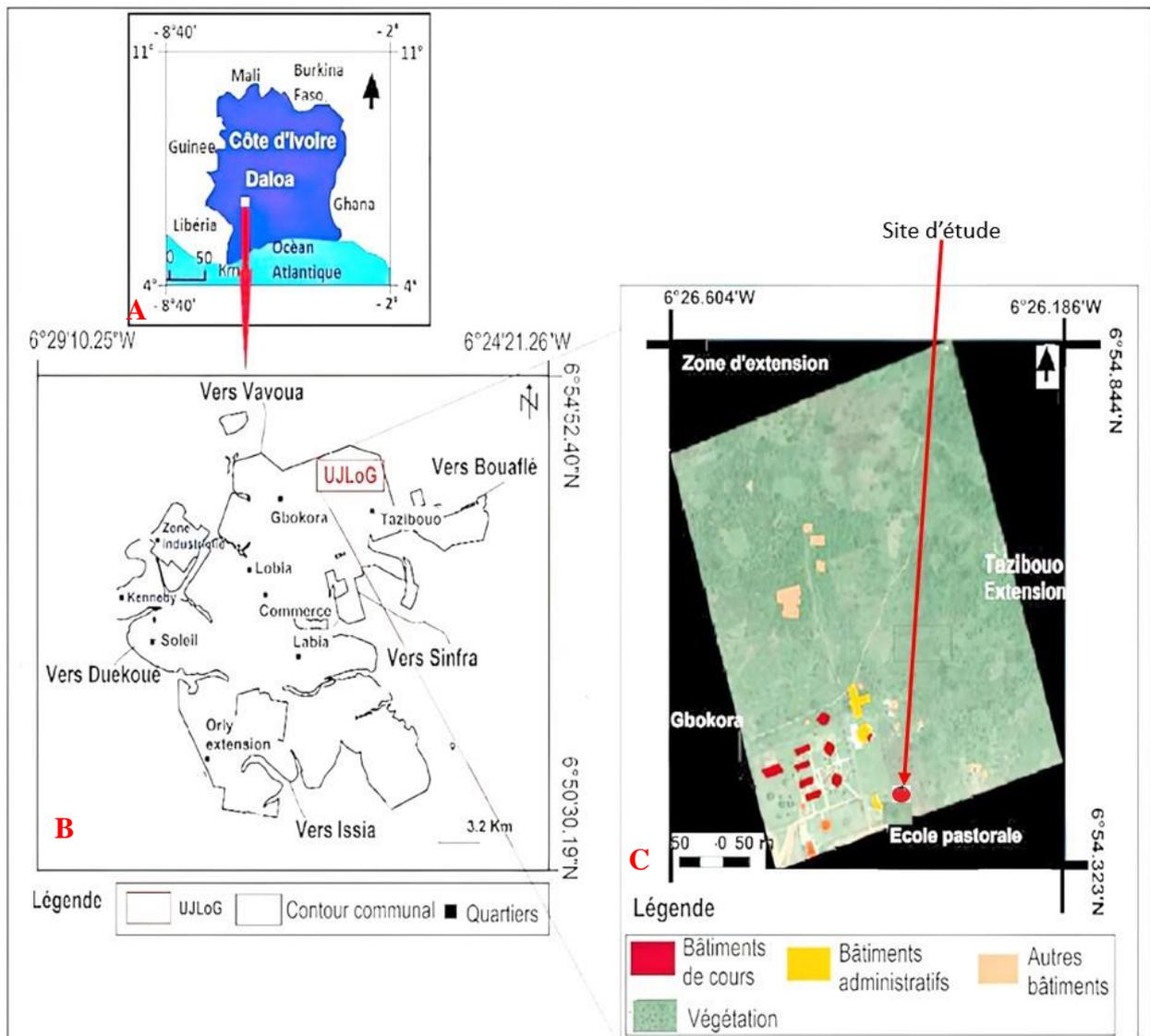


Figure 14 : Carte de la zone d'étude

A : Carte de la Côte d'Ivoire ; B : Carte de la ville de Daloa ; C : Carte de l'Université Jean Lorougnon Guédé

(Source : Akoguhi *et al.*, 2020)

## **1.2. Sol et sous-sol**

Le sol de la région de Daloa appartient au groupe des sols ferrallitiques issus de l'altération du vieux socle précambrien. La faiblesse de l'érosion du sol justifie la présence continue du couvert végétal et rend le sol très profond en général avec le dépôt actif d'humus organique. La texture fine et la forte présence de matière organique prédisposent ces sols à la production agricole (Soro *et al.*, 2014). Cependant, ils sont extrêmement fragiles (Zro *et al.*, 2016). En outre, ils se transforment rapidement en cuirasse par suite d'une latéritisation.

## **1.3. Climat**

Le département de Daloa a un climat de type équatorial. Ce département qui se caractérisait autrefois, par une forte pluviométrie de 1 868,5 mm de pluie par an en 1 968, enregistre une baisse de l'ordre de 40 % ces dernières années (Ligban *et al.*, 2009). Il s'agit d'une zone tropicale humide avec une végétation de forêt dense à évolution régressive, due à la pratique d'une agriculture extensive et itinérante couplée à l'exploitation incontrôlée des essences forestières (Sangaré *et al.*, 2009). La région du Haut-Sassandra est caractérisée par deux grandes saisons de durée inégale. Il s'agit d'une grande saison de pluies qui part de Mars à Octobre et d'une grande saison sèche qui débute en Novembre et prend fin en Février (Norbert *et al.*, 2015). La saison humide a une pluviométrie moyenne annuelle de 1300 mm (Brou, 2005). L'hygrométrie de ce département y est importante avec une température moyenne annuelle (Koffie & Kra, 2013) de 26° C (Figure 15). Le département est également arrosé par le fleuve Sassandra et ses affluents puis le lac du barrage de Buyo. En outre, de nombreux cours d'eaux à écoulement saisonnier tel que le Dé, le Bahoré et le Boty arrosent le département, donnant lieu à de nombreux bas-fonds cultivables. Ces conditions naturelles favorables ont eu pour conséquence une forte implantation de population (Sangaré *et al.*, 2009).

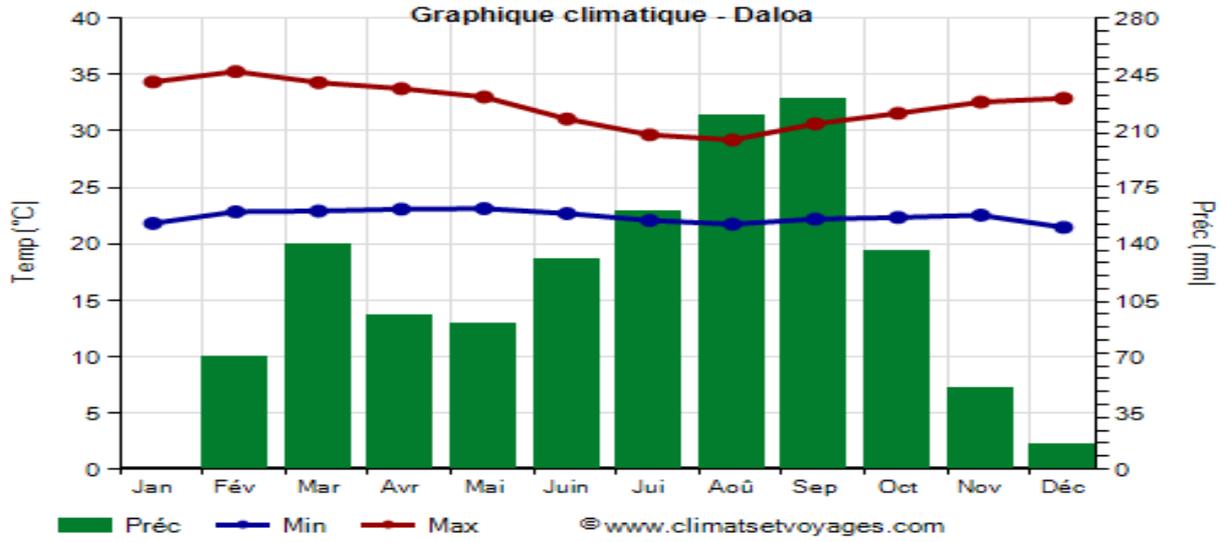


Figure 15 : Diagramme ombrothermique de la ville de Daloa de 1991 à 2020.

Temp : température ; Préc : Précipitation ; Min : Température minimum ; Max : Température maximum (Source : Anonyme 2, 2024)

## CHAPITRE 2 : Matériel

### 2.1. Matériel végétal

#### 2.1.1. Matériel végétal utilisé

Le matériel végétal utilisé est constitué dans un premier temps de semences de tomate (*Solanum lycopersicon*), principalement de la variété COBRA 26 de TECHNISEM France. Les semences achetées sont présentes dans des emballages pesants chacun un gramme (Figure 16A). Ces semences ont été utilisées pour la réalisation de la pépinière. Par la suite, les plants obtenus à l'issue de la pépinière (Figure 16B) ont servi pour le repiquage en culture hors sol. Enfin, les fruits (Figure 16C) obtenus à l'issue de la culture hors sol ont été utilisés pour la réalisation des tests organoleptiques et biochimiques.



Figure 16 : Matériel végétal

A : Semence de tomate ; B : Plant de tomate ; C : Fruits de tomate

#### 2.1.2. Caractéristiques de la variété

La variété COBRA 26 est la première variété de la gamme TECHNISEM (France) associant tolérances au TYLCV et au flétrissement bactérien, F1 COBRA 26 assure productivité et fiabilité aux producteurs des zones sahéliennes et des zones tropicales devant faire face à des pressions phytosanitaires de plus en plus complexes. F1 COBRA 26 produit en abondance des fruits uniformes dont la masse moyenne est de 80 à 90g. La fermeté des fruits assure une très bonne tenue post récolte. La variété COBRA 26 possède également des plantes à croissance déterminée, ayant une très bonne vigueur et une très bonne précocité, la première récolte pouvant avoir lieu 65 à 70 jours après plantation (Anonyme 3, 2024).

## 2.2. Substrats de culture

La collecte des principaux substrats utilisés dans cette étude s'est réalisée dans la ville de Daloa. Le son (Figure 17A) et les balles de riz (Figure 17B) ont été collectés dans un moulin situé au quartier Garage de Daloa (Annexe 1). Ensuite, la sciure de bois (Figure 17C) a été collectée dans une scierie située au quartier Lobia de Daloa. Tous ces substrats ont été empaquetés dans de grands sacs de riz et transporté à l'aide d'un véhicule sur le site de l'expérimentation. Les balles de riz carbonisées (Figure 17D) ont été obtenues après un processus de carbonisation. En plus de ces substrats la terre a également été utilisée.



Figure 17 : Substrats pour la culture

A : Son de riz, B : Balle de riz, C : Sciure de bois, D : Balle de riz carbonisée

### 2.3. Fertilisants utilisés pour la culture

Les différents fertilisants utilisés pour la culture sont la fiente de poulets et l'engrais chimique NPK avec 10% d'azote, 18% de phosphore et 18% de potassium (Figure 18A et B). Cet engrais NPK (NPK 10. 18. 18) a été acheté dans une structure spécialisée au petit marché de Lobia (Daloa). La fiente de poulet a été achetée sur une ferme située à 300 mètres du bitume, en empruntant la route qui mène à Bédiala. Elle a été empaquetée dans de gros sac de riz et transportée sur le site expérimental à l'aide de tricycle.

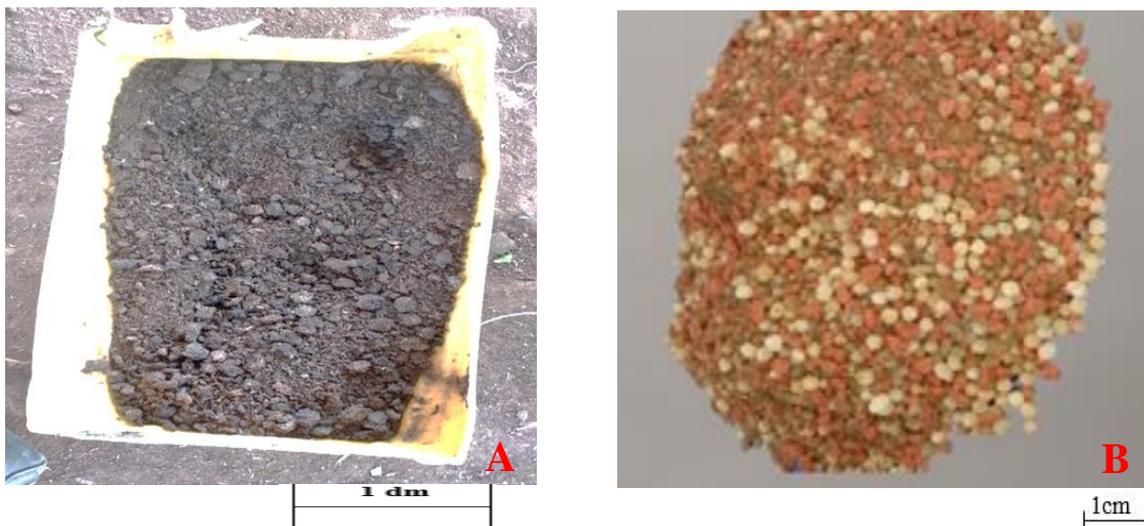


Figure 18 : Fertilisants utilisés

A : fiente de poulets ; B : Engrais chimique NPK (10-18-8)

### 2.4. Matériel technique

#### 2.4.1. Matériel pour la réalisation de la pépinière

Les outils qui ont été utilisés dans le cadre de la réalisation de la pépinière sont les suivants :

- une machette et une daba pour le défrichage ;
- des plaques alvéolées ( $30 \times 50 \times 3$  cm) possédant 104 cellules ( $3,5 \times 4,5 \times 2,5$  cm) dans lesquelles ont été semées les graines (Figure 19A) ;
- du ruban adhésif pour la fixation des étiquettes sur les plaques alvéolées (Figure 19B) ;
- des pailles pour servir d'ombrière pour les plantules de tomates ;
- du plastique sur lequel est posé les alvéoles pour les isoler du bois de la table ;
- des filets pour protéger les plants des insectes ;

- une balance analytique pour les différentes pesées.



Figure 19 : Quelques matériel technique pour la réalisation de la pépinière

A : Plaquettes alvéolées ; B : Ruban adhésif

#### **2.4.2. Matériel utilisé pour la réalisation des expériences en parcelle expérimentale**

Le matériel utilisé pour la réalisation de la culture hors sol est listé ci-dessous :

- des sachets de cultures (30 cm × 24 cm) qui ont été remplis de substrat ;
- du plastique pour séparer les sachets de cultures du sol ;
- des arrosoirs pour l'arrosage des plantes de tomates ;
- des cordes pour le tuteurage des plantes de tomate.

#### **2.4.3. Matériel utilisé pour la réalisation des tests biochimiques et hédoniques**

##### **2.4.3.1. Matériel utilisé pour la réalisation des tests biochimiques**

Le matériel technique utilisé est constitué de plusieurs élément qui ont permis la réalisation du test hédonique et des analyses biochimiques. Le matériel comprend :

- des creuset en aluminium pour le séchage des fruits à l'étuve ;
- un four à moufle (Nabertherm P330, Allemagne) pour la réalisation des cendres (Figure 20A) ;
- une étuve isothermique (Memmert, Allemagne) pour la détermination du taux d'humidité ;
- Soxhlet (réalisé en tube Pyrex France de 250 mL)
- des pipettes graduées pour le prélèvement des différents volumes de solution ;

## Matériel et méthodes

- une centrifugeuse (Sigma 1-15 PK-Gemini BV, Allemagne) les composants des différentes substances contenues dans une solution ;
- du papier aluminium pour protéger les différentes substances ;
- du papier essuie tout (Figure 20B) pour le nettoyage du lieu de manipulation.



Figure 20 : Quelques outils pour la réalisation du test hédonique et des tests biochimiques

A : Four à moufle Nabertherm (P330) ; B : Papier aluminium et pipette graduée

### 2.4.3.2. Matériel utilisé pour la réalisation des tests hédoniques

Le matériel technique utilisé pour la réalisation des tests hédoniques comprend :

- un couteau pour la découpe des tomates ;
- des assiettes jetables pour servir les morceaux de fruits de tomate ;
- du papier essuie tout pour le nettoyage des assiettes et des bancs ;
- des gobelets jetables pour servir des solutions de différents saveurs et/ou concentration.

### 2.2.3.3. Matériel utilisé pour la prise des différentes mesures

Le matériel pour la prise des différentes mesures comprend plusieurs outils dont :

- un bâton gradué pour la mesure des hauteurs des plantes (Figure 21A) ;
- un pied à coulisse pour la mesure du diamètre des plantes ;
- un pH-mètre (Eutech instrumest, pH 700, Singapore) pour la détermination du pH (Figure 21C) ;
- un réfractomètre à main (modèle RF232) pour la mesure du degré Brix (Figure 21C) ;

## Matériel et méthodes

- un spectrophotomètre (Ssley v-5800) pour les lectures de densité optique (Figure 21D) ;
- une balance (Ohaus) pour les différentes pesées (Figure 21B).

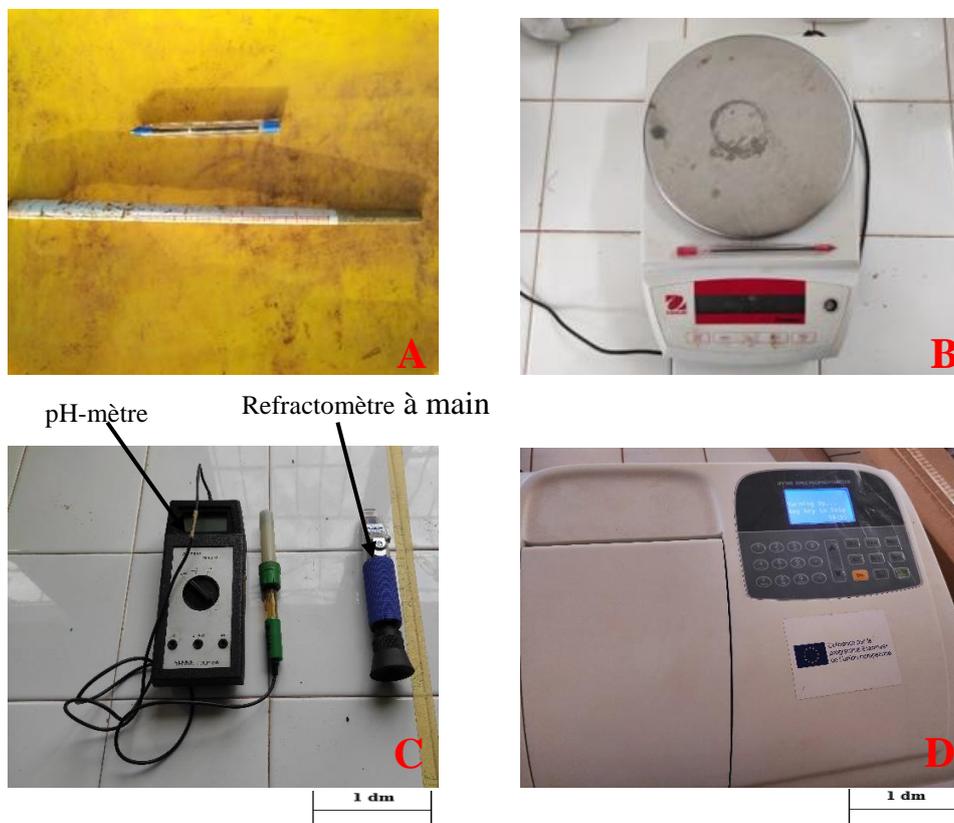


Figure 21 : Quelques outils de mesure

A : Bâton gradué pour la prise des mesures, B : Balance analytique Ohaus (PA2201) ; C : pH-mètre Hanna (HI8014) et refractomètre à main de marque ATAGO N- $\alpha$  (N-1 $\alpha$ , Brix 0-32, Japon) ; D : Spectrophotomètre UV / VIS de la marque Kalstein (UV 5800).

## **CHAPITRE 3 : Méthodes**

### **3.1. Préparation de la parcelle expérimentale**

La parcelle a été d'abord défrichée à la machette, puis à l'aide de daba pour obtenir une terre totalement nue pour faciliter la mise en place des différents dispositifs. Des bâches ont été posées sur la parcelle (Figure 22) pour éviter tout contact entre les sachets de culture hors sol et le sol.



Figure 22 : Disposition des bâches sur la parcelle

### **3.2. Processus de carbonisation de la balle de riz**

Le processus de carbonisation a consisté à brûler les balles de riz à l'aide d'un carbonisateur de sorte à les transformer en charbon de balles de riz ou balles de riz carbonisées. Le processus se déroule en plusieurs étapes ci-dessous énumérées :

#### **➤ Etape n°1 : Mise en flamme à l'air**

Cette étape a consisté à mettre en place un bruleur. Le bruleur a été composé de morceaux de bois sec disposés de façon conique (Figure 23A). Par la suite, des feuilles sèches ont été utilisées pour mettre le feu au bois. Il a fallu attendre 15 minutes pour que les bois soient bien enflammés avant de passer à la seconde étape.

#### **➤ Etape n°2 : Combustion à l'étouffée**

Au cours de cette deuxième étape, Il s'est agi tout d'abord de couvrir les bois en combustion avec un carboniseur. Le carbonisateur a été réalisé à l'aide d'une barique en fer vide ayant

auparavant contenu de l'huile. La base de la barique a été retirée afin de pouvoir la poser sur le bruleur. En partant de la base ouverte de la barique jusqu'au premier hémicycle, des trous de 3 cm de diamètre ont été réalisés. Les trous sont disposés à partir de 5 cm du bord ouvert de la barique sur 3 lignes horizontales espacées de 5 cm les unes des autres. Pour la première et la troisième ligne de trous, il y a 20 cm de distance entre les trous sur chacune de ces lignes. Quant à la deuxième ligne, il y a un trou tous les 10 cm sur cette ligne. Entre le deuxième et le troisième hémicycle (au milieu) de la barique, une ligne de trous horizontales a été réalisée. Ces trous sont des trous de 6 cm de diamètre, espacés de 15 cm. Deux cheminées ont été réalisées sur la partie supérieure de la barique, la première a un diamètre de 10 cm et une hauteur de 20 cm et la seconde a un diamètre de 6 cm et une hauteur de 50 cm.

Après avoir posé le carbonisateur sur le bruleur, les balles de riz ont été tassées autour de ce dernier afin de débiter leur carbonisation (Figure 23B). Il a fallu veiller à retourner régulièrement la balle de riz de sorte à mettre au contact du carbonisateur la balle non encore carbonisée. Verser de l'eau en cas d'apparition de flammes dans les balles de riz de sorte à ce que la carbonisation se fasse uniquement par la chaleur. Cette étape peut durer généralement 2 h à 2 h 30 min / sac de balle de riz (environ 15 à 20 Kg).

### ➤ Etape n°3 : Refroidissement

Après la combustion à l'étouffée, le charbon de balle de riz contient encore du feu qu'il a fallu éteindre par jet d'eau. Il faudra par la suite laisser refroidir les balles pendant 30 minutes avant de les collecter dans des sacs. Le taux de carbonisation est d'environ 50 % (Figure 23C). Les sacs de balle de riz carbonisée ont été conservés dans un lieu sec.



Figure 23 : Etape du processus de carbonisation d'un substrat

A : Bruleur ; B : Tas de balles de riz disposé autour d'un carbonisateur ; C : Balles de riz carbonisées

### **3.3. Identification des formulations ayant les meilleures caractéristiques de germination et de croissance des plants**

#### **3.3.1. Formulations des substrats de culture pour les tests préliminaires**

Nous avons deux groupes de formulations, les formulations non fertilisées et les formulations fertilisées. Dans le groupe des formulations non fertilisées, la terre, le son de riz, les balles de riz, les balles de riz carbonisées et la sciure de bois ont constitué chacune une formulation homogène. Ces différents substrats ont ensuite été associés deux à deux aux proportions de  $\frac{3}{4}$  et  $\frac{1}{4}$  ;  $\frac{1}{2}$  et  $\frac{1}{2}$  ;  $\frac{1}{4}$  et  $\frac{3}{4}$  (Tableau IV) pour former des formulations hétérogènes (Annexe 2). Nous avons donc dans le groupe des formulations non fertilisées des formulations homogènes et des formulations hétérogènes. Dans le groupe de formulations fertilisées, nous avons les mêmes formulations que dans le groupe des formulations non fertilisées mais ici elles sont associées à un fertilisant qui est soit la fiente de poulets soit le NPK 10-18-18. Dans le cas des fientes de poulets, 30 g de fiente ont été associées à la quasi-totalité des formulations fertilisées. Une dernière formulation fertilisée a été composée de terre à laquelle ont été ajoutée 5 g d'engrais minéral NPK (10-18-18), (Tableau IV).

Tableau IV : Substrats de culture formulés pour les tests en préliminaires

| Compositions des substrats formulés (formulations) ainsi que leurs codes d'identification |       |   |       |  |       |  |       |  |       |
|---|-------|---|-------|--|-------|--|-------|--|-------|
| Compositions des formulations   | Codes | Compositions des formulations           | Codes | Compositions des formulations            | Codes | Compositions des formulations            | Codes | Compositions des formulations            | Codes |
| Te  | F1    | $\frac{3}{4}$ so + $\frac{1}{4}$ sc     | F14   | $\frac{1}{2}$ so + $\frac{1}{2}$ sc + f  | F27   | $\frac{1}{4}$ ba + $\frac{3}{4}$ te      | F40   | $\frac{3}{4}$ sc + $\frac{1}{4}$ te      | F53   |
| Ba  | F2    | $\frac{1}{2}$ so + $\frac{1}{2}$ sc     | F15   | $\frac{1}{4}$ so + $\frac{3}{4}$ sc + f  | F28   | $\frac{3}{4}$ ba + $\frac{1}{4}$ sc + f  | F41   | $\frac{1}{2}$ sc + $\frac{1}{2}$ te      | F54   |
| Sc  | F3    | $\frac{1}{4}$ so + $\frac{3}{4}$ sc     | F16   | $\frac{3}{4}$ so + $\frac{1}{4}$ te + f  | F29   | $\frac{1}{2}$ ba + $\frac{1}{2}$ sc + f  | F42   | $\frac{1}{4}$ sc + $\frac{3}{4}$ te      | F55   |
| So  | F4    | $\frac{3}{4}$ so + $\frac{1}{4}$ te     | F17   | $\frac{1}{2}$ so + $\frac{1}{2}$ te + f  | F30   | $\frac{1}{4}$ ba + $\frac{3}{4}$ sc + f  | F43   | $\frac{3}{4}$ sc + $\frac{1}{4}$ bac     | F56   |
| Bac   | F5    | $\frac{1}{2}$ so + $\frac{1}{2}$ te     | F18   | $\frac{1}{4}$ so + $\frac{3}{4}$ te + f  | F31   | $\frac{3}{4}$ ba + $\frac{1}{4}$ te + f  | F44   | $\frac{1}{2}$ sc + $\frac{1}{2}$ bac     | F57   |
| te + f  | F6    | $\frac{1}{4}$ so + $\frac{3}{4}$ te     | F19   | $\frac{3}{4}$ so + $\frac{1}{4}$ bac + f | F32   | $\frac{1}{2}$ ba + $\frac{1}{2}$ te + f  | F45   | $\frac{1}{4}$ sc + $\frac{3}{4}$ bac     | F58   |
| ba + f  | F7    | $\frac{3}{4}$ so + $\frac{1}{4}$ bac    | F20   | $\frac{1}{2}$ so + $\frac{1}{2}$ bac + f | F33   | $\frac{1}{4}$ ba + $\frac{3}{4}$ te + f  | F46   | $\frac{3}{4}$ sc + $\frac{1}{4}$ te + f  | F59   |
| sc + f  | F8    | $\frac{1}{2}$ so + $\frac{1}{2}$ bac    | F21   | $\frac{1}{4}$ so + $\frac{3}{4}$ bac + f | F34   | $\frac{3}{4}$ bac + $\frac{1}{4}$ te     | F47   | $\frac{1}{2}$ sc + $\frac{1}{2}$ te + f  | F60   |
| so + f  | F9    | $\frac{1}{4}$ so + $\frac{3}{4}$ bac    | F22   | $\frac{3}{4}$ ba + $\frac{1}{4}$ sc      | F35   | $\frac{1}{2}$ bac + $\frac{1}{2}$ te     | F48   | $\frac{1}{4}$ sc + $\frac{3}{4}$ te + f  | F61   |
| bac + f   | F10   | $\frac{3}{4}$ so + $\frac{1}{4}$ ba + f | F23   | $\frac{1}{2}$ ba + $\frac{1}{2}$ sc      | F36   | $\frac{1}{4}$ bac + $\frac{3}{4}$ te     | F49   | $\frac{3}{4}$ sc + $\frac{1}{4}$ bac + f | F62   |
| $\frac{3}{4}$ so + $\frac{1}{4}$ ba   | F11   | $\frac{1}{2}$ so + $\frac{1}{2}$ ba + f | F24   | $\frac{1}{4}$ ba + $\frac{3}{4}$ sc      | F37   | $\frac{3}{4}$ bac + $\frac{1}{4}$ te + f | F50   | $\frac{1}{2}$ sc + $\frac{1}{2}$ bac + f | F63   |
| $\frac{1}{2}$ so + $\frac{1}{2}$ ba   | F12   | $\frac{1}{4}$ so + $\frac{3}{4}$ ba + f | F25   | $\frac{3}{4}$ ba + $\frac{1}{4}$ te      | F38   | $\frac{1}{2}$ bac + $\frac{1}{2}$ te + f | F51   | $\frac{1}{4}$ sc + $\frac{3}{4}$ bac + f | F64   |
| $\frac{1}{4}$ so + $\frac{3}{4}$ ba   | F13   | $\frac{3}{4}$ so + $\frac{1}{4}$ sc + f | F26   | $\frac{1}{2}$ ba + $\frac{1}{2}$ te      | F39   | $\frac{1}{4}$ bac + $\frac{3}{4}$ te + f | F52   | 100% te + NPK                            | F65   |

sc : sciure de bois ; ba : balle de riz ; bac : balle de riz carbonisée ; so : son de riz ; te : terre ; f : fiente de poulet ; F : formulation

### 3.3.2. Dispositif expérimental

Les tests préliminaires ont consisté à la réalisation d'une pépinière qui a été répétée 3 fois pour limiter les erreurs. En effet, elle a été réalisée au cours de l'année 2018. Chacune des 65 formulations de substrats a servi à remplir deux lignes consécutives de cellule (Figure 24A). L'expérimentation a été réalisée dans 10 plaquettes alvéolées (30 × 50 × 3 cm) contenant chacune 104 alvéoles (Figure 24B). Les substrats ont été disposés dans un ordre précis (les formulations constituées de substrats identiques en proportion différente sont consécutives).

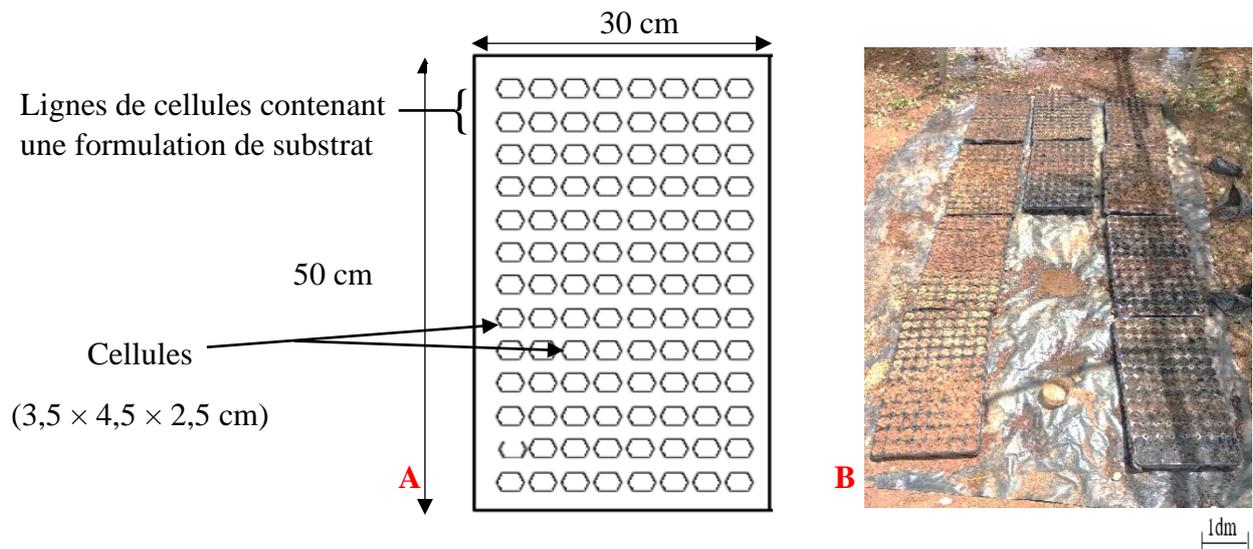


Figure 24 : Disposition des substrats dans les plaquettes alvéolées

A : Alvéole montrant la disposition d'une formulation de substrat ; B : Disposition des alvéoles sur la parcelle

### 3.3.3. Mise en œuvre

#### ➤ Semis

Le semis a été réalisé dans des plaques alvéolées contenant chacune des formulations de substrat. Les graines ont été semées à une profondeur de 1 cm dans chaque alvéole (une graine par cellule) contenant une formulation de substrat. Seize graines ont donc été semées pour chacune des 65 formulations, d'où 1040 graines ont été semées.

#### ➤ Entretien

Les plants en pépinière ont été protégés contre les insectes et autres ravageurs à l'aide d'un filet protecteur (moustiquaire non imprégnée), (Figure 25). De plus, les planches de pépinières ont été couvertes à l'aide de feuilles de palmier à huile pendant environ 15 jours pour que les plants

soient assez forts pour résister à l'ensoleillement (Figure 25). Les feuilles de palme qui constitue une ombrière pour les plantes ont alors été progressivement enlevées au cours de la deuxième semaine après le semis pour réduire l'ombrage. Cela a permis aux plants de croître normalement et de s'adapter au soleil avant le repiquage. Durant la durée (3 semaines) de l'expérience, les plants ont été arrosés tous les matins.

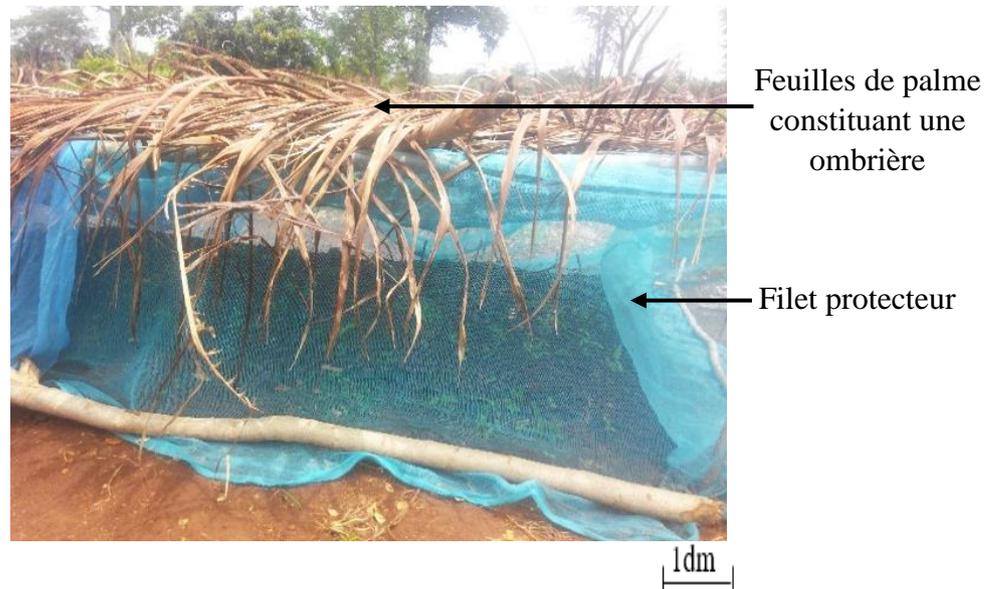


Figure 25 : Filet de protection et ombrière de la pépinière de tomate

### **3.4. Culture des plantes sur les formulations sélectionnées au cours des tests préliminaires**

#### **3.4.1. Pépinière**

##### **3.4.1.1. Réalisation des formulations des substrats sélectionnées**

L'expérience a été réalisée avec deux substrats que sont la terre et les balles de riz carbonisées. Ces deux substrats ont été sélectionnés dans cette deuxième phase car ils ont donné les meilleurs résultats à la suite des tests préliminaires en pépinières. Ces substrats ont été utilisés deux à deux aux proportions de  $\frac{3}{4}$  et  $\frac{1}{4}$  ;  $\frac{1}{2}$  et  $\frac{1}{2}$  ;  $\frac{1}{4}$  et  $\frac{3}{4}$  pour former des formulations hétérogènes en plus des formulations 100% terre et 100% balle. A ces différentes formulations, ont été associées comme lors de la première partie des travaux 30g de fiente de poulets pour les formulations devant en contenir et 5g NPK 10. 18. 18 pour la formulation 65 (Tableau V).

Tableau V : Formulations de substrats réalisées à l'issue des tests préliminaires

| Codes substrats | Formulations correspondantes | Codes substrats | Formulations correspondantes |
|-----------------|------------------------------|-----------------|------------------------------|
| <b>F1</b>       | te                           | <b>F48</b>      | ½ bac + 1/2 te               |
| <b>F5</b>       | Bac                          | <b>F49</b>      | ¼ bac + ¾ te                 |
| <b>F6</b>       | te + f                       | <b>F50</b>      | ¾ bac + ¼ te + f             |
| <b>F10</b>      | bac + f                      | <b>F51</b>      | ½ bac + ½ te + f             |
| <b>F47</b>      | ¾ bac + 1/4 te               | <b>F52</b>      | ¼ bac + ¾ te + f             |
| <b>F65</b>      | te + NPK                     |                 |                              |

F : formulation ; te : terre ; bac : balles de riz carbonisées et f : fiente de poulets

### 3.4.1.2. Déroulement de l'expérience en pépinière

#### ➤ Semis

Le semis se fera dans des alvéoles contenant chacune une formulation de substrat. 30 g de fiente de poulets ont été ajoutés à chacune des formulations devant en contenir. Le semis a été réalisé pour la première fois en Mai 2020, la seconde en Juillet 2021 et la troisième de mi-août à mi-septembre 2021 pour chacun des trois essais. Il a fallu semer 2 graines par alvéole dans le substrat à une profondeur de 1 cm. Nous aurons 96 graines par substrat pour chacune des 3 répétitions. Le démariage à un plant a eu lieu 10 jours après le semis.

#### ➤ Entretien

Les plants sont protégés contre les insectes et autres ravageurs à l'aide de filets. Pendant la période de pépinière (3 semaines), les plants ont été arrosés tous les matins. Il y a eu un apport de 30 g de fiente de poulets en poudre pour chaque formulation de substrat fertilisée au démariage et une semaine après le démariage. Pour la formulation comprenant du NPK ; 5 g ont été apportés au démariage et une semaine après le démariage.

### 3.4.2. Culture en parcelle expérimentale

#### 3.4.2.1. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental a été un dispositif en bloc aléatoire entièrement randomisé (Figure 26). Ce dispositif permet de comparer tous les traitements comportant un même nombre de répétitions. Dans notre cas, Les parcelles sont distribuées totalement au hasard sur le terrain et sont représentées par une ligne de dix sachets hors sol disposés dans le sens de la largeur et contenant une même formulation. Les plants sont séparés de 0.4 m sur la même ligne dans le

## Matériel et Méthodes

sens de largeur et de 0,7 m entre deux lignes de plants dans le sens de la longueur. Chaque groupe de 10 plantes est répété 4 fois pour chaque formulation. Cela donne en tout 40 plantes pour chaque formulation soit un total de 440 plantes pour les 11 formulations de substrat.

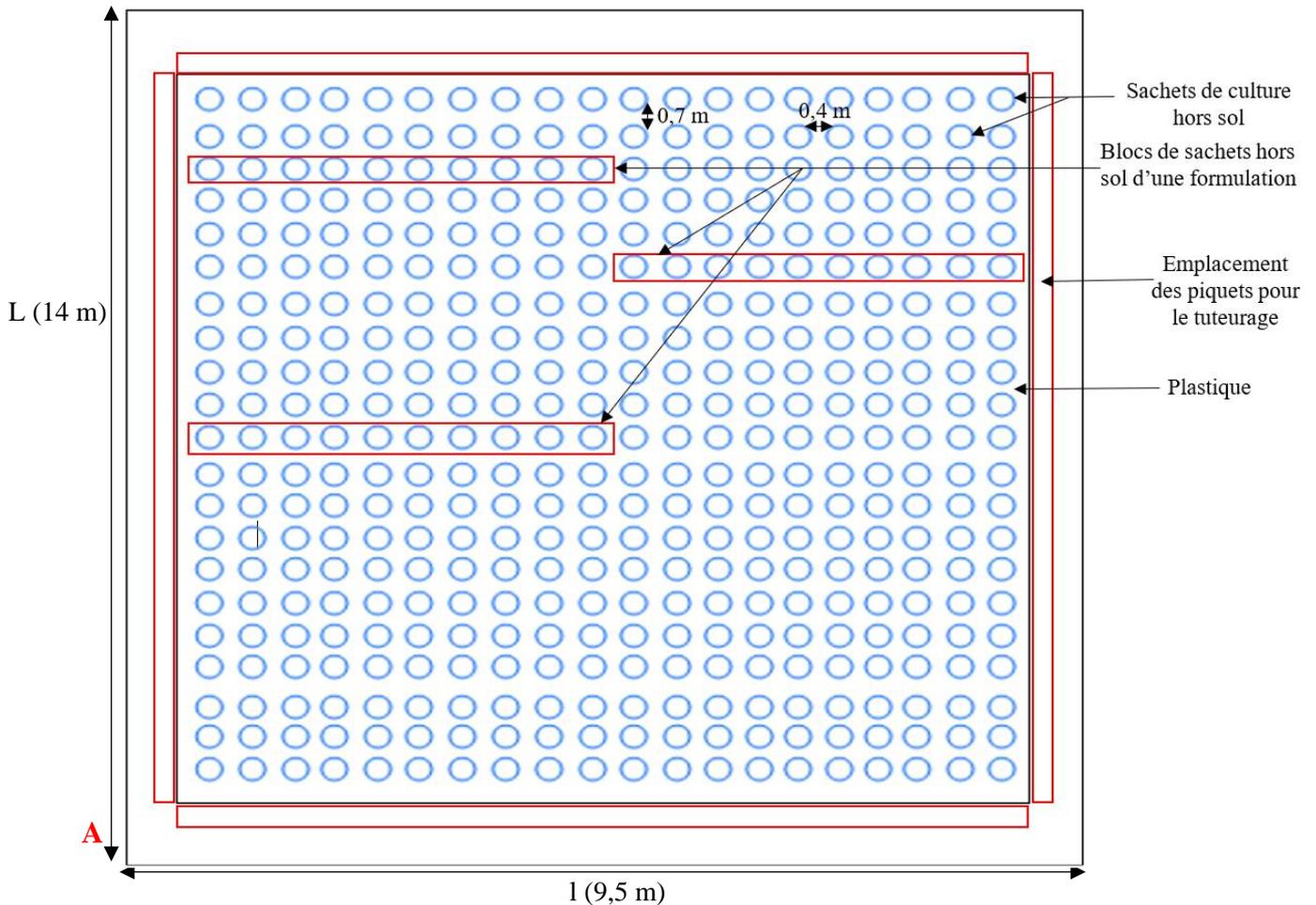


Figure 26 : Dispositif expérimental

A : Schéma du dispositif expérimental, B : Photo du dispositif expérimental

### 3.4.2.2. Réalisation des formulations de substrats pour la culture en parcelle expérimentale

La terre et les balles de riz carbonisées ont été utilisées pour la réalisation des formulations pour la culture hors sol. Deux groupes de formulations ont été réalisés. Pour le groupe des formulations non fertilisées, les substrats précédemment cités ont été utilisés seuls pour la réalisation de formulations homogènes, puis deux à deux aux proportions de  $\frac{3}{4}$  et  $\frac{1}{4}$  ;  $\frac{1}{2}$  et  $\frac{1}{2}$  ;  $\frac{1}{4}$  et  $\frac{3}{4}$  pour former des formulations hétérogènes. Le groupe des formulations non fertilisées contenait donc des formulations homogènes et des formulations hétérogènes. Le groupe des formulations fertilisées à quant à lui été composé des mêmes formulations que le groupe des formulations non fertilisées avec cependant un apport de fiente de poulets ou de NPK (Tableau VI). 1600g de fiente de poulets ont été apportés aux formulations fertilisées avec la fiente de poulets et 376 g de NPK (10-18-18) + 300 g de sulfate de potassium ont été apportés à la formulation fertilisée avec le NPK. Pour chacune des formulations, nous aurons 40 sachets (30 cm × 24 cm) de culture hors sol.

Tableau VI : Formulations de substrats utilisées en parcelle expérimentale

| Codes substrats | Formulations correspondantes         | Codes substrats | Formulations correspondantes             |
|-----------------|--------------------------------------|-----------------|--|
| <b>F1</b>       | Te                                   | <b>F48</b>      | $\frac{1}{2}$ bac + $\frac{1}{2}$ te     |
| <b>F5</b>       | Bac                                  | <b>F49</b>      | $\frac{1}{4}$ bac + $\frac{3}{4}$ te     |
| <b>F6</b>       | te + f                               | <b>F50</b>      | $\frac{3}{4}$ bac + $\frac{1}{4}$ te + f |
| <b>F10</b>      | bac + f                              | <b>F51</b>      | $\frac{1}{2}$ bac + $\frac{1}{2}$ te + f |
| <b>F47</b>      | $\frac{3}{4}$ bac + $\frac{1}{4}$ te | <b>F52</b>      | $\frac{1}{4}$ bac + $\frac{3}{4}$ te + f |
| <b>F65</b>      | te +NPK                              |                 |  |

F : formulation ; te : terre, bac : balles de riz carbonisées et f : fiente de poulets

### 3.4.2.3. Déroulement de l'expérimentation en parcelle expérimentale

#### ➤ Repiquage

Les plants ont été repiqués le 22<sup>em</sup> jour après avoir passé un séjour de 21 jours en pépinière (Fondio *et al.*, 2019). Dans chaque sachet de culture, un trou a été creusé et une seule plantule y a été repiquée. Les plants ont ensuite été retirés dans cellules des plaques alvéolées par une légère pression au bas de la cellule. Chaque plant a été repiquée sur un substrat ayant la même composition que le substrat sur lequel il s'est développé en pépinière. Le repiquage s'est fait au coucher du soleil après une bonne irrigation des substrats. Ce moment est choisi pour donner

un temps plus long aux racines des plants de s'adapter au nouveau milieu de vie avant l'apparition du soleil le lendemain.

➤ **Fertilisation**

La fertilisation a été réalisée en utilisant de la fiente de poulet ou du NPK 10-18-18. En effet, 1600g de fiente de poulets ont été apportés en hors sol pour les 40 plants (35 principaux plants et les 5 plants de rechange) de chacune des formulations fertilisées avec la fiente. Pour la formulation composée de terre et fertilisée avec du NPK, 300g de NPK 10-18-18 ont été apportées lors de chaque fertilisation. Pour les fertilisations au 20<sup>ème</sup> et 35<sup>ème</sup> jour après le repiquage (repiquage + 20 jours et repiquage + 35 jours), 300 g de sulfate de potassium + 75 g d'urée ont été apportés au substrat (Fondio *et al.*, 2019) en plus des 300g de NPK habituel. Tous les apports ont été réalisés aux dates suivantes :

- repiquage + 20 jours ;
- repiquage + 35 jours ;
- repiquage + 50 jours ;
- repiquage + 65 jours (RADHORT, 2012).

➤ **Entretien**

L'entretien de la parcelle a consisté à l'arrosage des plants, au sarclage, à l'effeuillage et au tuteurage.

• **Arrosage et sarclage**

L'arrosage des plants de tomates s'est fait les matins entre 6 h et 7 h 30 min tous les 2 jours jusqu'à la fin du cycle de production. L'arrosage de chaque plant a été réalisé en tenant compte de la capacité d'absorption du substrat et en évitant au maximum le lessivage. Le sarclage quant à lui était régulier et concernait surtout les alentours de la parcelle pour essayer de limiter les transferts de maladie des plantes environnantes aux plantes de tomate.

- **Effeuillement de la plante**

L'effeuillage consiste à éliminer les feuilles qui touchent le sol ainsi que les feuilles malades, jaunies et anciennes qui ne sont plus utiles à la plante. L'effeuillage a débuté dès que les premières feuilles ont jauni, ce qui a permis une meilleure aération de la plante ainsi que la limitation du développement et de la propagation des maladies.

- **Tuteurage**

Dans cette étude, le tuteurage a été réalisé 3 semaines après le repiquage à l'aide de fils bleus attachés à la base des tiges principales et enroulant cette tige jusqu'à son sommet (Figure 27). Ces fils bleus disposés verticalement sont reliés à des fils horizontaux qui leur servent de supports.



Figure 27 : Tuteurage des plants de tomates

#### **3.4.2.4. Itinéraires des traitements phytosanitaires en parcelle expérimentale**

L'itinéraire des traitements phytosanitaires est une adaptation de celui utilisé pour la production de tomate au Sénégal (RADHORT, 2012), (Tableau VII). Il a permis une culture de la tomate plus aisée tout au long des travaux en contribuant significativement à protéger les plants et les fruits de tomates contre les diverses attaques des champignons, bactéries et des insectes.

Tableau VII : Itinéraire des traitements phytosanitaires  
(Source : RADHORT, 2012)

| Délais de traitement après repiquage | Noms du produit    | Principes actifs                  | Type        |
|--------------------------------------|--------------------|-----------------------------------|-------------|
| <b>Repiquage</b>                     | Vytal              | Carbamate                         | Nématicide  |
| <b>7 jours après repiquage</b>       | Sauveur 62 EC      | Néonicotinoïdes + pyréthri-noïdes | Insecticide |
|                                      | Ivory 80 WP        | Dithiocarbamates                  | Fongicide   |
| <b>17 jours après repiquage</b>      | Viper 46 EC        | Néonicotinoïdes + oxadiazines     | Insecticide |
|                                      | Callicuivre 50 WP  | Oxychlorure de cuivre             | Fongicide   |
| <b>29 jours après Repiquage</b>      | Décis forte 100 EC | Deltametrine                      | Insecticide |
|                                      | Banko D            | Chloronitriles + triazoles        | Fongicide   |
| <b>40 jours après repiquage</b>      | Sauveur 62 EC      | Néonicotinoïdes + pyréthri-noïdes | Insecticide |
|                                      | Ivory 80 WP        | Dithiocarbamates                  | Fongicide   |
| <b>53 jours après repiquage</b>      | Viper 46 EC        | Néonicotinoïdes + oxadiazines     | Insecticide |
|                                      | Callicuivre 50WP   | Oxychlorure de cuivre             | Fongicide   |
| <b>63 jours après repiquage</b>      | Sauveur 62 EC      | Néonicotino Chloronitriles +      | Insecticide |
|                                      | Banko D            | triazoles ides + pyréthri-noïdes  | Fongicide   |

### 3.4.3. Mesure des paramètres en pépinière et en parcelle expérimentale

Les paramètres mesurés comprenaient les paramètres de germination (taux de germination, vitesse de germination et de germination), de croissance (la vitesse de croissance, le nombre de feuille, la couleur des feuilles, la longueur des tiges) et par la détermination du rendement.

#### 3.4.3.1. Evaluation des paramètres de germination des graines de tomate

Les semis émergeront après 6 à 8 jours (Diane, 2004). Les paramètres de germination ont été mesurés sur les dix premiers jours de la phase pépinière.

##### ➤ Détermination du taux de germination

Le taux de germination (Tg) constitue le meilleur moyen d'identification des conditions optimale de germination. Il exprime en pourcentage le rapport entre le nombre de graines germées (Nbg) pendant les 10 premiers jours après le semis et le nombre total de graines semées (Nbt), (Al-Maskri *et al.*, 2003).

$$Tg = (Nbg/Nbt) \times 100 \quad (1)$$

➤ **Détermination de la vitesse de germination**

La vitesse de germination (ViGe) exprimée en plantules par jour a été déterminée à l'aide de la formule (2) ci-dessous. Du 1<sup>er</sup> au 10<sup>ème</sup> jour après le semis, le nombre (ni) de graines germées chaque jour (ji) depuis le semis a été déterminés. La vitesse de germination (ViGe) est égale à la somme des rapports entre le nombre (ni) de graines germées au jour (ji) écoulés après le semis (Al-Maskri et al., 2003).

$$ViGe = \sum_1^{10} \frac{ni}{ji} \quad (2)$$

**3.4.3.2. Evaluation des paramètres de croissance des plantes de tomate**

Les paramètres de croissance nous ont renseigné sur l'état des plants au cours des trois semaines de pépinière. Ils ont également permis d'étudier l'évolution des plantes en hors sol pendant 70 jours après le repiquage.

➤ **Détermination de la hauteur moyenne des tiges des plantes**

La hauteur des tiges principale des plantes a été mesurée à l'aide d'une règle graduée en centimètre (Figure 28, Annexe 3). Cette hauteur est comprise entre la base du plant (collet) et le dernier nœud portant le bourgeon apical. La hauteur moyenne (Hmt) des tiges des plantes pour une formulation donnée a été déterminée à l'aide de formule 3. Elle est égale au quotient de la somme de toutes les hauteurs de tige des plantes d'une formulation donnée divisé par le nombre de plantes de cette formulation. Ce paramètre a été mesuré à la fois en pépinière et en culture hors sol.

$$Hmt = \frac{\Sigma Hp}{Np} \quad (3)$$



Règle ayant servi à la mesure de la hauteur

Figure 28 : Mesure de la hauteur de la tige d'une plante de tomate à l'aide d'une règle

➤ **Diamètre moyen des tiges des plantes**

Le Diamètre des plants est mesuré à l'aide d'un pied à coulisse à 5 cm de hauteur. Cependant pour les plants mesurant moins de 5 cm, le diamètre de ses plants a été mesuré juste en dessous des deux feuilles cotylédonaires. Le diamètre moyen des plants ( $Dmp$ ) en fonction des formulations de substrat a été déterminé. Il est égal à la somme des diamètres de tous les plants ( $\Sigma Dp$ ) d'une formulation divisée par le nombre de plants ( $Np$ ) de cette formulation. Ce paramètre a été mesuré uniquement en culture hors sol.

$$Dmp = \Sigma Dp / Np \quad (4)$$

➤ **Détermination du nombre moyen de feuilles des plantes**

Le nombre moyen de feuilles par plante en fonction des formulations de substrat a été déterminé à la fois en pépinière et en culture hors sol. Le nombre de feuille a été déterminé du 12<sup>em</sup> au 21<sup>em</sup> jour en ce qui concerne la pépinière et tous les 10 jours (du 10<sup>em</sup> au 70<sup>em</sup> jour) après le repiquage. Le décompte des feuilles n'a pas pris en compte les feuilles cotylédonaires. Le nombre moyen de feuilles par plante ( $Nmf$ ) pour une formulation donnée est le quotient de la somme des nombres de feuilles de toutes les plantes ( $\Sigma Nf$ ) d'une formulation donnée divisée par le nombre total de plantes ( $Np$ ) composant cette formulation.

$$Nmf = \frac{\Sigma Nf}{Np} \quad (5)$$

➤ **Evaluation de la couleur des feuilles des plantes**

La couleur des feuilles a été déterminé du 12<sup>em</sup> au 21<sup>em</sup> jour en ce qui concerne la pépinière et tous les 10 jours (du 10<sup>em</sup> au 70<sup>em</sup> jour) après le repiquage. La couleur des feuilles a été apprécié à travers une échelle faisant correspondre les principales couleurs de la plante à un nombre variant de 1 à 5 (Tableau VIII). Cette méthode est une adaptation de celle de Charrier en (1983) utilisée pour la description des fruits et des fleurs du gombo. La couleur des feuilles traduit l'intensité de l'activité photosynthétique de la plante.

Tableau VIII : Codage de la couleur des feuilles de tomate

| Coloration de la feuille          | Appréciation visuelle de la couleur   | Code d'identification de la couleur |
|-----------------------------------|---|-------------------------------------|
| <b>Jaune</b>                      |   | <b>1</b>                            |
| <b>Verte et moyennement jaune</b> |  | <b>2</b>                            |
| <b>Verte et légèrement jaune</b>  |  | <b>3</b>                            |
| <b>Vert clair</b>                 |  | <b>4</b>                            |
| <b>Vert foncé</b>                 |  | <b>5</b>                            |

### 3.4.3.3. Evaluation du taux de mortalité des plantes

Le taux de mortalité des plantes de chacune des formulations a été déterminé en faisant le rapport multiplié par cent du nombre de plants morts sur le nombre de plants encore en vie.

### 3.4.3.4. Composantes du rendement

#### ➤ Détermination des dates de floraison des plantes

Les dates d'apparition des fleurs sur les plantes de chaque formulation ont été déterminées. Les différentes dates ont permis de connaître la durée (en jour après repiquage) nécessaire à l'apparition des fleurs sur les premières plantes et celle nécessaire à l'apparition des fleurs sur 50% des plantes (Kotaix *et al.*, 2013).

#### ➤ Détermination des dates de fructification des plantes

La date du premier fruit apparaissant sur une plante de tomate d'une formulation donnée a été déterminée. Ensuite une seconde date correspondant à la fructification de 50% des plantes a été notée. Les différentes dates ont permis de connaître la durée (en jour après repiquage) nécessaire à l'apparition des premiers fruits et celui nécessaire à la fructification de 50% des plantes (Kotaix *et al.*, 2013).

#### ➤ Evaluation de la production

Les fruits ont été récoltés de préférence au stade mature. En effet, la coloration des fruits est étroitement liée à son niveau de maturation. A chaque récolte, les fruits ont été récoltés lorsqu'elles étaient totalement rouges. Le rendement (Rdt) des plantes de tomate d'une formulation donnée a été déterminé en divisant la masse totale des fruits de tomate de toutes les plantes de cette formulation par le nombre de plantes (Nbpl) de cette formulation. Le rendement obtenu n'est pas forcément optimal pour la variété utilisée et dépend des conditions expérimentales.

$$\text{Rdt (g / plante)} = \text{masse totale des fruits de toute les plantes} / \text{nombre de} \quad (6)$$

Rdt : rendement moyen d'une plante en g/plante

$$\text{Nbpl} = S / (L \times l) \quad (7)$$

Nbpl : nombre de plantes par unité de surface

S : surface cultivée

L : espacement entre deux lignes de plantes

l : espace entre deux plantes sur la même ligne

Pour une formulation donnée, le rendement moyen par unité de surface est le produit du rendement moyen d'une plante par la densité de plantation (nombre de plantes par unité de surface). Il est important de souligner qu'en fonction de l'espacement entre les lignes, cette densité de plantation varie. La densité de plantation utilisée au cours de l'étude (D) est de  $0,4 \text{ m} \times 0,7 \text{ m}$  soit 35714 plantes/ha.

$$\boxed{\text{Rdt} / \text{ha} = D \times \text{Production moyenne d'un plant}} \quad (8)$$

ha : hectare

Rdt / ha : Rendement moyen par hectare

#### ➤ **Calibre des fruits**

Le calibre des fruits est déterminé à partir de la mesure de son diamètre à l'aide d'un pied à coulisse digital. La classification des fruits dans les différents calibres s'est faite par une adaptation de la méthode de calibrage des fruits et légume selon le règlement (Union Européenne) N°543/2011 du 7 juin 2011 modifié par le règlement délégué N°2019/428 (UE, 2019), (Tableau IX).

Tableau IIX : Calibre des fruits de tomate en fonction du diamètre

| Code calibre du fruit | Diamètre du fruit | Code calibre adapté     |
|-----------------------|-------------------|-------------------------|
| <b>0</b>              | ≤ 20 mm           | Petit fruit             |
| <b>1</b>              | 20 à 25 mm        | Petit fruit             |
| <b>2</b>              | 25 à 30 mm        | Petit fruit             |
| <b>3</b>              | 30 à 35 mm        | Petit fruit             |
| <b>4</b>              | 35 à 40 mm        | Petit fruit             |
| <b>5</b>              | 40 à 47 mm        | Fruit de taille moyenne |
| <b>6</b>              | 47 à 57 mm        | Fruit de taille moyenne |
| <b>7</b>              | 57 à 67 mm        | Fruit de taille moyenne |
| <b>8</b>              | 67 à 82 mm        | Fruit de grande taille  |
| <b>9</b>              | 82 à 102 mm       | Fruit de grande taille  |
| <b>10</b>             | >102 mm           | Fruit de grande taille  |

➤ **Détermination de la durée de production des plantes**

La date de la 1<sup>ère</sup> récolte (D1r) représente le nombre de jours qui se sont écoulés du repiquage au jour où s'est faite la première récolte des fruits. De même, la date de dernière récolte (Dnr) représente le nombre de jours qui se sont écoulés du repiquage au jour où s'est faite la dernière récolte de fruits matures. Ces deux dates sont exprimées en jours après repiquage (JAR). Le nombre de jours qui s'écoule entre la date de la première récolte et celle de la dernière récolte donne la durée de production (Dp) en nombre de jours après repiquage.

$$Dp = Dnr - D1r \quad (9)$$

➤ **Détermination de la durée de conservation des fruits**

Plusieurs fruits de tomate de chacune des formulations ont été récoltés (lorsqu'ils étaient bien rouges) le même jour et conservés pendant une durée de 5 semaines. Il faut aussi préciser que les fruits ont été récoltés au stade de maturation complète (fruits rouges) car pour révéler toutes leurs qualités organoleptiques, certaines variétés doivent être récoltées à maturité (Simon & Minatchy, 2009). Les fruits sains où en bon état sont des fruits sans dommage visible. Ils ont été posés sur dans des plaquettes à l'intérieur d'une maison (Figure 29) à une température moyenne de 28,33°C (moyenne des températures des mois de Septembre 2020, Novembre 2021 et Décembre 2021). L'évolution de l'état des fruits de tomate des différentes formulations a

donc été observée au cours du temps écoulé après leur récolte jusqu'à leur pourrissement à travers plusieurs tests de conservation.



Figure 29 : Fruits de tomate disposés pour le test de conservation

### **3.5. Détermination des caractéristiques biochimiques et organoleptiques des fruits de tomate**

#### **3.5.1. Détermination des caractéristiques physico-chimiques des fruits de tomate**

La détermination des caractéristiques biochimiques des fruits de tomate produits a été réalisée sur les fruits de certaines formulations. Ces formulations sont les formulations ayant obtenu dans l'ensemble les meilleurs caractéristiques (germination, paramètres de croissance et rendements) auxquelles a été ajoutée une formulation témoin. Il s'agit des formulations F6, F50, F51, F52 et de la formulation F1 qui est le témoin.

##### **➤ Détermination de la teneur en eau**

La méthode utilisée est celle proposée par l'AOAC (1990) dont le principe repose sur la perte de masse de l'échantillon après séchage à  $105 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$  pendant 24 heures. A cet effet, une quantité de 5 g des fruits de tomate a été pesée à l'aide d'une balance de précision dans un creuset de masse connue ( $M_0$ ). L'ensemble (creuset + échantillon) de masse ( $M_1$ ) a été conservé à  $105 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$  dans une étuve isothermique (Annexe 4) pendant 24 heures. Après refroidissement au dessiccateur le creuset a été à nouveau pesé ( $M_2$ ). L'opération a été répétée jusqu'à l'obtention d'un poids constant. La teneur en eau a été déterminée à partir de la formule suivante :

$$\text{Teneur en eau} = \frac{M_1 - M_2}{PE} \times 100 \quad (10)$$

$M_1$  : Masse du creuset + masse de l'échantillon (en g) ;

$M_2$  : Masse de l'ensemble après étuvage (en g) ;

PE : Masse de l'échantillon (en g).

➤ **Détermination de la teneur en cendres**

La méthode utilisée est celle du four à moufle (AOAC, 1990). Les cendres sont obtenues après calcination de l'échantillon. Le creuset vide ( $M_0$ ) et 5 g de tomate en poudre provenant de chacune des formulations ont été pesés. Puis les creusets contenant les différents échantillons ont été mis au four à moufle à 550 °C pendant 12 h pour incinérer la matière organique. Après l'incinération, les creusets contenant les cendres ont été refroidies au dessiccateur et pesés ( $M_1$ ). Le pourcentage de cendre s'obtient à l'aide de la formule 12 ci-dessous.

$$\% C = \frac{M_1 - M_0}{P_e} \times 100 \quad (11)$$

% C : Taux de cendres

$P_e$  : Masse de l'échantillon (g)

➤ **Détermination du taux de matière grasse selon la méthode Folch *et al.* (1957)**

Les fruits de tomate des différentes formulations ont été découpés en morceau (chaque tomate est découpée en 4 morceaux). Nous avons par la suite utilisé un mixeur de cuisine pour transformer les morceaux de tomates en une purée fine. Cela a permis d'augmenter la surface de contact entre les tomates et le solvant, améliorant ainsi l'efficacité de l'extraction. Ensuite, 50g de purée de tomate ont été mélangés avec 200 mL chloroforme et 100 mL méthanol dans un mixeur pendant 2 minutes. Le mélange a été ensuite filtré sous aspiration et sous azote sur un verre fritté n°3. On a ajouté environ 200 mL de mélange de solvant chloroforme : méthanol (2 :1, v : v) sur le résidu pour nous assurer de l'extraction de la totalité des lipides. Le filtrat a été transféré dans une ampoule à décanter avec un ajout de 0,2 volume de solution de NaCl à 0,7%. Après séparation de deux phases, la phase inférieure est récupérée dans un ballon taré, puis le solvant a été évaporé par chauffage sous azote à 50°C pour obtenir la masse de lipides (Moyenne de trois répétitions). Le résultat est exprimé en pourcentage (%) de purée de tomate.

➤ **Détermination de l'acidité titrable et du pH selon la méthode Dufour *et al.* (1996)**

Une quantité de 20 g de tomate a été broyée et délayée dans 200 ml d'eau distillée formant une solution de suspension 10 % (m/v). Cette suspension a été mélangée à l'aide d'un vortex pendant 30 minutes et centrifugée à 6000 tr/min, pendant 15 minutes. Le pH a été directement mesuré sur le surnageant recueilli au moyen d'un pH-mètre. L'acidité titrable a été déterminée, à partir d'un volume de 50 ml du surnageant précédemment obtenu, par titrage d'une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH 0,1N) en présence de phénolphaléine (1% dans l'éthanol). La formule suivante a été utilisée pour l'expression des résultats.

$$\boxed{A.T. \left( \frac{m\acute{e}q}{100g} \right) = \frac{N_b \times V_b \times V_d \times 100}{V_e \times PE}} \quad (12)$$

$V_b$  : Volume de soude versé (ml) ;

$N_b$  : Normalité de soude (0,1 N) ;

$V_d$  : Volume du diluant ou eau distillée (ml) ;

$V_e$  : Volume de l'essai (ml)

PE : Masse de l'échantillon (5 g)

A.T. : Acidité titrable

➤ **Détermination du degré Brix (°Brix) et de l'indice de réfraction**

Pour l'analyse, quelques gouttes du jus de tomate ont été déposées sur le prisme fixe d'un réfractomètre à main de marque ATAGO N- $\alpha$  (N-1 $\alpha$ , Brix 0-32, JAPAN) pour la lecture de l'indice de réfraction contre une source lumineuse. La concentration de matière soluble mesurée à 20 °C par l'indice de réfraction au moyen du réfractomètre, est ensuite exprimée en pourcentage selon la méthode normalisée NA 5669 (ISO 2176, 2003). Cette méthode est basée sur la mesure de l'indice de réfraction d'une solution aqueuse contenant des matières sèches solubles. Le degré Brix est exprimé en pourcentage en masse (g/100 g), (Kouamé, 2020).

➤ **Détermination de la teneur en lycopène selon la méthode Grolier *et al.* (2000)**

Le dosage du lycopène donne une indication sur un critère de qualité de la tomate qui est la couleur. La détermination du taux de lycopène a été réalisée à l'aide d'un spectrophotomètre à 502 nm (Grolier, 1999 ; Grolier *et al.*, 2000). A cet effet, une quantité de 10 grammes des fruits

de tomate issus des différents traitements a été broyée dans un volume de 10 ml d'eau distillée. Après filtration du broyat sur du papier filtre, un volume de 1 ml du jus de tomate a été additionné à un volume de 7 ml d'un mélange hexane/acétone/méthanol (2 : 1 : 1) pour solubiliser les caroténoïdes. Le mélange obtenu a été protégé de la lumière avec du papier aluminium, agité pendant 15 minutes au vortex, puis centrifugé à 3000 tr/min pendant 5 min. La phase supérieure du mélange centrifugé représentant la fraction organique, a été recueillie et un volume de 1 ml d'hexane a été ajouté à la fraction. L'absorbance a été lue à 502 nm après une dilution au 1/10. La quantité de lycopène est donnée par la formule suivante (Grolier *et al.*, 2000).

$$\text{Teneur en lycopène } (\mu\text{g}) = (\text{Abs} - 0,0222) / 0,3016 \quad (13)$$

### **3.5.2. Evaluation des caractéristiques organoleptiques des fruits de tomate**

Pour la qualité organoleptique des fruits de tomate ; l'amertume, la présence d'un arrière-gout, la saveur sucrée, l'acidité et la couleur ont été étudié à l'aide d'un panel de 20 individus. Ces individus (juges) sont des étudiants qui ont été choisis au sein de l'Université Jean Lorougnon Guédé. L'expérience a été réalisée selon la méthodologie CATA (Check-All-That-Apply). La méthodologie CATA (Check-All-That-Apply) est une méthode d'analyse sensorielle qui consiste à demander aux consommateurs de cocher sur une fiche (Annexe 5) tous les termes qui s'appliquent à un produit parmi une liste prédéfinie (Adams *et al.*, 2007). Les enquêtes CATA s'adressent aux consommateurs, plus représentatifs du marché, plutôt qu'à des sujets entraînés (Adams *et al.*, 2007). Cette méthode permet d'obtenir rapidement des profils de produits et de comparer leurs caractéristiques sensorielles. Chaque membre du panel a dû déterminer la présence ou l'absence d'un attribut donné dans les fruits excepté dans le cas de la couleur des fruits. Les préférences des juges concernant la présence ou l'absence d'un attribut au niveau des fruits de tomate ont été considérées comme des caractéristiques souhaitables pour les fruits de tomate. Ces caractéristiques souhaitables ont été utilisées comme références organoleptiques dans le cadre de notre étude.

#### **➤ Détermination de l'Amertume, l'arrière-goût, la saveur sucrée, l'acidité et de l'odeur**

La détermination de l'amertume, l'arrière-goût, la saveur sucrée et de l'acidité a été réalisée par consommation des fruits de tomate des formulations concernées. C'est à la suite de la mise en

bouche que chaque juge à apporter son appréciation concernant la présence ou l'absence d'une caractéristique donnée. L'odeur a quant à elle été déterminé en perception directe.

➤ **Détermination de la couleur des fruits**

La couleur a été déterminée par observation des fruits, plus précisément de la pulpe des fruits. Les fruits ayant tous été récoltés au même stade de maturation (couleur rouge), l'appréciation de la couleur de la pulpe des fruits a été faite en s'appuyant sur une échelle à deux niveaux d'intensité à savoir, moyennement rouge et très rouge.

### **3.6. Analyses statistiques des résultats**

Dans un premier temps, les données ont été saisies à l'aide du tableur Excel 2021 puis le traitement statistique a été réalisé à l'aide du logiciel XLSTAT 2019. Les analyses statistiques des données quantitatives ont débuté par le nettoyage des données pour en extraire toutes les valeurs aberrantes à travers l'utilisation de boîte à moustache. Après le nettoyage des données, les analyses descriptives ont été réalisées pour connaître l'évolution des variables au cours du temps.

Dans le cas des variables quantitatives, les analyses inférentielles ont été réalisées dans chaque cas avec les données collectées le dernier jour de la prise des mesures. La distribution des résidus (un résidu est la différence entre une valeur observée et sa valeur prédite par un modèle de régression) a été étudiée à l'aide du test de normalité de Shapiro-wilk. Par la suite, une analyse de variance a été réalisée pour déterminer l'homogénéité des variances des résidus des modalités des différentes variables quantitatives. Dans le cas où l'un des tests précédemment cités (où les deux) s'avère non concluant alors un test non paramétrique suivi du test post-hoc approprié seront réalisés pour déterminer l'effet des paramètres étudiés sur la variable considérée. Dans le cas où la variable quantitative a une distribution normale et a les variances de ses différentes modalités identiques, une analyse de variance (ANOVA) suivi du test post-hoc HSD de Tukey ont été réalisées. Après ces analyses, une classification ascendante hiérarchique a été réalisée pour regrouper les formulations en fonction de leurs similarité et dissimilarité concernant les variables étudiées. De plus, des tests de corrélation ont été réalisés entre certaines variables quantitatives. Le test de corrélation de Person a été utilisé lorsque les

variables à corrélérer sont toutes normalement distribuées. Dans le cas où au moins l'une variable à corrélérer n'est pas normalement distribuée, le test de corrélation de Spearman a été utilisé.

Dans le cas des données qualitatives, leurs distributions ont été étudiées à l'aide d'un tableau de proportion présentant les effectifs observés et d'un tableau présentant les effectifs théoriques. Pour terminer, les liens existants entre les variables qualitatives ont été mis en évidence à l'aide du test de Khi 2 dans le cas où aucun des effectifs théoriques des modalités des variables qualitatives n'est inférieures à 5. Dans le cas contraire, c'est un test exact de Fisher a été réalisé pour mettre en évidence le lien entre les deux variables qualitatives considérées.

Au niveau de l'analyse des données organoleptiques, les variables que sont l'odeur, l'amertume, l'arrière-gout, le gout sucré, l'acidité et la couleur ont été analysées pour les fruits de F1, F6, F50, F51 et F52. En premier lieu, Les réponses des différents juges ont permis la réalisation d'un tableau de contingence des fruits des formulations et des caractéristiques organoleptique associées. Par la suite un test de Khi2 d'indépendance a été réalisé pour étudier la relation entre les lignes et les colonnes (entre les formulations et les attributs organoleptiques) de ce tableau de contingence. Ce test de Khi2 a permis de mettre en évidence le lien entre les fruits des formulations et les caractéristiques organoleptiques prises en comptes. Enfin, le test Q de Cochran suivi d'un test de comparaison multiples par paires suivant la procédure de Mc. Nemar ont été réalisé pour confirmer les résultats précédemment obtenus.

# **TROISIÈME PARTIE : RÉSULTATS ET DISCUSSION**

## **CHAPITRE 1 : Effet des formulations sur les caractéristiques de germination des graines et de croissance des plants en pépinière**

### **1.1. Introduction**

Le premier objectif spécifique des travaux a consisté à la réalisation d'une pépinière de tomate sur 65 formulations de substrats pour identifier celles aillant les meilleures caractéristiques de germination et de croissance des plantes. Les résultats obtenus concernent le taux de germination, la hauteur des tiges et le nombre de feuilles des plants.

### **1.2. Résultats**

#### **1.2.1. Taux de germination des graines de tomate**

Le taux de germination des graines de tomate au niveau des 65 formulations de substrats, a varié de 0 % à 99,33 % (formulations F4 et F23), (Tableau X). La probabilité au niveau des taux de germination est de 0,001 ( $P = 0,001 < 0,05$  ; ddl = 64). Les formulations à base de balle de riz carbonisé possèdent les meilleurs taux de germination. En effet, les formulations 48, 49 et 64 ont obtenu un taux de germination de 98 % et les formulations F10 et F23 possèdent un taux de germination de 99,33 %. Contrairement aux formulations précédentes, les formulations F4, F12 et F14 ont présenté les plus faibles taux de germination qui sont respectivement de 0, 12,50 et 12,51 %. Les formulations avec une teneur élevée en son de riz ont obtenu un taux de germination généralement faible et quelque fois avoisinant les 50%, excepté pour les formulations 20 et 21 avec un taux de germination de 98 %. Les formulations contenant un fort taux de balle de riz brute ont un taux de germination généralement faible. Les autres formulations ont des taux de germination variant entre les plus faibles et les plus fortes valeurs.

Résultats et discussion

Tableau X : Taux de germination des graines de tomate en fonction des formulations de substrats

| Formulations | Tg (%)                       | Formulations | Tg (%)                       |
|--------------|------------------------------|--------------|------------------------------|
| F 1          | 43,50 ± 2,17 <sup>h</sup>    | F 34         | 50,067 ± 2,914 <sup>g</sup>  |
| F 2          | 12,67 ± 0,58 <sup>m</sup>    | F 35         | 37,50 ± 1,39 <sup>i</sup>    |
| F 3          | 98,333 ± 2,887 <sup>a</sup>  | F 36         | 56,25 ± 1,56 <sup>f</sup>    |
| F 4          | 0,00 ± 0,00 <sup>n</sup>     | F 37         | 43,733 ± 1,333 <sup>h</sup>  |
| F 5          | 75,00 ± 5,00 <sup>c</sup>    | F 38         | 17,767 ± 1,966 <sup>lm</sup> |
| F 6          | 75,00 ± 5,00 <sup>c</sup>    | F 39         | 10,416 ± 3,608 <sup>n</sup>  |
| F 7          | 68,583 ± 1,507 <sup>d</sup>  | F 40         | 25,00 ± 0,50 <sup>k</sup>    |
| F 8          | 25,00 ± 5,00 <sup>k</sup>    | F 41         | 62,500 ± 0,866 <sup>e</sup>  |
| F 9          | 50,00 ± 5,00 <sup>g</sup>    | F 42         | 43,77 ± 2,25 <sup>h</sup>    |
| F 10         | 99,33 ± 31,15 <sup>a</sup>   | F 43         | 68,75 ± 3,25 <sup>d</sup>    |
| F 11         | 37,50 ± 0,50 <sup>i</sup>    | F 44         | 62,5 ± 1,5 <sup>e</sup>      |
| F 12         | 12,50 ± 0,50 <sup>m</sup>    | F 45         | 50,00 ± 1,73 <sup>g</sup>    |
| F 13         | 26,667 ± 7,638 <sup>jk</sup> | F 46         | 37,500 ± 1,803 <sup>i</sup>  |
| F 14         | 12,50 ± 1,80 <sup>m</sup>    | F 47         | 50,00 ± 1,93 <sup>g</sup>    |
| F 15         | 75,667 ± 6,028 <sup>c</sup>  | F 48         | 98,00 ± 1,00 <sup>a</sup>    |
| F 16         | 62,37 ± 3,58 <sup>l</sup>    | F 49         | 98,00 ± 0,66 <sup>a</sup>    |
| F 17         | 18,83 ± 2,50 <sup>l</sup>    | F 50         | 37,50 ± 0,50 <sup>i</sup>    |
| F 18         | 18,700 ± 0,819 <sup>ef</sup> | F 51         | 75,00 ± 3,464 <sup>c</sup>   |
| F 19         | 25,333 ± 5,773 <sup>k</sup>  | F 52         | 87,50 ± 2,78 <sup>b</sup>    |
| F 20         | 98,00 ± 2,646 <sup>a</sup>   | F 53         | 68,75 ± 1,639 <sup>d</sup>   |
| F 21         | 98,00 ± 1,00 <sup>a</sup>    | F 54         | 31,250 ± 1,09 <sup>d</sup>   |
| F 22         | 61,610 ± 3,308 <sup>e</sup>  | F 55         | 37,500 ± 2,291 <sup>c</sup>  |
| F 23         | 99,33 ± 1,15 <sup>a</sup>    | F 56         | 75,00 ± 4,36 <sup>c</sup>    |
| F 24         | 56,250 ± 1,090 <sup>f</sup>  | F 57         | 31,333 ± 0,907 <sup>j</sup>  |
| F 25         | 56,250 ± 2,037 <sup>f</sup>  | F 58         | 37,483 ± 1,295 <sup>i</sup>  |
| F 26         | 31,250 ± 1,460 <sup>j</sup>  | F 59         | 68,75 ± 1,09 <sup>a</sup>    |
| F 27         | 56,267 ± 3,444 <sup>f</sup>  | F 60         | 43,75 ± 0,66 <sup>b</sup>    |
| F 28         | 62,50 ± 2,50 <sup>e</sup>    | F 61         | 25,00 ± 2,646 <sup>e</sup>   |
| F 29         | 56,267 ± 1,101 <sup>f</sup>  | F 62         | 87,50 ± 1,32 <sup>b</sup>    |
| F 30         | 50,080 ± 1,698 <sup>g</sup>  | F 63         | 87,50 ± 1,50 <sup>b</sup>    |
| F 31         | 50,00 ± 1,00 <sup>e</sup>    | F 64         | 98,00 ± 1,00 <sup>a</sup>    |
| F 32         | 87,50 ± 1,323 <sup>b</sup>   | F 65         | 75,00 ± 5.33 <sup>c</sup>    |
| F 33         | 56,333 ± 0,577 <sup>f</sup>  |              |                              |
| <b>P</b>     | <b>0,001</b>                 | <b>DDL</b>   | <b>64</b>                    |

**F** : formulation ; **Tg** : taux de germination ; % : pourcentage. **P** : probabilité associée au test. Pour chaque paramètre, les valeurs portant les mêmes lettres sont statistiquement égales ( $P \geq 0,05$ ) et **F** : F-statistique de Fischer. te : terre ;

so : son de riz ; sc : sciure de bois ; ba : balles de riz ; bac : balles de riz carbonisée. f : fiente de poulets.

F1 : te ; F2 : ba ; F3 : sc ; F4 : so ; F5 : bac ; F6 : te + f ; F7 : ba + f ; F8 : sc + f ; F9 : so + f ; F10 : bac + f ; F11 :  $\frac{3}{4}$  so +  $\frac{1}{4}$  ba ; F12 :  $\frac{1}{2}$  so +  $\frac{1}{2}$  ba ; F13 :  $\frac{1}{4}$  so +  $\frac{3}{4}$  ba ; ; F14 :  $\frac{3}{4}$  so +  $\frac{1}{4}$  sc ; F15 :  $\frac{1}{2}$  so +  $\frac{1}{2}$  sc ; F16 :  $\frac{1}{4}$  so +  $\frac{3}{4}$  sc ; F17 :  $\frac{3}{4}$  so +  $\frac{1}{4}$  te ; F18 :  $\frac{1}{2}$  so +  $\frac{1}{2}$  te ; F19 :  $\frac{1}{4}$  so +  $\frac{3}{4}$  te ; F20 :  $\frac{3}{4}$  so +  $\frac{1}{4}$  bac ; F21 :  $\frac{1}{2}$  so +  $\frac{1}{2}$  bac ; F22 :  $\frac{1}{4}$  so +  $\frac{3}{4}$  bac ; F23 :  $\frac{3}{4}$  so +  $\frac{1}{4}$  ba + f ; F24 :  $\frac{1}{2}$  so +  $\frac{1}{2}$  ba + f ; F25 :  $\frac{1}{4}$  so +  $\frac{3}{4}$  ba + f ; F26 :  $\frac{3}{4}$  so +  $\frac{1}{4}$  sc + f ; F27 :  $\frac{1}{2}$  so +  $\frac{1}{2}$  sc + f ; F28 :  $\frac{1}{4}$  so +  $\frac{3}{4}$  sc + f ; F29 :  $\frac{3}{4}$  so +  $\frac{1}{4}$  te + f ; F30 :  $\frac{1}{2}$  so +  $\frac{1}{2}$  te + f ; F31 :  $\frac{1}{4}$  so +  $\frac{3}{4}$  te + f ; F32 :  $\frac{3}{4}$  so +  $\frac{1}{4}$  bac + f ; F33 :  $\frac{1}{2}$  so +  $\frac{1}{2}$  bac + f ; F34 :  $\frac{1}{4}$  so +  $\frac{3}{4}$  bac + f ; F35 :  $\frac{3}{4}$  ba +  $\frac{1}{4}$  sc ; F36 :  $\frac{1}{2}$  ba +  $\frac{1}{2}$  sc ; F37 :  $\frac{1}{4}$  ba +  $\frac{3}{4}$  sc ; F38 :  $\frac{3}{4}$  ba +  $\frac{1}{4}$  te ; F39 :  $\frac{1}{2}$  ba +  $\frac{1}{2}$  te ; F40 :  $\frac{1}{4}$  ba +  $\frac{3}{4}$  te ; F41 :  $\frac{3}{4}$  ba +  $\frac{1}{4}$  sc + f ; F42 :  $\frac{1}{2}$  ba +  $\frac{1}{2}$  sc + f ; F43 :  $\frac{1}{4}$  ba +  $\frac{3}{4}$  sc + f ; F44 :  $\frac{3}{4}$  ba +  $\frac{1}{4}$  te + f ; F45 :  $\frac{1}{2}$  ba +  $\frac{1}{2}$  te + f ; F46 :  $\frac{1}{4}$  ba +  $\frac{3}{4}$  te + f ; F47 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te ; F48 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te ; F49 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te ; F50 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te + f ; F51 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te + f ; F52 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te + f ; F53 :  $\frac{3}{4}$  sc +  $\frac{1}{4}$  te ; F54 :  $\frac{1}{2}$  sc +  $\frac{1}{2}$  te ; F55 :  $\frac{1}{4}$  sc +  $\frac{3}{4}$  te ; F56 :  $\frac{3}{4}$  sc +  $\frac{1}{4}$  bac ; F57 :  $\frac{1}{2}$  sc +  $\frac{1}{2}$  bac ; F58 :  $\frac{1}{4}$  sc +  $\frac{3}{4}$  bac ; F59 :  $\frac{3}{4}$  sc +  $\frac{1}{4}$  te + f ; F60 :  $\frac{1}{2}$  sc +  $\frac{1}{2}$  te + f ; F61 :  $\frac{1}{4}$  sc +  $\frac{3}{4}$  te + f ; F62 :  $\frac{3}{4}$  sc +  $\frac{1}{4}$  bac + f ; F63 :  $\frac{1}{2}$  sc +  $\frac{1}{2}$  bac + f ; F64 :  $\frac{1}{4}$  sc +  $\frac{3}{4}$  bac + f ; F65 : 100% te + NPK.

### **1.2.2. Hauteur moyenne des tiges des plants de tomate**

La hauteur moyenne des tiges des plants de tomate en fonction des formulations de substrats est comprise entre 1,00 cm (Formulation F12 et F29) et 14,50 cm (Formulation F48) au 21<sup>ème</sup> jour après le semis (Tableau XI). L'analyse statistique de ces données a révélé des différences significatives au niveau de la hauteur moyenne des tiges des plants en fonction des formulations ( $P = 0,001$  ; ddl = 64). Les plus grandes tiges ont été observées au niveau des formulations 48, 49 et 50. Ces formulations constituées en partie de balles de riz carbonisées présentent des plants de 14,50 cm (F48) ; de 13,780 cm (F49) et de 14,333 cm de hauteur (F50). Les tiges les moins grandes sont observées au niveau des formulations composées en partie de son de riz. Ces formulations sont les formulations F12, F29 et F30 ayant respectivement des tiges d'une hauteur de 1 cm, 1 cm et 2 cm.

Résultats et discussion

Tableau XI : Hauteur moyenne des tiges des plantes de tomate des formulations au 21<sup>ème</sup> jours après le semis

| Formulations | Hmt (cm)                            | Formulations | Hmp (cm)                             |
|--------------|-------------------------------------|--------------|--------------------------------------|
| F 1          | 10,56 ± 2,44 <sup>efg</sup>         | F 34         | 11,750 ± 2,255 <sup>cde</sup>        |
| F 2          | 4,35 ± 1,20 <sup>uvwxyza</sup>      | F 35         | 3,50 ± 1,414 <sup>yzα</sup>          |
| F 3          | 5,37 ± 1,35 <sup>rstuvw</sup>       | F 36         | 3,64 ± 0,477 <sup>yzα</sup>          |
| F 5          | 7,34 ± 1,11 <sup>lmnopqs</sup>      | F 37         | 4,30 ± 1,138 <sup>vwxyzα</sup>       |
| F 6          | 7,62 ± 1,54 <sup>ijklmnopq</sup>    | F 38         | 4,633 ± 0,709 <sup>uvwxyz</sup>      |
| F 7          | 6,66 ± 0,56 <sup>lqprstu</sup>      | F 39         | 2,00 ± 0,15 <sup>β</sup>             |
| F 8          | 5,875 ± 1,25 <sup>qrstuvw</sup>     | F 40         | 7,375 ± 0,479 <sup>klmnopqrs</sup>   |
| F 9          | 5,375 ± 1,49 <sup>tuvwxy</sup>      | F 41         | 6,260 ± 0,850 <sup>pqrstu</sup>      |
| F 10         | 6,66 ± 0,56 <sup>lqprstu</sup>      | F 42         | 5,50 ± 0,612 <sup>rtuvwxy</sup>      |
| F 11         | 3,50 ± 0,71 <sup>wxyza</sup>        | F 43         | 7,460 ± 0,356 <sup>lmnopqs</sup>     |
| F 12         | 1,00 ± 0,00 <sup>β</sup>            | F 44         | 7,304 ± 0,669 <sup>lmnopqs</sup>     |
| F 13         | 6,067 ± 1,692 <sup>pqrstuvw</sup>   | F 45         | 8,780 ± 1,059 <sup>hijklm</sup>      |
| F 14         | 3,333 ± 0,577 <sup>yzα</sup>        | F 46         | 10,10 ± 1,25 <sup>efgh</sup>         |
| F 15         | 8,70 ± 1,04 <sup>hijklm</sup>       | F 47         | 12,560 ± 2,777 <sup>bcd</sup>        |
| F 16         | 6,56 ± 1,94 <sup>pqrstu</sup>       | F 48         | 14,50 ± 0,83 <sup>a</sup>            |
| F 17         | 5,00 ± 1,00 <sup>pqrstuvwxyza</sup> | F 49         | 13,780 ± 1,171 <sup>ab</sup>         |
| F 18         | 3,50 ± 0,71 <sup>wxyza</sup>        | F 50         | 14,333 ± 1,128 <sup>ab</sup>         |
| F 19         | 9,00 ± 2,83 <sup>ghijklmno</sup>    | F 51         | 12,74 ± 2,59 <sup>abc</sup>          |
| F 20         | 6,30 ± 0,84 <sup>pqrstu</sup>       | F 52         | 12,84 ± 1,16 <sup>abc</sup>          |
| F 21         | 3,50 ± 1,32 <sup>xyza</sup>         | F 53         | 5,900 ± 0,997 <sup>qrstuv</sup>      |
| F 22         | 6,90 ± 0,65 <sup>lnopqrst</sup>     | F 54         | 2,667 ± 0,577 <sup>za</sup>          |
| F 23         | 9,480 ± 2,315 <sup>efghi</sup>      | F 55         | 3,900 ± 0,265 <sup>xyza</sup>        |
| F 24         | 3,333 ± 0,577 <sup>yzα</sup>        | F 56         | 7,90 ± 2,17 <sup>ijklmnop</sup>      |
| F 25         | 7,50 ± 1,118 <sup>klmnopqs</sup>    | F 57         | 3,467 ± 0,503 <sup>opqrstu</sup>     |
| F 26         | 3,833 ± 0,764 <sup>wxyza</sup>      | F 58         | 8,76 ± 2,64 <sup>hijklm</sup>        |
| F 27         | 5,780 ± 1,454 <sup>rstuvw</sup>     | F 59         | 10,88 ± 2,529 <sup>def</sup>         |
| F 28         | 7,660 ± 1,493 <sup>ijklmnopq</sup>  | F 60         | 8,50 ± 1,541 <sup>hijklmno</sup>     |
| F 29         | 1,00 ± 0,00 <sup>β</sup>            | F 61         | 7,50 ± 1,802 <sup>ijklmnopqrst</sup> |
| F 30         | 2,00 ± 0,00 <sup>αβ</sup>           | F 62         | 9,900 ± 1,149 <sup>efgh</sup>        |
| F 31         | 4,320 ± 1,921 <sup>vwxyza</sup>     | F 63         | 9,260 ± 1,959 <sup>fghijk</sup>      |
| F 32         | 8,600 ± 1,294 <sup>hijklmn</sup>    | F 64         | 9,280 ± 1,751 <sup>fghij</sup>       |
| F 33         | 8,980 ± 1,076 <sup>ghijklm</sup>    | F 65         | 12,52 ± 0,78 <sup>abc</sup>          |
| <b>P</b>     | <b>0,001</b>                        | <b>DDL</b>   | <b>64</b>                            |

**Hmt** ; hauteur moyenne des tiges des plants ; **cm** : centimètre ; **%** : pourcentage. **P** : probabilité associée au test. Pour chaque paramètre, les valeurs portant les mêmes lettres sont statistiquement égales ( $P \geq 0,05$ ),  $a > b > c \dots > z > \alpha > \beta$ . te : terre ; so : son de riz ; sc : sciure de bois ; ba : balles de riz ; bac : balles de riz carbonisée. f : fiente de poulets, F : formulation.

F1 : te ; F2 : ba ; F3 : sc ; F4 : so ; F5 : bac ; F6 : te + f ; F7 : ba + f ; F8 : sc + f ; F9 : so + f ; F10 : bac + f ; F11 :  $\frac{3}{4}$  so +  $\frac{1}{4}$  ba ; F12 :  $\frac{1}{2}$  so +  $\frac{1}{2}$  ba ; F13 :  $\frac{1}{4}$  so +  $\frac{3}{4}$  ba ; ; F14 :  $\frac{3}{4}$  so +  $\frac{1}{4}$  sc ; F15 :  $\frac{1}{2}$  so +  $\frac{1}{2}$  sc ; F16 :  $\frac{1}{4}$  so +  $\frac{3}{4}$  sc ; F17 :  $\frac{3}{4}$  so +  $\frac{1}{4}$  te ; F18 :  $\frac{1}{2}$  so +  $\frac{1}{2}$  te ; F19 :  $\frac{1}{4}$  so +  $\frac{3}{4}$  te ; F20 :  $\frac{3}{4}$  so +  $\frac{1}{4}$  bac ; F21 :  $\frac{1}{2}$  so +  $\frac{1}{2}$  bac ; F22 :  $\frac{1}{4}$  so +  $\frac{3}{4}$  bac ; F23 :  $\frac{3}{4}$  so +  $\frac{1}{4}$  ba + f ; F24 :  $\frac{1}{2}$  so +  $\frac{1}{2}$  ba + f ; F25 :  $\frac{1}{4}$  so +  $\frac{3}{4}$  ba + f ; F26 :  $\frac{3}{4}$  so +  $\frac{1}{4}$  sc + f ; F27 :  $\frac{1}{2}$  so +  $\frac{1}{2}$  sc + f ; F28 :  $\frac{1}{4}$  so +  $\frac{3}{4}$  sc + f ; F29 :  $\frac{3}{4}$  so +  $\frac{1}{4}$  te + f ; F30 :  $\frac{1}{2}$  so +  $\frac{1}{2}$  te + f ; F31 :  $\frac{1}{4}$  so +  $\frac{3}{4}$  te + f ; F32 :  $\frac{3}{4}$  so +  $\frac{1}{4}$  bac + f ; F33 :  $\frac{1}{2}$  so +  $\frac{1}{2}$  bac + f ; F34 :  $\frac{1}{4}$  so +  $\frac{3}{4}$  bac + f ; F35 :  $\frac{3}{4}$  ba +  $\frac{1}{4}$  sc ; F36 :  $\frac{1}{2}$  ba +  $\frac{1}{2}$  sc ; F37 :  $\frac{1}{4}$  ba +  $\frac{3}{4}$  sc ; F38 :  $\frac{3}{4}$  ba +  $\frac{1}{4}$  te ; F39 :  $\frac{1}{2}$  ba +  $\frac{1}{2}$  te ; F40 :  $\frac{1}{4}$  ba +  $\frac{3}{4}$  te ; F41 :  $\frac{3}{4}$  ba +  $\frac{1}{4}$  sc + f ; F42 :  $\frac{1}{2}$  ba +  $\frac{1}{2}$  sc + f ; F43 :  $\frac{1}{4}$  ba +  $\frac{3}{4}$  sc + f ; F44 :  $\frac{3}{4}$  ba +  $\frac{1}{4}$  te + f ; F45 :  $\frac{1}{2}$  ba +  $\frac{1}{2}$  te + f ; F46 :  $\frac{1}{4}$  ba +  $\frac{3}{4}$  te + f ; F47 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te ; F48 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te ; F49 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te ; F50 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te + f ; F51 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te + f ; F52 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te + f ; F53 :  $\frac{3}{4}$  sc +  $\frac{1}{4}$  te ; F54 :  $\frac{1}{2}$  sc +  $\frac{1}{2}$  te ; F55 :  $\frac{1}{4}$  sc +  $\frac{3}{4}$  te ; F56 :  $\frac{3}{4}$  sc +  $\frac{1}{4}$  bac ; F57 :  $\frac{1}{2}$  sc +  $\frac{1}{2}$  bac ; F58 :  $\frac{1}{4}$  sc +  $\frac{3}{4}$  bac ; F59 :  $\frac{3}{4}$  sc +  $\frac{1}{4}$  te + f ; F60 :  $\frac{1}{2}$  sc +  $\frac{1}{2}$  te + f ; F61 :  $\frac{1}{4}$  sc +  $\frac{3}{4}$  te + f ; F62 :  $\frac{3}{4}$  sc +  $\frac{1}{4}$  bac + f ; F63 :  $\frac{1}{2}$  sc +  $\frac{1}{2}$  bac + f ; F64 :  $\frac{1}{4}$  sc +  $\frac{3}{4}$  bac + f ; F65 : 100% te + NPK.

### **1.2.3. Nombre moyen de feuilles**

Le nombre moyen de feuilles de tomates pour chaque plant, en fonction des formulations de substrat, a varié de 1,00 (Formulations F12 et F29) à 5,30 (Formulation F50) au 21<sup>ème</sup> jour après le semis (Tableau XII). L'analyse statistique a montré des différences significatives entre le nombre moyen de feuilles par plant en fonction des substrats ( $P = 0,001$  et ddl = 64). Les nombres les plus élevés de feuilles par plant en fonction des formulations de substrat sont observées au niveau des formulations contenant en partie de la balle de riz carbonisé. Parmi ces formulations, ce sont les formulations 49 et 50 qui possèdent un nombre élevé de feuilles par plantule, il est respectivement de 5 et de 5,3 feuilles / plantules. Les plus faibles nombres de feuilles par formulation sont observés au niveau des formulations contenant une teneur plus ou moins importante de son de riz.

Résultats et discussion

Tableau XII : Nombre moyen de feuilles des plantes de tomate des formulations au 21<sup>ème</sup> jour après le semis

| Formulations | Nmf                              | Formulations | Nmf                             |
|--------------|----------------------------------|--------------|---------------------------------|
| F1           | 3,80 ± 1,8 <sup>abcdef</sup>     | F34          | 3,50 ± 0,96 <sup>abcdefg</sup>  |
| F2           | 2,00 ± 1,41 <sup>defgh</sup>     | F35          | 1,80 ± 1,80 <sup>defgh</sup>    |
| F3           | 2,80 ± 1,64 <sup>abcdefg</sup>   | F36          | 1,80 ± 0,44 <sup>defgh</sup>    |
| F5           | 2,80 ± 1,58 <sup>abcdefg</sup>   | F37          | 1,80 ± 1,30 <sup>defgh</sup>    |
| F6           | 4,00 ± 1,54 <sup>abcdef</sup>    | F38          | 2,00 ± 1,73 <sup>defgh</sup>    |
| F7           | 2,20 ± 1,48 <sup>cdefgh</sup>    | F39          | 1,00 ± 0,50 <sup>gh</sup>       |
| F8           | 2,20 ± 1,06 <sup>cdefgh</sup>    | F40          | 2,50 ± 1,00 <sup>bcdefgh</sup>  |
| F9           | 2,10 ± 1,87 <sup>cdefgh</sup>    | F41          | 1,60 ± 1,00 <sup>efgh</sup>     |
| F10          | 2,40 ± 1,48 <sup>bcdefgh</sup>   | F42          | 2,00 ± 1,23 <sup>defgh</sup>    |
| F11          | 2,00 ± 1,41 <sup>defgh</sup>     | F43          | 2,10 ± 1,87 <sup>cdefgh</sup>   |
| F12          | 1,00 ± 0,00 <sup>gh</sup>        | F44          | 2,40 ± 1,07 <sup>bcdefgh</sup>  |
| F13          | 2,600 ± 1,65 <sup>abcdefgh</sup> | F45          | 3,10 ± 1,48 <sup>abcdefg</sup>  |
| F14          | 1,60 ± 1,10 <sup>efgh</sup>      | F46          | 3,10 ± 1,35 <sup>abcdefg</sup>  |
| F15          | 3,10 ± 1,30 <sup>abcdefg</sup>   | F47          | 4,50 ± 1,49 <sup>abcd</sup>     |
| F16          | 2,60 ± 1,82 <sup>abcdefgh</sup>  | F48          | 4,80 ± 2,19 <sup>abc</sup>      |
| F17          | 4,00 ± 2,10 <sup>abcdef</sup>    | F49          | 5,00 ± 2,34 <sup>ab</sup>       |
| F18          | 1,50 ± 2,12 <sup>fgh</sup>       | F50          | 5,300 ± 2,21 <sup>a</sup>       |
| F19          | 3,00 ± 1,41 <sup>abcdefg</sup>   | F51          | 4,00 ± 1,52 <sup>abcdef</sup>   |
| F20          | 2,40 ± 0,84 <sup>bcdefgh</sup>   | F52          | 4,30 ± 1,79 <sup>abcde</sup>    |
| F21          | 2,00 ± 1,65 <sup>defgh</sup>     | F53          | 2,20 ± 0,45 <sup>cdefgh</sup>   |
| F22          | 2,50 ± 1,49 <sup>bcdefgh</sup>   | F54          | 1,60 ± 0,58 <sup>efgh</sup>     |
| F23          | 3,60 ± 1,70 <sup>abcdefg</sup>   | F55          | 2,000 ± 1,23 <sup>defgh</sup>   |
| F24          | 1,00 ± 1,73 <sup>gh</sup>        | F56          | 1,80 ± 1,67 <sup>defgh</sup>    |
| F25          | 3,00 ± 0,00 <sup>abcdefg</sup>   | F57          | 2,00 ± 1,65 <sup>defgh</sup>    |
| F26          | 1,60 ± 1,52 <sup>efgh</sup>      | F58          | 2,50 ± 1,52 <sup>bcdefgh</sup>  |
| F27          | 2,40 ± 1,28 <sup>bcdefgh</sup>   | F59          | 3,10 ± 1,58 <sup>abcdefg</sup>  |
| F28          | 3,20 ± 1,09 <sup>abcdefg</sup>   | F60          | 2,60 ± 1,35 <sup>abcdefgh</sup> |
| F29          | 1,00 ± 0,00 <sup>gh</sup>        | F61          | 2,60 ± 1,88 <sup>abcdefgh</sup> |
| F30          | 1,00 ± 0,64 <sup>gh</sup>        | F62          | 3,00 ± 1,23 <sup>abcdefg</sup>  |
| F31          | 1,80 ± 1,64 <sup>defgh</sup>     | F63          | 2,70 ± 1,17 <sup>abcdefgh</sup> |
| F32          | 3,60 ± 1,67 <sup>abcdefg</sup>   | F64          | 3,20 ± 1,30 <sup>abcdefg</sup>  |
| F33          | 2,80 ± 1,92 <sup>abcdefg</sup>   | F65          | 4,20 ± 1,55 <sup>abcdef</sup>   |
| <b>P</b>     | <b>0,001</b>                     | <b>DDL</b>   | <b>64</b>                       |

**Nmf** : nombre moyen de feuilles **P** : probabilité associée au test. Pour chaque paramètre, les valeurs portant les mêmes lettres sont statistiquement égales ( $P \geq 0,05$ ),  $a > b > c \dots > z > \alpha > \beta$ . F : formulation ; te : terre ; so : son de riz ; sc : sciure de bois ; ba : balles de riz ; bac : balles de riz carbonisée. f : fiente de poulets.

F1 : te ; F2 : ba ; F3 : sc ; F4 : so ; F5 : bac ; F6 : te + f ; F7 : ba + f ; F8 : sc + f ; F9 : so + f ; F10 : bac + f ; F11 :  $\frac{3}{4}$  so +  $\frac{1}{4}$  ba ; F12 :  $\frac{1}{2}$  so +  $\frac{1}{2}$  ba ; F13 :  $\frac{1}{4}$  so +  $\frac{3}{4}$  ba ; ; F14 :  $\frac{3}{4}$  so +  $\frac{1}{4}$  sc ; F15 :  $\frac{1}{2}$  so +  $\frac{1}{2}$  sc ; F16 :  $\frac{1}{4}$  so +  $\frac{3}{4}$  sc ; F17 :  $\frac{3}{4}$  so +  $\frac{1}{4}$  te ; F18 :  $\frac{1}{2}$  so +  $\frac{1}{2}$  te ; F19 :  $\frac{1}{4}$  so +  $\frac{3}{4}$  te ; F20 :  $\frac{3}{4}$  so +  $\frac{1}{4}$  bac ; F21 :  $\frac{1}{2}$  so +  $\frac{1}{2}$  bac ; F22 :  $\frac{1}{4}$  so +  $\frac{3}{4}$  bac ; F23 :  $\frac{3}{4}$  so +  $\frac{1}{4}$  ba + f ; F24 :  $\frac{1}{2}$  so +  $\frac{1}{2}$  ba + f ; F25 :  $\frac{1}{4}$  so +  $\frac{3}{4}$  ba + f ; F26 :  $\frac{3}{4}$  so +  $\frac{1}{4}$  sc + f ; F27 :  $\frac{1}{2}$  so +  $\frac{1}{2}$  sc + f ; F28 :  $\frac{1}{4}$  so +  $\frac{3}{4}$  sc + f ; F29 :  $\frac{3}{4}$  so +  $\frac{1}{4}$  te + f ; F30 :  $\frac{1}{2}$  so +  $\frac{1}{2}$  te + f ; F31 :  $\frac{1}{4}$  so +  $\frac{3}{4}$  te + f ; F32 :  $\frac{3}{4}$  so +  $\frac{1}{4}$  bac + f ; F33 :  $\frac{1}{2}$  so +  $\frac{1}{2}$  bac + f ; F34 :  $\frac{1}{4}$  so +  $\frac{3}{4}$  bac + f ; F35 :  $\frac{3}{4}$  ba +  $\frac{1}{4}$  sc ; F36 :  $\frac{1}{2}$  ba +  $\frac{1}{2}$  sc ; F37 :  $\frac{1}{4}$  ba +  $\frac{3}{4}$  sc ; F38 :  $\frac{3}{4}$  ba +  $\frac{1}{4}$  te ; F39 :  $\frac{1}{2}$  ba +  $\frac{1}{2}$  te ; F40 :  $\frac{1}{4}$  ba +  $\frac{3}{4}$  te ; F41 :  $\frac{3}{4}$  ba +  $\frac{1}{4}$  sc + f ; F42 :  $\frac{1}{2}$  ba +  $\frac{1}{2}$  sc + f ; F43 :  $\frac{1}{4}$  ba +  $\frac{3}{4}$  sc + f ; F44 :  $\frac{3}{4}$  ba +  $\frac{1}{4}$  te + f ; F45 :  $\frac{1}{2}$  ba +  $\frac{1}{2}$  te + f ; F46 :  $\frac{1}{4}$  ba +  $\frac{3}{4}$  te + f ; F47 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te ; F48 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te ; F49 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te ; F50 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te + f ; F51 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te + f ; F52 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te + f ; F53 :  $\frac{3}{4}$  sc +  $\frac{1}{4}$  te ; F54 :  $\frac{1}{2}$  sc +  $\frac{1}{2}$  te ; F55 :  $\frac{1}{4}$  sc +  $\frac{3}{4}$  te ; F56 :  $\frac{3}{4}$  sc +  $\frac{1}{4}$  bac ; F57 :  $\frac{1}{2}$  sc +  $\frac{1}{2}$  bac ; F58 :  $\frac{1}{4}$  sc +  $\frac{3}{4}$  bac ; F59 :  $\frac{3}{4}$  sc +  $\frac{1}{4}$  te + f ; F60 :  $\frac{1}{2}$  sc +  $\frac{1}{2}$  te + f ; F61 :  $\frac{1}{4}$  sc +  $\frac{3}{4}$  te + f ; F62 :  $\frac{3}{4}$  sc +  $\frac{1}{4}$  bac + f ; F63 :  $\frac{1}{2}$  sc +  $\frac{1}{2}$  bac + f ; F64 :  $\frac{1}{4}$  sc +  $\frac{3}{4}$  bac + f ; F65 : 100% te + NPK.

### 1.3. Discussion

Le taux de germination des graines varie significativement en fonction des formulations étudiées ( $P = 0,001 < 0,05$  ; ddl = 64). Cette variation est également en accord avec les travaux de Touckia *et al.* (2015) qui ont montré que les paramètres de germination varient en fonction des substrats utilisés. La sciure de bois a permis une germination importante des graines de tomate. F3 (sciure uniquement) a obtenu un taux de germination de  $98,333 \pm 2,887$  %. La capacité de la sciure à retenir l'eau (CAE) pourrait expliquer ce taux de germination élevé. Ortega-Martínez *et al.* (2010) confirment cette hypothèse à la suite de leur étude sur la germination des graines de tomate par l'utilisation de la sciure de bois. En effet, ces derniers ont affirmé que la sciure de bois possède une capacité d'absorption significative de l'eau et favorise de ce fait la germination des graines. Les balles de riz (F2) n'ont pas favorisé la germination des graines de tomates ( $12,00 \pm 0,58$  % pour F2). La formulation composée uniquement de son de riz n'a également pas favorisée la germination des graines de tomate. L'inaptitude des balles de riz à faciliter une bonne germination des graines est un phénomène qui a été observé par Ahn & Chung (2000). Pour ces auteurs, c'est la présence de produits hydrosolubles à activité allélopathique dans les balles de riz brutes qui empêcheraient la germination des graines. La présence de ces substances hydrosolubles dans le son de riz pourrait également expliquer l'absence de germination des graines au niveau de la formulation F2 (son de riz). Néanmoins, au niveau des balles de riz carbonisées, il a été constaté que la germination est nettement meilleure ( $75,00 \pm 5,00$  % pour F5) que celles observées sur les balles de riz. La carbonisation est une technique de dégradation du substrat naturel. De ce fait, elle a pu améliorer le taux de germination des graines par la destruction des produits hydrosolubles qui initialement étaient un frein. Les travaux de Lemieux & Larochelle (1992) semblent soutenir cette hypothèse puisqu'ils ont observé une augmentation de près de 50 % du taux de germination des graines de tomate sur les balles de riz compostées contrairement aux balles de riz brutes.

En ce qui concerne la hauteur des tiges et le nombre de feuilles des plants, ils varient significativement en fonction des formulations de substrat ( $P = 0,001 < 0,05$  ; ddl = 64). Cela est en accord avec les résultats des travaux de Hamidi en 2018. Ce dernier a constaté une variation significative des paramètres de croissance des plantes de tomate cultivées sur différents substrats de culture à base de sol, de sable et de tourbe. Les formulations présentant des plants ayant les plus grandes hauteurs de tige et les plus grands nombres de feuilles par rapport aux témoins (F1) sont celles qui contiennent une proportion de balle de riz carbonisée (F 47, F 48, F 49, F 50, F 51). Un constat similaire a été fait par Kikuno *et al.* (2006) qui ont affirmé que l'utilisation des balles de riz carbonisées comme substrat de culture en pépinière, augmente le nombre de racines ainsi que

le nombre et la longueur des nouvelles pousses. Au niveau de fiente de poulets, les bonnes caractéristiques de croissance des plants issus des formulations qui en contiennent sont dues au fait que ces déjections avicoles améliorent les qualités physiques, chimiques et biologiques des substrats auxquelles elles sont ajoutées. Cela est confirmé par Chabalier *et al.* (2007) qui ajoutent que les volailles rejettent 70 % de l'azote et du phosphore consommés dans les déjections. Les plants issus des formulations avec un fort taux de son de riz, sciure de bois et de balle de riz brute (non carbonisée) présentent le plus souvent des caractéristiques plus faibles que celles des témoins (F1). En ce qui concerne le son de riz, l'observation montre une tendance à la compaction plus ou moins importante selon sa proportion dans les formulations le contenant (surtout en présence de terre), empêchant ainsi le bon développement (asphyxie) des racines et rend l'eau indisponible pour la plante (l'eau s'écoule aussitôt après arrosage). Cette compaction s'explique par sa richesse en amidon qui est insoluble à l'eau froide. En effet, le son de riz a une teneur en glucide comprise entre 42 % et 45 % (Satter *et al.*, 2014). La balle de riz brute est très perméable, l'eau n'est donc pas disponible pour permettre la nutrition de la plante. Ces résultats sont conformes à ceux de Lemieux & Larochelle (1992) qui attribuent quant à eux la mauvaise croissance des plants de tomate sur les balles de riz à l'action phytotoxique des balles brutes dû à un rapport C/N très élevé.

#### **1.4. Conclusion partielle**

Les sous-produits issus de l'agriculture peuvent être valorisés comme substrats de culture en agronomie. Parmi toutes les formulations réalisées, certaines formulations (F3, F5) présentent un taux de germination élevé et des plants avec une hauteur et un nombre de feuilles assez faibles. D'autres formulations (F1, F47) ont par contre un taux de germination faible ou moyen mais possèdent des plants avec une hauteur et un nombre de feuilles élevée. Cependant, nous avons constaté que les formulations constituées de balles de riz carbonisées et de terre (F48, F49) uniquement et celles composées de balles de riz carbonisées + terre et supplémentées de fiente de poulets (F51, F52) possèdent les meilleures caractéristiques en prenant en compte à la fois le taux de germination et les paramètres de croissance. Ces formulations favorisent une bonne germination des graines et une croissance optimale des plantules de tomate. Dans la suite de cette étude, les formulations composées de terre et de balles de riz carbonisées (avec et sans fiente) ont été sélectionnées pour réaliser la culture de la tomate en hors sol (pépinière et champ) afin de déterminer leur capacité à supporter tout le cycle végétatif des plantes de tomate et à donner une production quantitativement et qualitativement appréciable.

## CHAPITRE 2 : Tests des formulations sélectionnées pour supporter un cycle complet de culture

### 2.1. Introduction

Les formulations composées de terre et de balles de riz carbonisées ont été sélectionnées à la suite des tests préliminaires et utilisées pour réaliser un cycle complet de culture. Le cycle de culture s'est étendu de la pépinière à la production de fruits. L'expérience a été réalisée trois fois et a fourni dans cette section les résultats montrant l'effet des formulations sur tout le cycle végétatif de la tomate.

### 2.2. Résultats

#### 2.2.1. Phase pépinière

##### 2.2.1.1. Effet des formulations sélectionnées sur le taux et la vitesse de germination

Le taux de germination des graines de tomate a varié de 77,788 à 99,67 %. La vitesse de germination des graines a quant à elle varié de 12,130 à 19,23 plantules/jour (Tableau XIII). Les analyses statistiques ont donné une probabilité de 0,462 ( $P = 0,462$  et  $ddl = 11$ ) pour le taux de germination et une probabilité de 0,904 ( $P = 0,904$  et  $ddl = 11$ ) pour la vitesse de germination des graines des formulations concernées. Ces deux probabilités étant supérieures au seuil de 0,05 ( $P > 0,05$ ) ; le taux et la vitesse de germination ne varie pas significativement en fonction des formulations de substrat. Les formulations F50, F51, F52 et F6 ont respectivement des taux de germination de 99,667 % ; 97,576 % ; 82,712 % et 77,788 %. Quant à F1, F5, F10, F48 et F65, leurs taux de germination sont de 95,076% (F1), 92,333% (F5), 95,333% (F10), 98,667 % (F48) et 90,909 % (F65). F47 et F49 ont un taux de germination identique et qui est de 99,00%.

Tableau XIII : Effet de l'ensemble des formulations sur le taux et la vitesse de germination

| Formulations | Taux de germination (%)      | Vitesse de germination (plantules/jour) |
|--------------|------------------------------|---|
| <b>F1</b>    | 95,08 ± 5,12 <sup>a</sup>    | 17,12 ± 4,67 <sup>a</sup>               |
| <b>F5</b>    | 92,33 ± 13,28 <sup>a</sup>   | 16,73 ± 8,24 <sup>a</sup>               |
| <b>F47</b>   | 99,00 ± 1,73 <sup>a</sup>    | 17,52 ± 8,42 <sup>a</sup>               |
| <b>F48</b>   | 98,67 ± 2,31 <sup>a</sup>    | 17,33 ± 7,34 <sup>a</sup>               |
| <b>F49</b>   | 99,00 ± 1,73 <sup>a</sup>    | 19,23 ± 5,46 <sup>a</sup>               |
| <b>F6</b>    | 77,788 ± 32,923 <sup>a</sup> | 12,130 ± 3,347 <sup>a</sup>             |
| <b>F10</b>   | 95,333 ± 8,083 <sup>a</sup>  | 15,123 ± 6,980 <sup>a</sup>             |
| <b>F50</b>   | 99,67 ± 0,577 <sup>a</sup>   | 17,897 ± 6,118 <sup>a</sup>             |
| <b>F51</b>   | 97,576 ± 2,503 <sup>a</sup>  | 17,577 ± 7,474 <sup>a</sup>             |
| <b>F52</b>   | 82,712 ± 17,997 <sup>a</sup> | 13,880 ± 5,413 <sup>a</sup>             |
| <b>F65</b>   | 90,909 ± 12,856 <sup>a</sup> | 17,305 ± 4,829 <sup>a</sup>             |
| <b>P</b>     | <b>0,462</b>                 | <b>0,904</b>                            |

Les moyennes de la même colonne suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % ( $p < 0,05$ ), F : formulation ; te : terre ; so : son de riz ; sc : sciure de bois ; ba : balles de riz ; bac : balles de riz carbonisée. f : fiente de poulets.

F1 : te ; F5 : bac ; F6 : te + f ; F10 : bac + f ; F47 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te ; F48 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te ; F49 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te ; F50 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te + f ; F51 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te + f ; F52 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te + f ; F65 : te + NPK.

### 2.2.1.2. Corrélation entre le taux de germination et la vitesse de germination

L'évolution du taux de germination par rapport à la vitesse de germination a été déterminé par un test de corrélation. Le test de corrélation a donné un coefficient de corrélation  $r = 0,537$  entre le taux et la vitesse de germination (Tableau XIV).

Tableau X : Résultats du test de corrélation entre le taux et la vitesse de germination des graines de tomate

| Variables              | Taux de germination | Vitesse de germination |
|------------------------|---------------------|------------------------|
| Taux de germination    | 1                   | 0,537                  |
| Vitesse de germination | 0,537               | 1                      |

### 2.2.1.3. Hauteur moyenne des tiges, nombre moyen de feuilles, couleur des feuilles et état sanitaire des plantes de tomate

Les paramètres de croissance en pépinière concernent la hauteur des tiges et le nombre de feuilles des plantes, l'état sanitaire des plants, le nombre de feuilles et la couleur des feuilles. Ces paramètres ont été déterminé du 12<sup>ème</sup> au 21<sup>ème</sup> jour de la pépinière (Figure 30).



Figure 30 : Plants de tomate en pépinière

JAS : Jours après semis ; A : 12 JAS ; B : 15 JAS ; C : 18 JAS et D : 21 JAS

➤ **Evolution de la hauteur moyenne des tiges des plantes de tomate**

Les courbes d'évolution en fonction du temps de la hauteur des tiges des plantes des formulations F51, F52, F50, F6 et F10 présentent toutes des allures croissantes (Figure 31). Quant aux courbes des formulations F1, F5, F47, F48, F49 et F65, elles sont restées quasiment constante. Au 12<sup>ème</sup> jour, la hauteur des tiges des plantes varie entre 3,25 cm (F5) et 6,59 cm (F51). Au 21<sup>ème</sup> jour, la hauteur des tiges des plantes de F51, F52 et F50 mesure respectivement 17,539 cm ; 15,330 cm et 14,998 cm. Celle des plantes de F10, F6, F65 et F49 mesure respectivement 12,930 cm ; 12,840 cm ; 6,067 cm et 8,040 cm. Quant aux plantes de F1, F5, F47 et F48, elles mesurent 6,910 cm pour F1, 4,006 cm pour F5, 5,499 cm pour F47 et 7,268 cm pour F48.

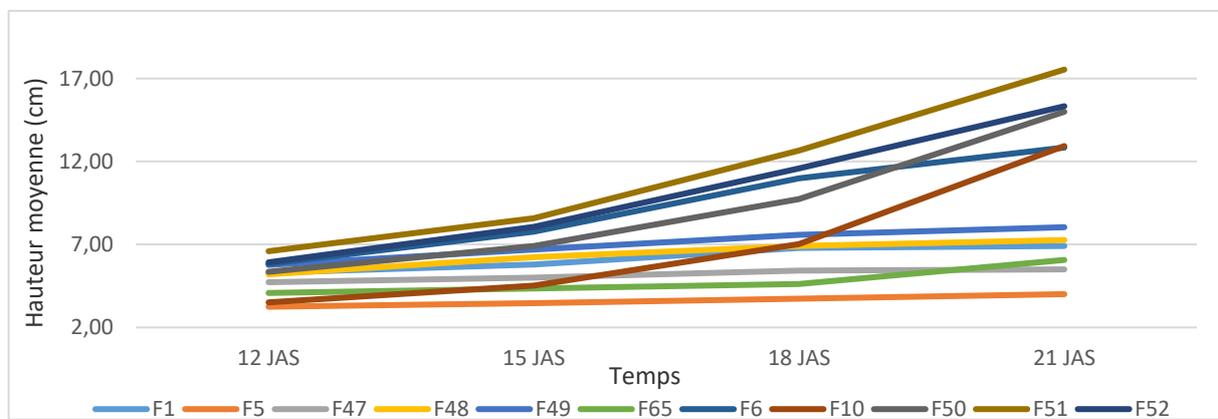


Figure 31 : Evolution de la hauteur moyenne des tiges des plantes de tomate des formulations en fonction du temps, F : formulation ; te : terre ; bac : balles de riz carbonisée. f : fiente de poulets, JAS : jours après semis.  
 F1 : te ; F5 : bac ; F6 : te + f ; F10 : bac + f ; F47 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te ; F48 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te ; F49 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te ; F50 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te + f ; F51 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te + f ; F52 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te + f ; F65 : te + NPK.

➤ **Evolution du nombre moyen de feuilles des plantes de tomate**

Le décompte du nombre de feuilles des plantes a permis de montrer que l'évolution des feuilles des plantes de chacune des formulations pendant la phase pépinière (Figure 32). Pour l'ensemble des plantules, nous avons constaté une évolution croissante du nombre de feuilles. Le nombre de feuilles des plantes au 12<sup>ème</sup> jour est compris entre 1,10 feuilles (F1) et 2,22 feuilles (F51). Au 21<sup>ème</sup> jour, F51, F52, F50 et F6 possèdent respectivement des plantes ayant 4,26 feuilles, 3,98 feuilles, 3,92 feuilles et 3,94 feuilles. F1, F5, F10, F47, F48, F49 et F65 ont également des plantes possédant 2,42 feuilles (F1) ; 1,77 feuilles (F5) ; 3,56 feuilles (F10) ; 2,29 feuilles (F47) ; 2,85 feuilles (F48) ; 2,76 feuilles (F49) et 2,79 feuilles (F65).

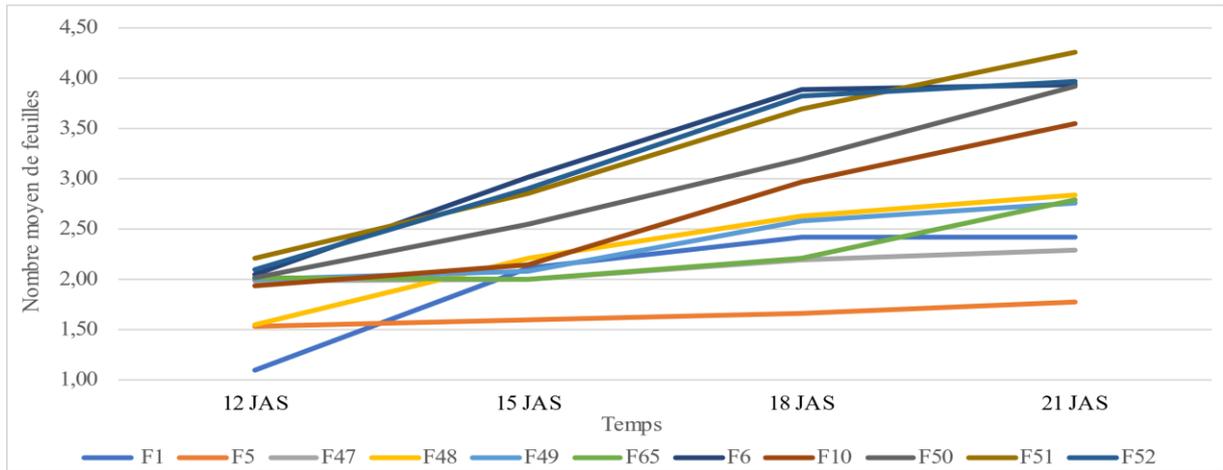


Figure 32 : Courbe d'évolution du nombre de feuilles des plantes de tomate des formulations en fonction du temps, F : formulation ; te : terre ; bac : balles de riz carbonisée. f : fiente de poulets, JAS : jours après semis

F1 : te ; F5 : bac ; F6 : te + f ; F10 : bac + f ; F47 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te ; F48 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te ; F49 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te ; F50 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te + f ; F51 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te + f ; F52 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te + f ; F65 : te + NPK.

➤ **Effet des formulations sur la hauteur moyenne des tiges et le nombre moyen de feuilles des plantes de tomate**

La distribution de la hauteur des tiges et du nombre de feuilles suit la loi normale du fait du nombre important d'individus. Un test de comparaisons des variances a donc été réalisé. Les probabilités de la hauteur des tiges et du nombre de feuilles obtenues pour ce dernier test sont toutes inférieures à 0,0001 (donc inférieures à 0,05). Les variances n'étant donc pas identique au niveau de chaque variable, le test de Kruskal-Wallis a été utilisé pour déterminer l'effet des formulations sur la hauteur des tiges et le nombre de feuilles (Tableau XV). Pour chacune des variables précédemment citées, une probabilité inférieure à 0,0001 a été obtenue ( $P < 0,0001 < 0,05$ ). La hauteur des tiges et le nombre de feuilles varient donc significativement en fonction des différentes formulations de substrats. Les comparaisons multiples par paire montrent que la formulation F51 possède les meilleures caractéristiques avec des plantes dont les tiges ont une hauteur de  $17,500 \pm 3,648$  cm de hauteur et possèdent  $4,259 \pm 0,585$  feuilles. Quant à F5, les plants de cette formulation ont les plus faibles hauteurs de tiges ( $4,058 \pm 1,167$  cm de hauteur) et le plus petit nombre de feuilles ( $1,674 \pm 0,544$  feuilles). Les autres formulations ont des plantes avec des hauteurs de tiges et des nombres de feuilles se situant entre celles de F51 et F65.

Tableau XV : Hauteur moyenne des tiges et nombre moyen de feuilles des plants de tomate en fonction des formulations au 21<sup>ème</sup> jour après le semis

| Formulations | Hauteur moyenne des tiges (cm) | Nombre moyen de feuilles    |
|--------------|--------------------------------|-----------------------------|
| <b>F1</b>    | 6,931 ± 2,839 <sup>e</sup>     | 2,422 ± 0,685 <sup>ef</sup> |
| <b>F5</b>    | 4,058 ± 1,167 <sup>g</sup>     | 1,674 ± 0,544 <sup>g</sup>  |
| <b>F47</b>   | 5,511 ± 1,084 <sup>f</sup>     | 2,298 ± 0,471 <sup>f</sup>  |
| <b>F48</b>   | 7,268 ± 1,857 <sup>de</sup>    | 2,644 ± 0,652 <sup>de</sup> |
| <b>F49</b>   | 8,051 ± 1,942 <sup>d</sup>     | 2,765 ± 0,565 <sup>de</sup> |
| <b>F10</b>   | 12,952 ± 4,424 <sup>c</sup>    | 3,556 ± 0,619 <sup>c</sup>  |
| <b>F50</b>   | 14,972 ± 3,982 <sup>b</sup>    | 3,919 ± 0,489 <sup>b</sup>  |
| <b>F51</b>   | 17,500 ± 3,648 <sup>a</sup>    | 4,259 ± 0,585 <sup>a</sup>  |
| <b>F52</b>   | 15,318 ± 2,254 <sup>b</sup>    | 3,978 ± 0,553 <sup>ab</sup> |
| <b>F6</b>    | 12,886 ± 3,018 <sup>c</sup>    | 3,948 ± 0,697 <sup>b</sup>  |
| <b>F65</b>   | 6.067 ± 1,770 <sup>f</sup>     | 3,096 ± 0,976 <sup>d</sup>  |
| <b>P</b>     | < 0,0001                       | < 0,0001                    |

Les valeurs dans la même colonne suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % ( $p < 0,05$ ), F : formulation ; te : terre ; bac : balles de riz carbonisée. f : fiente de poulets.

F1 : te ; F5 : bac ; F6 : te + f ; F10 : bac + f ; F47 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te ; F48 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te ; F49 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te ; F50 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te + f ; F51 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te + f ; F52 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te + f ; F65 : te + NPK.

#### 2.2.1.4. Couleur des feuilles des plants de tomate des formulations

La couleur des feuilles des plants des différentes formulations évolue au cours de la phase pépinière (Figure 33D). En effet, la majorité des plantes des différentes formulations possèdent au 12<sup>em</sup> jour de la pépinière des feuilles de couleur vert clair (Figure 33B). Au 21<sup>em</sup> jour de la pépinière, F5, F47 et F48 ont les feuilles de la majorité de leurs plantes de couleur vert et légèrement jaune (Figure 33A). Les plantes de F1, F6, F10, F49 et F65 ont des feuilles majoritairement de couleur vert clair. Quant aux formulations F50, F51 et F52, la grande partie de leurs plantes ont des feuilles de couleur vert – foncé (Figure 33C).

## Résultats et discussion

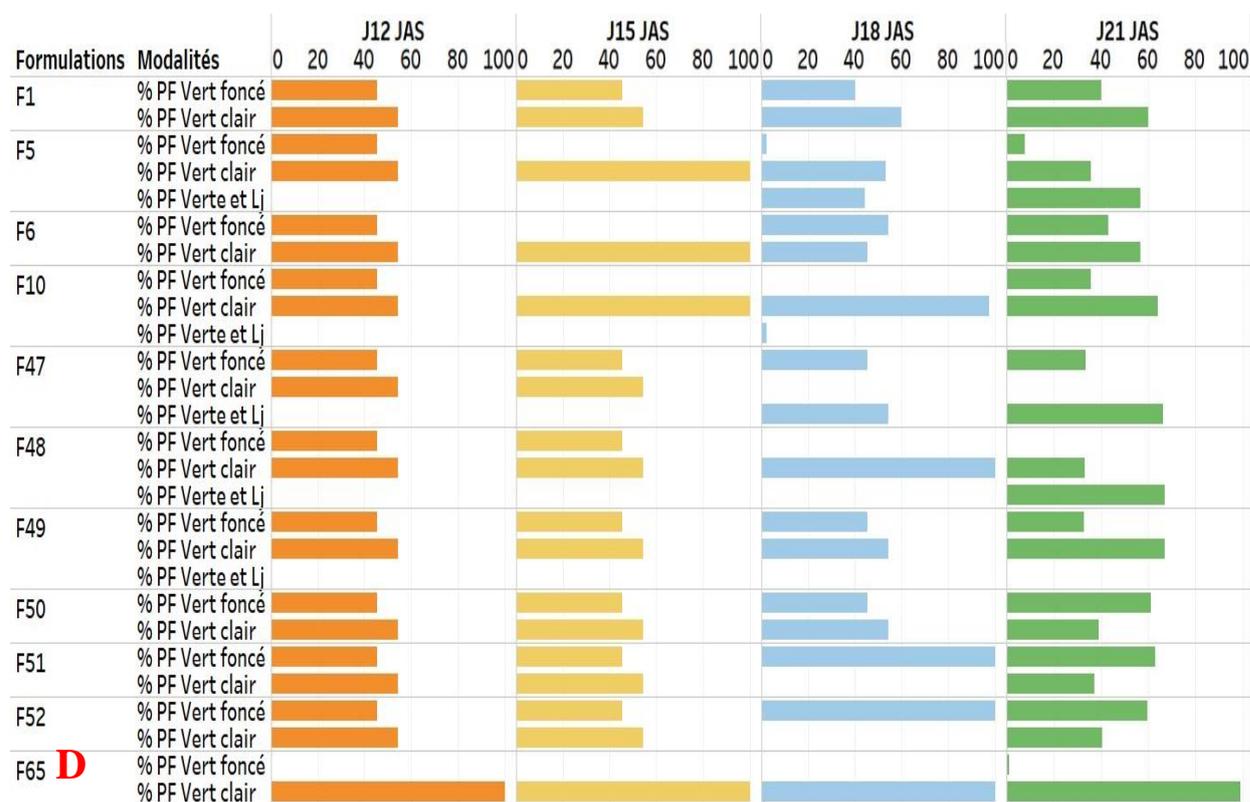


Figure 33 : Evolution de la couleur des feuilles des plantes de tomates des formulations pendant la pépinière

A : plants ayant des feuilles légèrement jaunes ; B : plants ayant des feuilles vert-clair ; C : plants ayant des feuilles vert-foncé ; D : graphique présentant l'évolution des couleurs des feuilles des plants des différentes formulations au cours du temps. % PF : pourcentage de plantes avec des feuilles de couleur

F : formulation ; te : terre ; bac : balles de riz carbonisée. f : fiente de poulets.

F1 : te ; F5 : bac ; F6 : te + f ; F10 : bac + f ; F47 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te ; F48 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te ; F49 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te ; F50 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te + f ; F51 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te + f ; F52 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te + f ; F65 : te + NPK.

JAS : jours après le semis ; valeur : pourcentage de plantes (%) ; Vert foncé > vert clair > verte Lj (légèrement jaune) > verte Mj (moyennement jaune) > jaune

La couleur verte et légèrement jaune est la couleur des feuilles de 17,510 % des plantes de toutes les formulations (Tableau XVI). Par la suite, la couleur vert-clair est celle des feuilles de 51,456% des plantes. Enfin, 37,441 % des plantes ont leurs feuilles de couleur vert-foncé.

Tableau XI : Répartition des plantes des formulations en fonction des différentes couleurs de feuilles au 21<sup>ème</sup> jour après le semis

| Couleur des feuilles des plants |                      |                      |                      |                    |
|---------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------|
| Formulations                    | Vert et Lj           | Vert clair           | Vert foncé           | Total              |
| F1                              | 0                    | 82 (5,552%)          | 55 (3,724%)          | 137 (9,276%)       |
| F10                             | 0                    | 88 (5,958%)          | 49 (3,318%)          | 137 (9,276%)       |
| F47                             | 95 (6,432%)          | 0                    | 48 (3,250%)          | 143 (9,682%)       |
| F48                             | 47 (3,182%)          | 95 (6,432%)          | 47 (3,182%)          | 142 (9,614%)       |
| F49                             | 0                    | 96 (6,500%)          | 47 (3,182%)          | 143 (9,682%)       |
| F5                              | 75 (5,078%)          | 47 (3,182%)          | 10 (0,677%)          | 132 (8,937%)       |
| F50                             | 0                    | 56 (3,791%)          | 88 (5,958%)          | 144 (9,749%)       |
| F51                             | 0                    | 52 (3,521%)          | 88 (5,958%)          | 140 (9,479%)       |
| F52                             | 0                    | 48 (3,250%)          | 71 (4,807%)          | 119 (8,057%)       |
| F6                              | 0                    | 63 (4,265%)          | 48 (3,250%)          | 111 (7,515%)       |
| F65                             | 0                    | 127 (8,599%)         | 2 (0,135%)           | 129 (8,734%)       |
| <b>Total</b>                    | <b>170 (11,510%)</b> | <b>760 (51,456%)</b> | <b>553 (37,441%)</b> | <b>1477 (100%)</b> |

F : formulation ; te : terre ; bac : balles de riz carbonisée. f : fiente de poulets. F1 : te ; F5 : bac ; F6 : te + f ; F10 : bac + f ; F47 : ¾ bac + ¼ te ; F48 : ½ bac + 1/2 te ; F49 : ¼ bac + ¾ te ; F50 : ¾ bac + ¼ te + f ; F51 : ½ bac + ½ te + f ; F52 : ¼ bac + ¾ te + f ; F65 : te + NPK. Vert-foncé > vert-clair > vert Lj (vert et légèrement jaune) > vert Mj (vert et moyennement jaune) > Jaune.

Pour toutes les formulations et toutes les modalités représentées, les effectifs théoriques sont supérieurs à 5 (Tableau XVII). Un test de Khi2 a été réalisé pour déterminer l'effet des formulations sur la couleur des feuilles des plantes.

Tableau XII : Effectifs théoriques des couleurs de feuilles des plantes des formulations au 21<sup>ème</sup> jour après le semis

| Couleur des feuilles |            |            |            |             |
|----------------------|------------|------------|------------|-------------|
| Formulations         | Vert et Lj | Vert clair | Vert foncé | Total       |
| F1                   | 15,768     | 69,938     | 51,294     | 137         |
| F10                  | 15,768     | 69,938     | 51,294     | 137         |
| F47                  | 16,459     | 73,001     | 53,540     | 143         |
| F48                  | 16,344     | 72,490     | 53,166     | 142         |
| F49                  | 16,459     | 73,001     | 53,540     | 143         |
| F5                   | 15,193     | 67,385     | 49,422     | 132         |
| F50                  | 16,574     | 73,511     | 53,915     | 144         |
| F51                  | 16,114     | 71,469     | 52,417     | 140         |
| F52                  | 13,697     | 60,749     | 44,555     | 119         |
| F6                   | 12,776     | 56,665     | 41,559     | 111         |
| F65                  | 14,848     | 65,854     | 48,299     | 129         |
| <b>Total</b>         | <b>170</b> | <b>754</b> | <b>553</b> | <b>1477</b> |

F : formulation ; te : terre ; bac : balles de riz carbonisée. f : fiente de poulets. F1 : te ; F5 : bac ; F6 : te + f ; F10 : bac + f ; F47 : ¾ bac + ¼ te ; F48 : ½ bac + 1/2 te ; F49 : ¼ bac + ¾ te ; F50 : ¾ bac + ¼ te + f ; F51 : ½ bac + ½ te + f ; F52 : ¼ bac + ¾ te + f ; F65 : te + NPK. Vert-foncé > vert-clair > vert lj (vert et légèrement jaune) > vert mj (vert et moyennement jaune) > jaune.

L'effet des formulations sur la couleur des feuilles et l'état sanitaire des plants a été déterminé à partir du test de  $\text{Khi}^2$ . Le test de  $\text{Khi}^2$  a donné une probabilité inférieure à 0,0001 au niveau de la couleur des feuilles et de l'état sanitaire des plants. La couleur des feuilles et l'état sanitaire des plants varient donc significativement en fonction des formulations de substrat.

### 2.2.1.5. Classification ascendante hiérarchique des formulations en fonction de la hauteur des tiges et du nombre de feuilles de leurs plantes de tomate

Une classification ascendante hiérarchique a permis de mettre en évidence le regroupement des formulations en fonction de la hauteur des tiges et du nombre de feuilles des plantes. Cette classification ascendante hiérarchique nous a donné un dendrogramme (Figure 34). La ligne en pointillés représente la troncature et permet de visualiser que deux classes ont été identifiées. Le premier groupe (bleu) est plus homogène que le second groupe (rouge). La classe 2 qui contient les formulations que sont F52, F51, F50, F10 et F6. La classe 1 comprend les formulations F5, F1, F47, F48, F49 et F65.

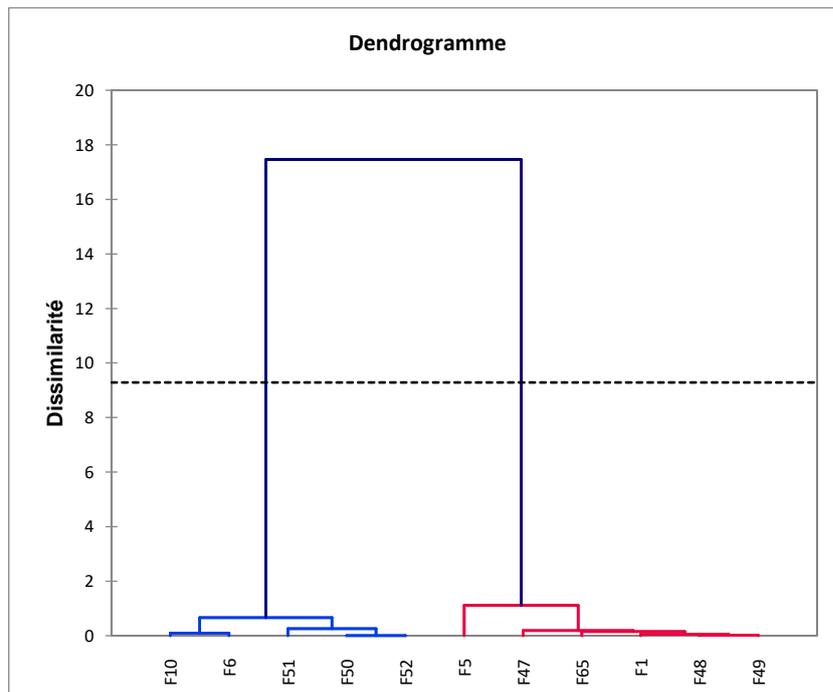


Figure 34 : Regroupement des formulations en fonction de la hauteur des tiges et du nombre de feuilles des plantes de tomate

F : formulation ; te : terre ; bac : balles de riz carbonisée. f : fiente de poulets. F1 : te ; F6 : te + f ; F10 : bac + f ; F47 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te ; F48 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te ; F49 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te ; F50 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te + f ; F51 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te + f ; F52 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te + f ; F65 : te + NPK.

### 2.2.1.6. Corrélation entre la hauteur des tiges et le nombre de feuilles des plantes de tomate des formulations

Des corrélations ont été réalisées entre la hauteur des plantules, la hauteur des tiges et le nombre de feuille (Tableau XVIII). Nous avons des corrélations positives entre ces trois paramètres. Nous observons une corrélation positive et forte entre la hauteur des tiges des plantes et le nombre de feuilles avec  $r = 0,785$ . De ce fait, lorsque la hauteur des tiges augmente, le nombre de feuilles augmente également.

Tableau XVIII : Corrélation entre la hauteur des tiges et le nombre de feuilles des plantes de tomate des formulations au 21<sup>ème</sup> jour après le semis

| Paramètres         | Hauteur des tiges | Nombre de feuilles |
|--------------------|-------------------|--------------------|
| Hauteur des tiges  | 1,000             | 0,779              |
| Nombre de feuilles | 0,779             | 1,000              |

### 2.2.2. Paramètres mesurés en parcelle expérimentale

De nombreux paramètres ont été mesurés en parcelle expérimentale ont permis d'apprécier le développement des plantes sur les différents substrats étudiés.

#### 2.2.2.1. Détermination de la hauteur, du diamètre, du nombre de feuilles et du nombre de gourmands des plantes de tomate des formulations

##### 2.2.2.1.1. Evolution de la hauteur, du diamètre, du nombre de feuilles et du nombre de gourmands des plantes de tomate

La hauteur moyenne des tiges, le diamètre, le nombre moyen de feuilles et le nombre moyen de gourmands des plantes en parcelle expérimentale ont été mesurés tous les 10 jours, du 10<sup>ème</sup> au 70<sup>ème</sup> jours après le repiquage afin d'étudier l'évolution des plantes. La figure 35 présente quelques moments de cette évolution.



Figure 35 : Croissance des plantes de tomate au cours du temps  
JAR : jours après repiquage ; A : 10 JAR ; B : 30 JAR ; C : 50 JAR ; D : 70 JAR

➤ **Hauteur moyenne des tiges des plantes de tomate**

Les courbes d'évolution de la hauteur des tiges des plantes des formulations en fonction du temps ont une allure croissante (Figure 36). Il a été constaté une évolution de la hauteur des tiges des plantes au cours du temps. En effet, de la première mesure (10 JAR) à la deuxième mesure (20 JAR), la hauteur des tiges des plantes augmente lentement. De la deuxième mesure à la sixième mesure (60 JAR), la croissance en hauteur des plantes est plus accélérée. De la sixième mesure à la septième mesure, les plantes de plus grandes tailles ont leur croissance qui ralentit et tend à se stabiliser entre 61 et 66 cm de hauteur. Les plantes n'ayant pas encore atteint cette hauteur maintiennent toujours une forte croissance. Les plantes de la formulation F5 sont les seules à avoir gardé quasiment la même taille de la première à la septième mesure.

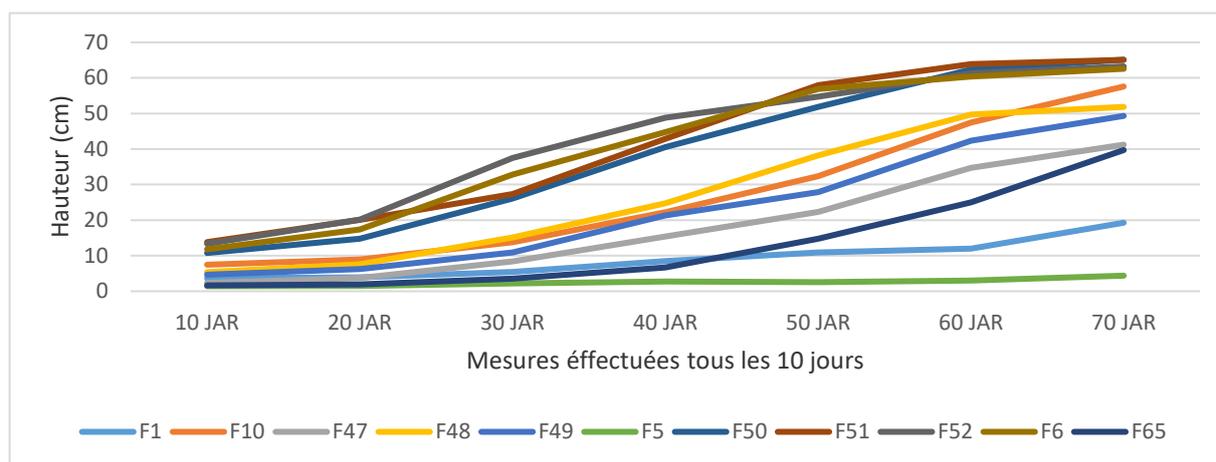


Figure 36 : Evolution de la hauteur des tiges des plantes de tomate des formulations en fonction du temps

F : formulation ; te : terre ; bac : balles de riz carbonisée. f : fiente de poulets. F1 : te ; F5 : bac ; F6 : te + f ; F10 : bac + f ; F47 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te ; F48 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te ; F49 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te ; F50 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te + f ; F51 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te + f ; F52 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te + f ; F65 : te + NPK. JAR : jours après repiquage.

#### ➤ Diamètre moyen des tiges des plantes de tomate

L'évolution du diamètre des plantes des formulations sur une période de 70 jours après le repiquage est mis en évidence à travers plusieurs courbes (Figure 39). Ces courbes permettent de dire qu'exceptée les plantes au cours des de la formulation F5 dont le diamètre ne varie presque pas au cours des 70 jours qu'a duré la prise de mesure, les plantes des autres formulations ont leurs diamètres qui croient fortement depuis la première prise de mesure jusqu'à la sixième prise de mesure. De 60 à 70 jours après le repiquage, il a été observé un ralentissement général de la croissance en épaisseur des tiges (Figure 37).

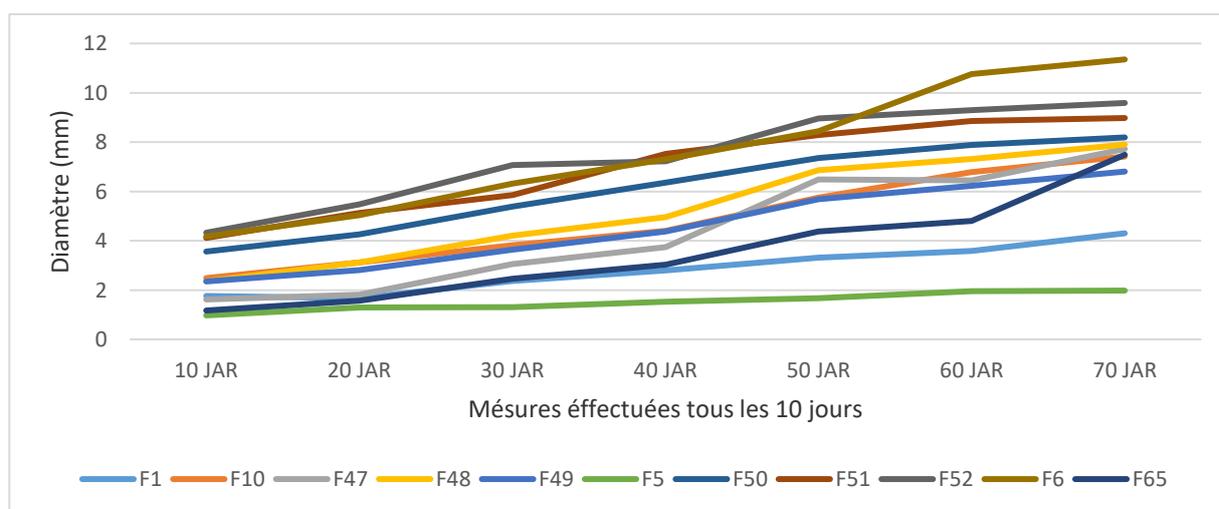


Figure 37 : Evolution du diamètre moyen des plantes de tomate des formulations en fonction du temps

F : formulation ; te : terre ; bac : balles de riz carbonisée. f : fiente de poulets. F1 : te ; F5 : bac ; F6 : te + f ; F10 : bac + f ; F47 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te ; F48 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te ; F49 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te ; F50 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te + f ; F51 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te + f ; F52 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te + f ; F65 : te + NPK. JAR : jours après repiquage.

➤ **Nombre moyen de feuilles des plantes de tomate**

Le nombre moyen de feuilles des plantes des formulations augmente régulièrement de 10 à 70 jours après le repiquage (Figure 38). Cette augmentation est moins marquée au niveau des plantes de F5 qu’au niveau des plantes des autres formulations.

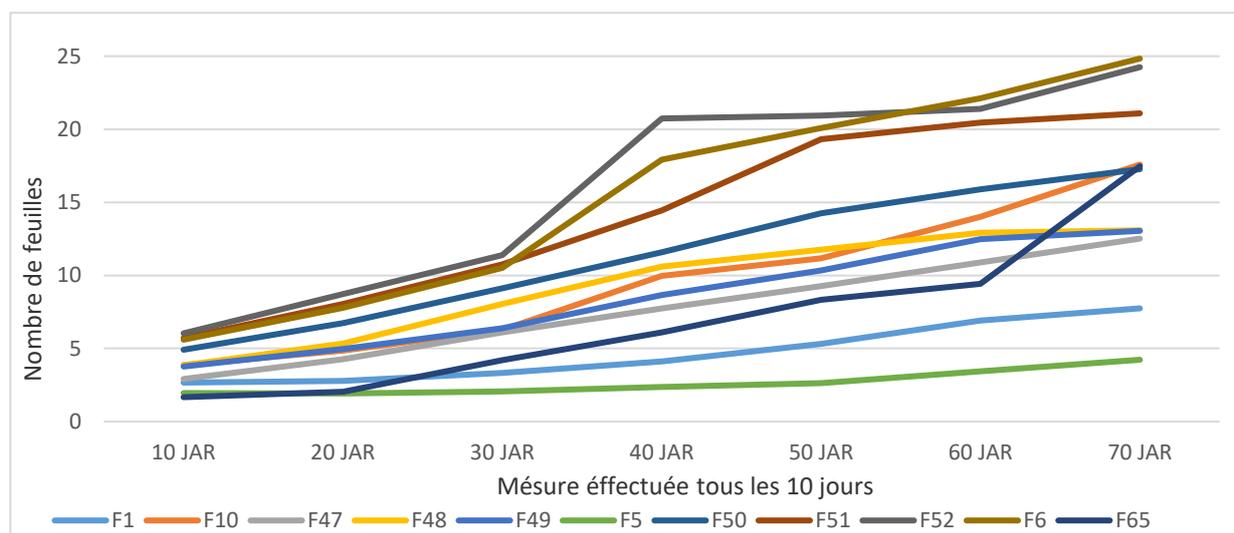


Figure 38 : Evolution du nombre moyen de feuilles des plantes de tomate des formulations en fonction du temps

F : formulation ; te : terre ; bac : balles de riz carbonisée. f : fiente de poulets. F1 : te ; F5 : bac ; F6 : te + f ; F10 : bac + f ; F47 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te ; F48 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te ; F49 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te ; F50 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te + f ; F51 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te + f ; F52 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te + f ; F65 : te + NPK. JAR : jours après repiquage.

➤ **Nombre moyen de gourmands des plantes de tomate**

L’histogramme ci-dessous (Figure 39) renseigne sur l’apparition des gourmands au niveau des plantes des formulations. L’on a constaté que cette apparition ne se fait pas au même moment pour toute les plantes et pour toutes les formulations. Les premiers gourmands apparaissent sur les plantes 30 jours après le repiquage au niveau des plantes des formulations F48, F51, F50, F52 et F6. Les premiers gourmands ont été observés 40 jours après le repiquage (40 JAR) au niveau des plantes de F48 et F10 et 50 jours après le repiquage chez celles de F47. Soixante-dix jours après le repiquage, il a été observé des gourmands au niveau de F65, F47, F49, F48, F50, F10, F51, F6 et F52.

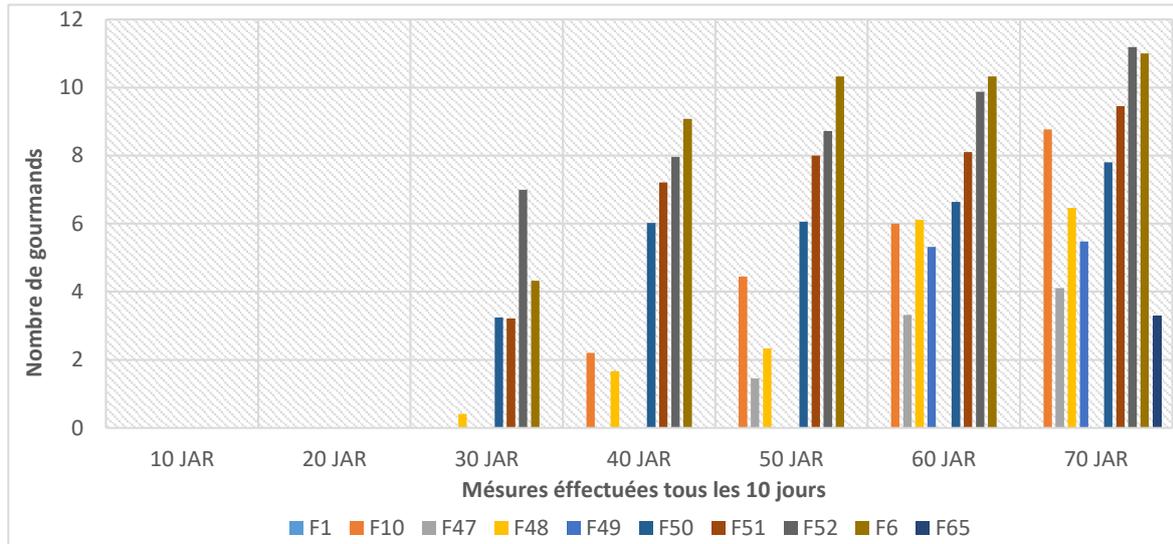


Figure 39 : Evolution du nombre moyen de gourmands des plantes de tomate des formulations en fonction du temps

F : formulation ; te : terre ; bac : balles de riz carbonisée. f : fiente de poulets. F1 : te ; F5 : bac ; F6 : te + f ; F10 : bac + f ; F47 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te ; F48 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te ; F49 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te ; F50 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te + f ; F51 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te + f ; F52 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te + f ; F65 : te + NPK. JAR : jours après repiquage.

### 2.2.2.1.2. Effets des formulations sur la hauteur moyenne, le diamètre moyen, le nombre moyen de feuilles et le nombre moyen de gourmands des plantes de tomate

Les distributions de la hauteur, du diamètre, du nombre de feuilles et du nombre de gourmands des plantes suivent une loi normale du fait que le nombre de plantes pour chaque formulation est supérieur à trente ( $n > 30$ ). Un test d'égalité des variances a donc été réalisé pour comparer les variances des différentes formulations pour une variable donnée. La probabilité du test de comparaison des variances est inférieure à 0,0001 ( $< 0,0001$ ) pour la hauteur des tiges, le nombre de feuilles, le diamètre et le nombre de gourmands des plantes. De ce fait, les variances des différentes formulations sont différentes en ce qui concerne la hauteur des tiges, le nombre de feuilles, le nombre de gourmands et le diamètre des plantes. Le test non paramétrique de Kruskal-Wallis a été utilisé pour déterminer l'effet des formulations sur ces variables. Les probabilités obtenues à partir du test de Kruskal-Wallis sont toutes inférieures à 0,0001 (Tableau XIX) pour toutes les variables ( $P < 0,0001$ ). Alors, la hauteur des tiges, le diamètre des tiges, le nombre de feuilles et le nombre de gourmands varient significativement en fonction des formulations de substrats. F6, F50, F51 et F52 ont présenté les plantes ayant les meilleures caractéristiques pour la hauteur et le diamètre moyen des tiges, le nombre moyen de feuilles et le nombre moyen de gourmands. F6 possède des plantes ayant en moyenne  $62,559 \pm 6,748$  cm de hauteur,  $11,353 \pm 3,539$  mm de diamètre,  $24,838 \pm 12,252$  feuilles,  $4,000 \pm 0,894$

*Résultats et discussion*

gourmands ; pour F51 des plantes ayant  $65,073 \pm 9,689$  cm de hauteur,  $8,977 \pm 1,426$  mm de diamètre,  $20,450 \pm 8,596$  feuilles et  $9,450 \pm 1,101$  gourmands ; les plantes de F50 ont  $65,108 \pm 8,192$  cm de hauteur,  $8,190 \pm 1,097$  mm de diamètre,  $15,900 \pm 3,415$  feuilles et  $7,800 \pm 0,949$  gourmands ; quant aux plantes de F52, elles possèdent en moyenne  $63,241 \pm 8,803$  cm de hauteur,  $9,588 \pm 1,696$  mm de diamètre,  $20,863 \pm 12,798$  feuilles et  $11,189 \pm 1,076$  gourmands. Les plus faibles caractéristiques sont observées au niveau des formulations F1 et F5 avec pour F1 des plantes ayant  $19,269 \pm 13,173$  cm de hauteur,  $4,303 \pm 3,184$  mm de diamètre,  $7,746 \pm 3,149$  feuilles,  $4,000 \pm 0,894$  gourmands et pour F5 des plantes avec  $4,381 \pm 3,099$  cm de hauteur,  $1,936 \pm 0,728$  mm de diamètre,  $4,226 \pm 1,867$  feuilles et aucun gourmand. Les autres formulations possèdent des caractéristiques se situant entre celles de ces deux groupes.

Tableau XIII : Hauteur, diamètre, nombre de feuilles et nombre de gourmands des plantes de tomate des formulations au 70<sup>ème</sup> jour après le repiquage

| <b>Formulations</b> | <b>Hauteur moyenne (cm)</b> | <b>Diamètre moyen (mm)</b> | <b>Nombre moyen de feuilles</b> | <b>Nombre moyen de Gourmands</b> |
|---------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| <b>F48</b>          | $51,846 \pm 10,535^c$       | $7,900 \pm 0,804^b$        | $13,089 \pm 2,834^{bc}$         | $6,46 \pm 0,67^{abcd}$           |
| <b>F49</b>          | $49,3 \pm 10,5^c$           | $6,806 \pm 0,745^d$        | $13,050 \pm 4,343^{cd}$         | $5,475 \pm 2,617^{abcde}$        |
| <b>F47</b>          | $41,221 \pm 10,564^d$       | $6,451 \pm 1,098^d$        | $12,377 \pm 8,192^d$            | $4,11 \pm 2,41^{bcde}$           |
| <b>F65</b>          | $39,700 \pm 9,784^d$        | $7,49 \pm 1,56^{bc}$       | $17,47 \pm 5,55^a$              | $3,29 \pm 0,81^{de}$             |
| <b>F1</b>           | $19,269 \pm 13,173^e$       | $4,303 \pm 3,184^e$        | $7,746 \pm 3,149^e$             | $4,000 \pm 0,894^{cde}$          |
| <b>F5</b>           | $4,381 \pm 3,099^f$         | $1,936 \pm 0,728^f$        | $4,226 \pm 1,867^f$             | $0 \pm 0^e$                      |
| <b>F10</b>          | $57,419 \pm 14,140^b$       | $7,420 \pm 0,952^c$        | $17,644 \pm 6,557^a$            | $8,769 \pm 2,261^{abc}$          |
| <b>F50</b>          | $65,108 \pm 8,192^a$        | $8,190 \pm 1,097^b$        | $15,900 \pm 3,415^a$            | $7,800 \pm 0,949^{abc}$          |
| <b>F51</b>          | $65,073 \pm 9,689^a$        | $8,977 \pm 1,426^a$        | $20,450 \pm 8,596^a$            | $9,450 \pm 1,101^{ab}$           |
| <b>F52</b>          | $63,241 \pm 8,803^a$        | $9,588 \pm 1,696^a$        | $20,863 \pm 12,798^b$           | $11,189 \pm 1,076^a$             |
| <b>F6</b>           | $62,559 \pm 6,748^a$        | $11,353 \pm 3,539^a$       | $24,838 \pm 12,252^a$           | $4,000 \pm 0,894^a$              |
| <b>P</b>            | <b>&lt; 0,0001</b>          | <b>&lt; 0,0001</b>         | <b>&lt; 0,0001</b>              | <b>&lt; 0,0001</b>               |

F : formulation ; P : probabilité associée au test de Kruskal-wallis. Pour chaque paramètre, les valeurs portant les mêmes lettres sont statistiquement égales ( $P \geq 0,05$ )

te : terre ; bac : balles de riz carbonisée. F : Formulation. te : terre ; bac : balles de riz carbonisées ; f : fiente de poulets. F1 : te ; F5 : bac ; F6 : te + f ; F10 : bac + f ; F47 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te ; F48 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te ; F49 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te ; F50 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te + f ; F51 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te + f ; F52 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te + f ; F65 : te + NPK.

La probabilité au niveau de toutes les corrélations réalisées est de 0,0001 (Tableau XXII). Il existe donc une corrélation significativement marquée entre les différentes variables. Cette corrélation est de 0,356 entre la hauteur et le diamètre, de 0,282 entre le nombre de feuilles et la hauteur, de 0,264 entre la hauteur et le nombre de gourmands, de 0,156 entre le nombre de feuilles et la hauteur, de 0,174 entre le diamètre et le nombre de gourmand et de 0,227 entre le nombre de feuilles et le nombre de gourmands (Tableau XX). Toutes les corrélations entre les différentes variables sont positives et faibles. De ce fait, lorsque l'une des variables augmente fortement, les autres augmentent de façon beaucoup moins importante.

Tableau XIV : Résultats du test de corrélation entre la hauteur moyenne des tiges, le diamètre moyen des tiges, le nombre moyen de feuilles et le nombre moyen de gourmands des plantes de tomate des formulations au 70<sup>ème</sup> jour après le repiquage

| Variables | Hmt   | Dmt   | Nmf   | Nmg      |
|-----------|-------|-------|-------|----------|
| Hmt       | 1     | 0,356 | 0,282 | 0,264    |
| Dmt       | 0,356 | 1     | 0,156 | 0,174    |
| Nmf       | 0,282 | 0,156 | 1     | 0,227    |
| Nmg       | 0,264 | 0,174 | 0,227 | 1        |
| P         |       |       |       | < 0,0001 |

Hmt : Hauteur moyenne des tiges ; Dmt : Diamètre moyen des tiges ; Nmf : Nombre moyen de feuilles ; Nmg : Nombre moyen de gourmands ; P : Probabilité

### 2.2.2.2. Couleur des feuilles des plantes de tomate des formulations

#### ➤ Evolution de la couleur des feuilles des plantes de tomate des formulations en fonction du temps

La couleur des feuilles des plantes (Figure 40) en parcelle expérimentale a été observée du 10<sup>ème</sup> au 70<sup>ème</sup> jours après le repiquage (Figure 41). La première mesure effectuée 10 jours après le repiquage (10 JAR) montre que la grande partie des plantes de F1, F6, F51, F52 et F65 ont leurs feuilles de couleur vert-foncé. Les feuilles des plantes de F5, F10 et F48 sont majoritairement de couleur verte et moyennement jaune, celle de F49 et F50 sont de couleur vert-clair. Les plantes de la formulation F47 ont des feuilles pour la plupart vertes et légèrement jaunes. A 70 jours après le repiquage, il a été observé que la majeure partie des plantes de F1, F6, F10, F47, F49, F50, F51 et F52 ont leurs feuilles de couleur vert-clair. La grande partie des feuilles des plantes de F5, F48 et F65 sont vertes et légèrement jaunes (Figure 41).

*Résultats et discussion*



Figure 40 : Couleur des feuilles des plantes de tomate en parcelle expérimentale  
A : Vert foncé ; B : Vert clair ; C : Vert et légèrement jaune ; D : Vert et moyennement jaune ; E : Jaune

## Résultats et discussion

| Formulations | Modalités       | 10 JAR |       |     | 20 JAR |    |        | 30 JAR |        |       | 40 JAR |       |       | 50 JAR |       |     | 60 JAR |    |     | 70 JAR |    |     |
|--------------|-----------------|--------|-------|-----|--------|----|--------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-----|--------|----|-----|--------|----|-----|
|              |                 | 0      | 50    | 100 | 0      | 50 | 100    | 150    | 0      | 50    | 100    | 150   | 0     | 50     | 100   | 150 | 0      | 50 | 100 | 0      | 50 | 100 |
| F1           | % PF Vert foncé |        | 61,25 |     | 57,14  |    | 42,03  |        | 65,71  |       | 24,19  |       | 68,25 |        | 40,68 |     | 54,24  |    |     |        |    |     |
|              | % PF Vert clair |        | 38,75 |     | 42,86  |    | 50,72  |        | 28,57  |       | 35,48  |       | 25,40 |        | 5,08  |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Verte Lj   |        |       |     |        |    | 4,35   |        | 2,86   |       | 11,29  |       | 3,17  |        |       |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Verte Mj   |        |       |     |        |    | 2,90   |        |        |       | 1,61   |       |       |        |       |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Jaune      |        |       |     |        |    |        |        |        |       | 27,42  |       | 3,17  |        |       |     |        |    |     |        |    |     |
| F5           | % PF Vert foncé |        |       |     |        |    |        |        | 6,90   |       | 0,00   |       |       |        | 1,89  |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Vert clair | 1,43   |       |     | 1,61   |    | 5,00   |        | 12,07  |       | 14,55  |       |       |        | 28,30 |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Verte Lj   | 1,43   |       |     | 30,65  |    | 28,33  |        | 37,93  |       | 14,55  |       | 46,88 |        | 66,04 |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Verte Mj   | 52,86  |       |     | 25,81  |    | 28,33  |        | 24,14  |       | 23,64  |       | 12,50 |        | 3,77  |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Jaune      | 44,29  |       |     | 41,94  |    | 38,33  |        | 18,97  |       | 47,27  |       | 40,63 |        |       |     |        |    |     |        |    |     |
| F6           | % PF Vert foncé |        | 96,25 |     | 100,00 |    | 100,00 |        | 100,00 |       | 52,50  |       | 8,75  |        | 1,25  |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Vert clair | 3,75   |       |     |        |    |        |        |        |       | 41,25  |       | 82,50 |        | 62,50 |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Verte Lj   |        |       |     |        |    |        |        |        |       | 6,25   |       | 6,25  |        | 35,00 |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Verte Mj   |        |       |     |        |    |        |        |        |       | 0,00   |       |       |        | 1,25  |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Jaune      |        |       |     |        |    |        |        |        |       | 0,00   |       | 2,50  |        |       |     |        |    |     |        |    |     |
| F10          | % PF Vert foncé | 3,90   |       |     | 2,99   |    | 16,92  |        | 95,24  |       | 55,00  |       | 1,67  |        | 1,67  |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Vert clair | 27,27  |       |     | 61,19  |    | 61,54  |        |        |       | 36,67  |       | 56,67 |        | 51,67 |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Verte Lj   | 3,90   |       |     | 32,84  |    | 12,31  |        |        |       | 6,67   |       | 41,67 |        | 46,67 |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Verte Mj   | 64,94  |       |     | 2,99   |    | 3,08   |        | 1,59   |       | 1,67   |       |       |        |       |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Jaune      |        |       |     |        |    | 6,15   |        | 3,17   |       |        |       |       |        |       |     |        |    |     |        |    |     |
| F47          | % PF Vert foncé | 2,50   |       |     | 44,87  |    | 81,82  |        | 97,40  |       | 5,19   |       | 3,75  |        | 1,30  |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Vert clair | 5,00   |       |     | 19,23  |    | 18,18  |        | 1,30   |       | 75,32  |       | 57,50 |        | 46,75 |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Verte Lj   | 48,75  |       |     | 35,90  |    |        |        |        |       | 15,58  |       | 37,50 |        | 46,75 |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Verte Mj   | 42,50  |       |     |        |    |        |        |        | 3,90  |        |       |       |        | 5,19  |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Jaune      | 1,25   |       |     |        |    |        |        | 1,30   |       | 0,00   |       | 1,25  |        |       |     |        |    |     |        |    |     |
| F48          | % PF Vert foncé | 10,00  |       |     | 58,23  |    | 100,00 |        | 100,00 |       | 49,37  |       | 1,25  |        | 2,53  |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Vert clair | 35,00  |       |     | 40,51  |    |        |        |        | 16,46 |        | 41,25 |       | 7,59   |       |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Verte Lj   | 11,25  |       |     | 1,27   |    |        |        |        | 21,52 |        | 56,25 |       | 81,01  |       |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Verte Mj   | 43,75  |       |     |        |    |        |        |        | 11,39 |        |       |       | 8,86   |       |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Jaune      |        |       |     |        |    |        |        |        | 1,27  |        | 1,25  |       |        |       |     |        |    |     |        |    |     |
| F49          | % PF Vert foncé | 27,50  |       |     | 68,35  |    | 100,00 |        | 100,00 |       | 2,50   |       | 8,75  |        | 5,00  |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Vert clair | 35,00  |       |     | 30,38  |    |        |        |        | 67,50 |        | 78,75 |       | 67,50  |       |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Verte Lj   | 3,75   |       |     | 1,27   |    |        |        |        | 15,00 |        |       |       | 27,50  |       |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Verte Mj   | 33,75  |       |     |        |    |        |        |        | 11,25 |        |       |       |        |       |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Jaune      |        |       |     |        |    |        |        |        | 3,75  |        |       |       |        |       |     |        |    |     |        |    |     |
| F50          | % PF Vert foncé | 18,75  |       |     | 55,00  |    | 93,75  |        | 95,00  |       | 1,25   |       | 1,27  |        | 71,25 |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Vert clair | 72,50  |       |     | 36,25  |    | 2,50   |        | 5,00   |       | 67,50  |       | 73,42 |        | 28,75 |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Verte Lj   | 8,75   |       |     | 6,25   |    | 3,75   |        |        | 20,00 |        | 25,32 |       |        |       |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Verte Mj   |        |       |     | 2,50   |    |        |        |        | 6,25  |        |       |       |        |       |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Jaune      |        |       |     |        |    |        |        |        | 5,00  |        |       |       |        |       |     |        |    |     |        |    |     |
| F51          | % PF Vert foncé | 67,50  |       |     | 82,50  |    | 100,00 |        | 100,00 |       | 6,33   |       | 1,25  |        | 1,25  |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Vert clair | 31,25  |       |     | 17,50  |    |        |        |        | 60,76 |        | 72,50 |       | 52,50  |       |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Verte Lj   | 1,25   |       |     |        |    |        |        |        | 21,52 |        | 25,00 |       | 42,50  |       |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Verte Mj   |        |       |     |        |    |        |        |        | 7,59  |        | 1,25  |       | 3,75   |       |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Jaune      |        |       |     |        |    |        |        |        | 3,80  |        |       |       |        |       |     |        |    |     |        |    |     |
| F52          | % PF Vert foncé | 88,75  |       |     | 93,75  |    | 100,00 |        | 73,75  |       | 52,50  |       |       |        | 1,25  |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Vert clair | 11,25  |       |     |        |    |        |        | 23,75  |       | 11,25  |       | 65,82 |        | 8,75  |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Verte Lj   |        |       |     |        |    |        |        | 2,50   |       | 30,00  |       | 20,25 |        | 55,00 |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Verte Mj   |        |       |     |        |    |        |        |        |       | 6,25   |       | 12,66 |        | 33,75 |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Jaune      |        |       |     | 6,25   |    |        |        |        |       | 0,00   |       | 1,27  |        | 1,25  |     |        |    |     |        |    |     |
| F65          | % PF Vert foncé | 97,44  |       |     | 100,00 |    | 97,14  |        | 90,63  |       | 92,86  |       | 62,50 |        | 11,10 |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Vert clair | 2,56   |       |     |        |    | 2,86   |        | 3,13   |       | 3,57   |       | 5,00  |        | 55,60 |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Verte Lj   |        |       |     |        |    |        |        | 6,25   |       | 3,57   |       | 32,50 |        |       |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Verte Mj   |        |       |     |        |    |        |        |        |       | 0,00   |       |       |        |       |     |        |    |     |        |    |     |
|              | % PF Jaune      |        |       |     |        |    |        |        |        |       | 0,00   |       |       |        | 33,30 |     |        |    |     |        |    |     |

Figure 41 : Evolution de la couleur des feuilles des plantes de tomate des formulations en fonction du temps

F : formulation ; % PF : pourcentage de plantes ayant les feuilles de couleur ; Vert foncé > vert clair > vert Lj (légèrement jaune) > vert Mj (moyennement jaune) > jaune ; JAR : Jours après repiquage ; JAR : Jours après repiquage. te : terre ; bac : balles de riz carbonisées ; f : fiente de poulets. F1 : te ; F5 : bac ; F6 : te + f ; F10 : bac + f ; F47 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te ; F48 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te ; F49 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te ; F50 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te + f ; F51 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te + f ; F52 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te + f ; F65 : te + NPK.

➤ **Effet des formulations sur la couleur des feuilles des plantes de tomate**

La distribution des modalités de la variable couleur des feuilles ainsi que l'effet des formulations de substrats sur la couleur des feuilles des plantes qui y poussent ont été étudiés à partir des données récoltées lors de la dernière prise de mesure qui s'est déroulé 70 jours après le repiquage (Tableau XXI). Parmi les plantes, 2,70% ont leurs feuilles de couleur jaune ; 5,90% ont leurs feuilles de couleurs verte et moyennement jaune ; 37,52% ont leurs feuilles qui sont vertes et légèrement claires ; 49,07% ont des feuilles vert-clair et 4,08% ont des feuilles de couleur vert-foncé.

Tableau XXI : Effectif observé de la couleur des feuilles des plantes de tomate des formulations au 70<sup>ème</sup> jour après le repiquage

| <b>F</b>     | <b>Jaune</b>       | <b>Verte Mj</b>   | <b>Verte Lj</b>    | <b>Vert clair</b>    | <b>Vert foncé</b>  | <b>Total</b>        |
|--------------|--------------------|-------------------|--------------------|----------------------|--------------------|---------------------|
| F1           | 0                  | 0                 | 6 (6,19 %)         | 63 (64,95 %)         | 28 (28,86 %)       | 97 (100 %)          |
| F10          | 0                  | 0                 | 29 (35,37 %)       | 52 (63,42 %)         | 1 (1,20 %)         | 82 (100 %)          |
| F47          | 0                  | 4 (3,45 %)        | 45 (38,79 %)       | 65 (56,03 %)         | 2 (1,72 %)         | 116 (100 %)         |
| F48          | 0                  | 11 (9 ;32 %)      | 92 (77,97 %)       | 11 (9,32 %)          | 4 (3,39 %)         | 118 (100 %)         |
| F49          | 0                  | 0                 | 22 (18,33 %)       | 92 (76,67 %)         | 6 (5,00 %)         | 120 (100 %)         |
| F5           | 0                  | 3 (3,61 %)        | 54 (65,06 %)       | 25 (30,12 %)         | 1 (1,21 %)         | 83 (100 %)          |
| F50          | 0                  | 0                 | 22 (18,33 %)       | 97 (80,83 %)         | 1 (0,83 %)         | 120 (100 %)         |
| F51          | 0                  | 3 (2,5 %)         | 34 (28,33 %)       | 81 (67,50 %)         | 2 (1,67 %)         | 120 (100 %)         |
| F52          | 2 (1,67 %)         | 48 (40,00 %)      | 60 (50,00 %)       | 9 (7,50 %)           | 1 (0,83 %)         | 120 (100 %)         |
| F6           | 0                  | 1 (0,83 %)        | 31 (25,83 %)       | 87 (72,50 %)         | 1 (0,83 %)         | 120 (100 %)         |
| F65          | 30 (33,33 %)       | 0                 | 50 (55,56 %)       | 0                    | 10 (11,11 %)       | 90 (100 %)          |
| <b>Total</b> | <b>32 (2,70 %)</b> | <b>70 (5,90%)</b> | <b>445 (37,5%)</b> | <b>592 (49,07 %)</b> | <b>97 (4,08 %)</b> | <b>1186 (100 %)</b> |

F : formulation ; Vert foncé > vert clair > verte Lj (légèrement jaune) > verte Mj (moyennement jaune) > jaune.  
 te : terre ; bac : balles de riz carbonisées ; f : fiente de poulets. F1 : te ; F5 : bac ; F6 : te + f ; F10 : bac + f ; F47 : ¾ bac + ¼ te ; F48 : ½ bac + ½ te ; F49 : ¼ bac + ¾ te ; F50 : ¾ bac + ¼ te + f ; F51 : ½ bac + ½ te + f ; F52 : ¼ bac + ¾ te + f ; F65 : te + NPK.

Les effectifs théoriques de la couleur des feuilles présentent la distribution de la couleur des plantes dans le cas où celle-ci est indépendante des formulations de substrats (Tableau XXII). Les effectifs théoriques de la répartition des couleurs des feuilles présentent certains effectifs (au niveau des feuilles de couleur jaune, ...) inférieurs à 5 au niveau des feuilles de couleur jaune, vert foncé et des feuilles de couleur verte et moyennement jaune.

*Résultats et discussion*

Tableau XV : Effectifs théoriques de la couleur des feuilles des plantes de tomate des formulations au 70<sup>ème</sup> jour après le repiquage

| <b>F</b>     | <b>Jaune</b> | <b>Verte Mj</b> | <b>Verte Lj</b> | <b>Vert-clair</b> | <b>Vert-foncé</b> | <b>Total</b> |
|--------------|--------------|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------|--------------|
| F1           | 2,617        | 5,725           | 36,395          | 47,600            | 4,662             | 97,000       |
| F10          | 2,212        | 4,840           | 30,767          | 40,239            | 3,941             | 82,000       |
| F47          | 3,130        | 6,847           | 43,524          | 56,924            | 5,575             | 116,000      |
| F48          | 3,184        | 6,965           | 44,275          | 57,906            | 5,671             | 118,000      |
| F49          | 3,238        | 7,083           | 45,025          | 58,887            | 5,767             | 120,000      |
| F5           | 2,239        | 4,899           | 31,142          | 40,730            | 3,989             | 83,000       |
| F50          | 3,238        | 7,083           | 45,025          | 58,887            | 5,767             | 120,000      |
| F51          | 3,238        | 7,083           | 45,025          | 58,887            | 5,767             | 120,000      |
| F52          | 3,238        | 7,083           | 45,025          | 58,887            | 5,767             | 120,000      |
| F6           | 3,238        | 7,083           | 45,025          | 58,887            | 5,767             | 120,000      |
| F65          | 2,428        | 5,312           | 33,769          | 44,165            | 4,325             | 90,000       |
| <b>Total</b> | <b>32</b>    | <b>70</b>       | <b>445</b>      | <b>582</b>        | <b>57</b>         | <b>1186</b>  |

F : formulation ; Vert foncé > vert clair > verte Lj (légèrement jaune) > verte Mj (moyennement jaune) > jaune. te : terre ; bac : balles de riz carbonisées ; f : fiente de poulets. F1 : te ; F5 : bac ; F6 : te + f ; F10 : bac + f ; F47 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te ; F48 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te ; F49 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te ; F50 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te + f ; F51 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te + f ; F52 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te + f ; F65 : te + NPK.

Un test exact de Fisher a été réalisés pour comparer les formulations de substrats deux à deux en ce qui concerne la couleur des feuilles (Tableau XXIII). Seules les plantes de F47 et F10 ; F47 et F5 ; F47 et F51 ; F10 et F51 ; F10 et F6 ; F49 et F50 ; F49 et F6 ; F50 et F6 ; F51 et F6, F51 et F47 ont une répartition statistiquement identique des couleurs des feuilles de leurs plantes. Excepté les couples de formulations cités plus haut, tous les autres couples de formulations ont la répartition des couleurs de leurs feuilles statistiquement différentes.

Tableau XVI : Résultats du test exact de Fisher en ce qui concerne la couleur des feuilles des plantes de tomate des formulations

| F   | F1       | F10      | F47      | F48      | F49      | F5       | F50      | F51      | F52      | F6       | F65      |
|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| F1  | 1        | < 0,0001 | < 0,0001 | < 0,0001 | < 0,0001 | < 0,0001 | < 0,0001 | < 0,0001 | < 0,0001 | < 0,0001 | < 0,0001 |
| F10 | < 0,0001 | 1        | 0,35435  | < 0,0001 | 0,0109   | < 0,0001 | 0,0116   | 0,4549   | < 0,0001 | 0,3563   | < 0,0001 |
| F47 | < 0,0001 | < 0,0001 | 1        | < 0,0001 | 0,0026   | 0,1212   | < 0,0001 | 0,3348   | < 0,0001 | 0,0338   | < 0,0001 |
| F48 | < 0,0001 | < 0,0001 | < 0,0001 | 1        | < 0,0001 | 0,0093   | < 0,0001 | < 0,0001 | < 0,0001 | < 0,0001 | < 0,0001 |
| F49 | < 0,0001 | < 0,0001 | 0,0026   | < 0,0001 | 1        | < 0,0001 | 0,1989   | 0,0359   | < 0,0001 | 0,066    | < 0,0001 |
| F5  | < 0,0001 | < 0,0001 | 0,1212   | 0,0093   | < 0,0001 | 1        | < 0,0001 | < 0,0001 | < 0,0001 | < 0,0001 | < 0,0001 |
| F50 | < 0,0001 | 0,0116   | < 0,0001 | < 0,0001 | 0,1989   | < 0,0001 | 1        | 0,039    | < 0,0001 | 0,2775   | < 0,0001 |
| F51 | < 0,0001 | 0,4549   | 0,3348   | < 0,0001 | 0,0359   | < 0,0001 | 0,039    | 1        | < 0,0001 | 0,6375   | < 0,0001 |
| F52 | < 0,0001 | < 0,0001 | < 0,0001 | < 0,0001 | < 0,0001 | < 0,0001 | < 0,0001 | < 0,0001 | 1        | < 0,0001 | < 0,0001 |
| F6  | < 0,0001 | 0,3563   | 0,0338   | < 0,0001 | 0,066    | < 0,0001 | 0,2775   | 0,6375   | < 0,0001 | 1        | < 0,0001 |
| F65 | < 0,0001 | < 0,0001 | < 0,0001 | < 0,0001 | < 0,0001 | < 0,0001 | < 0,0001 | < 0,0001 | < 0,0001 | < 0,0001 | 1        |

F : formulation ; les valeurs affichées en rouge sont significatives au seuil alpha=0,05 ; les valeurs affichées en noir ne sont pas significatives au seuil alpha=0,05. te : terre ; bac : balles de riz carbonisées ; f : fiente de poulets. F1 : te ; F5 : bac ; F6 : te + f ; F10 : bac + f ; F47 : ¾ bac + ¼ te ; F48 : ½ bac + 1/2 te ; F49 : ¼ bac + ¾ te ; F50 : ¾ bac + ¼ te + f ; F51 : ½ bac + ½ te + f ; F52 : ¼ bac + ¾ te + f ; F65 : te + NPK.

### 2.2.2.3. Taux de mortalité des plantes de tomate des formulations

#### ➤ Evolution du taux de mortalité des plantes de tomate

Les formulations F5 et F10 perdent des plantes dès les dix premiers jours après le repiquage, le taux de mortalité lors de cette première mesure est de 9,17% pour F5 et 1,67% pour F10. Quarante jours après le repiquage, le taux de mortalité des plantes a été de 8,33% chez F1 ; 1,67% chez F47 et de 0,83% chez F49. Les plantes des formulations F5 et F10 ont vu leurs taux de mortalité évolué du 10<sup>ème</sup> au 40<sup>ème</sup> jour après le repiquage, passant de 9,17% à 12,50% pour F5 et de 1,67% à 18,33% pour F10. Au dernier jour de mesures, le taux de perte est de 0,83% pour les formulations F6, F51, F52, F50 et F49. Il est de 1,67% ; 3,33% ; 20% ; 25% ; 30,83% et de 31,87% respectives pour les formulations F48, F47, F1, F65, F5 et F10 (Figure 42).

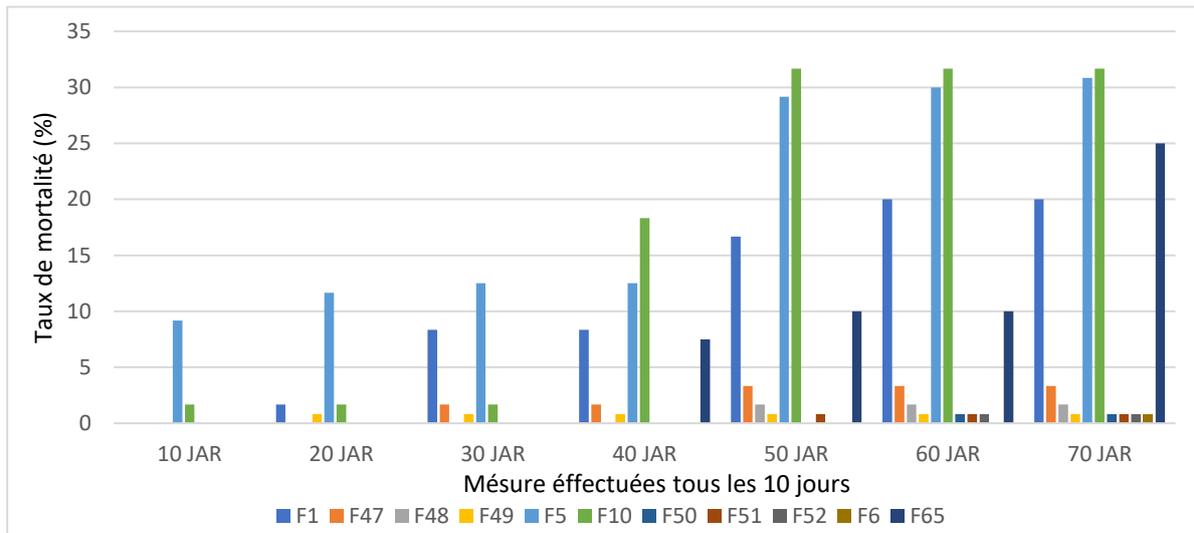


Figure 42 : Evolution du taux de mortalité des plantes de tomate des formulations au cours du temps

F : formulation ; te : terre ; bac : balles de riz carbonisée. F : fiente de poulets. F1 : te ; F5 : bac ; F6 : te + f ; F10 : bac + f ; F47 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te ; F48 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te ; F49 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te ; F50 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te + f ; F51 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te + f ; F52 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te + f ; F65 : te + NPK. JAR : jours après repiquage.

#### ➤ Effet des formulations sur le taux de mortalité des plantes de tomate

Le test de normalité de Shapiro-Wilk a été réalisé pour étudier la distribution des taux de mortalité des plantes des formulations au 70<sup>ème</sup> jour après le repiquage. Les probabilités obtenues sont toutes inférieures à 0,05. La distribution des taux de mortalité des plantes en fonction des formulations ne suit pas la loi normale. Le test de Kruskal-Wallis a donc été réalisé afin de déterminer l'effet des formulations de substrats sur le taux de mortalité des plantes. Le résultat du test de Kruskal-Wallis donne une probabilité de 0,003. Cette probabilité est inférieure au seuil de significativité  $\alpha$  ( $\alpha = 0,05$ ), (Tableau XXIV). Il est donc possible d'affirmer que le taux de mortalité des plantes varie significativement en fonction des formulations de substrat. Les formulations avec les meilleurs taux de mortalité (les plus faibles) sont les formulations F6, F50, F51, F52 et F49 avec toutes un taux de mortalité de 0,83%. Les formulations F48 et F47 ont également des taux de mortalité très faible avec respectivement 1,67% et 3,33%. Les taux de mortalité les plus élevés (les moins bons) sont observés au niveau des formulations F1, F65, F5 et F10 avec 20, 25, 30,83 et 31,67% de taux de mortalité.

Tableau XXIV : Taux de mortalité des plantes de tomate des formulations au 70<sup>ème</sup> jour après le repiquage

| Formulations | Taux de mortalité (%)       |
|--------------|-----------------------------|
| F10          | 31,67 ± 23,09 <sup>c</sup>  |
| F50          | 0,83 ± 1,44 <sup>a</sup>    |
| F51          | 0,83 ± 1,44 <sup>a</sup>    |
| F52          | 0,83 ± 1,44 <sup>a</sup>    |
| F6           | 0,83 ± 1,44 <sup>a</sup>    |
| F65          | 25,00 ± 17,32 <sup>c</sup>  |
| F49          | 0,83 ± 0,83 <sup>a</sup>    |
| F48          | 1,67 ± 1,444 <sup>ab</sup>  |
| F47          | 3,33 ± 1,44 <sup>abc</sup>  |
| F1           | 20,00 ± 15,98 <sup>bc</sup> |
| F5           | 30,83 ± 10,10 <sup>c</sup>  |
| P            | <b>0,003</b>                |

Les moyennes de la même colonne suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % (p < 0,05)

F : formulation ; te : terre ; bac : balles de riz carbonisée. f : fiente de poulets. F1 : te ; F5 : bac ; F6 : te + f ; F10 : bac + f ; F47 : ¾ bac + ¼ te ; F48 : ½ bac + 1/2 te ; F49 : ¼ bac + ¾ te ; F50 : ¾ bac + ¼ te + f ; F51 : ½ bac + ½ te + f ; F52 : ¼ bac + ¾ te + f ; F65 : te + NPK.

#### 2.2.2.4. Classification ascendante hiérarchique des formulations en fonction des paramètres de croissance et du taux de mortalité des plantes de tomate

Une classification ascendante hiérarchique (Figure 43) a été utilisée pour regrouper les formulations en fonction des paramètres de croissance et du taux de mortalité des plantes qui y poussent. Deux groupes de formulations nettement séparés ont été obtenus. Dans le premier groupe, il y a F1 et F5. Le deuxième groupe est quant à lui composé de deux sous-groupes dont le premier contient les formulations F6, F51 et F52 ; le deuxième sous-groupe comprend F10, F50, F47, F48, F49 et F65. Le premier groupe a pour objet central la formulation F1 ayant des plantes de 19,269 cm de hauteur, 4,303 mm de diamètre, 7,746 feuilles, 4 gourmands et un taux de mortalité de 20 %. Le deuxième groupe a quant à lui pour objet central la formulation F10 ayant des plantes de 57,578 cm de hauteur, 7,417 mm de diamètre, 17,644 feuilles, 8,769 gourmands et un taux de mortalité de 31,70 %.

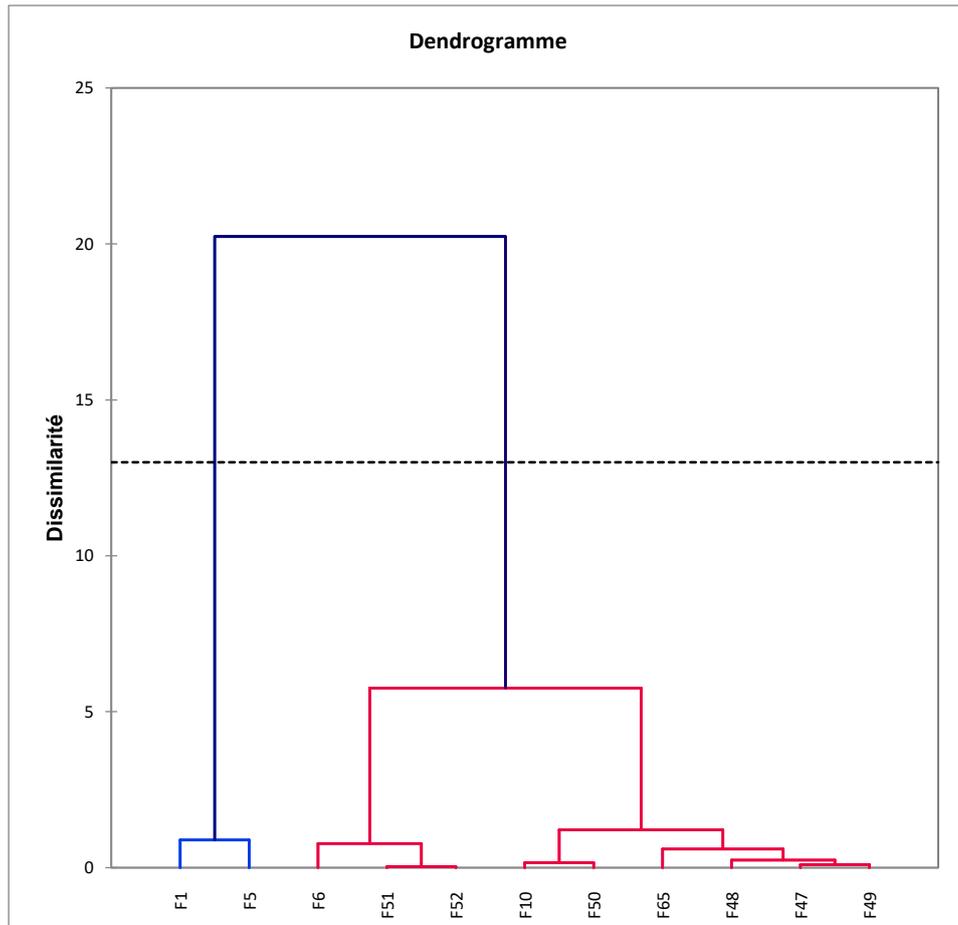


Figure 43 : Classification ascendante hiérarchique des formulations en fonction des paramètres de croissance et du taux de mortalité des plantes de tomate. te : terre ; bac : balles de riz carbonisées ; f : fiente de poulets. F1 : te ; F5 : bac ; F47 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te ; F48 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te ; F49 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te ; ; F6 : te + f ; F10 : bac + f ; F50 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te + f ; F51 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te + f ; F52 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te + f ; F65 : te + NPK.

#### 2.2.2.5. Effet de la couleur des feuilles sur les paramètres de croissance des plantes

La hauteur des tiges, du diamètre, du nombre de feuille et du nombre de gourmands des plantes en fonction de la couleur des feuilles n'ont pas une distribution normale ( $P < 0,0001$ ) au seuil de 5 %. Le test non paramétrique de Kruskal Wallis a donc été réalisé pour déterminer l'effet de la couleur sur ces différents paramètres de croissance. La probabilité obtenue pour ce test est  $< 0,0001$  pour le diamètre et le nombre de gourmands ; de 0,043 pour le nombre de feuilles et de 0,055 pour la hauteur des tiges. Sur la base de ces résultats, il est possible d'affirmer au seuil de 5 % qu'en fonction de la couleur des feuilles des plantes, le diamètre, le nombre de feuille et le nombre de gourmands varient significativement contrairement la hauteur des tiges qui ne varie pas. Les plantes dont les feuilles sont de couleur verte et légèrement jaune ont les plus grandes valeurs pour l'ensemble des trois paramètres qui varient significativement (Tableau

XXV). Elles ont un diamètre de tiges de  $8,035 \pm 5,704$  mm ;  $16,746 \pm 10,170$  feuilles et  $5,867 \pm 3,256$  gourmands. Les plus faibles valeurs pour ces trois paramètres sont observées au niveau des plantes aux feuilles de couleur jaunes avec  $6,900 \pm 1,000$  mm de diamètre de tige ;  $12,000 \pm 1,000$  feuilles et aucun gourmand.

Tableau XXV : Hauteur moyenne des tiges, diamètre moyen des tiges, nombre moyen de feuilles et nombre moyen de gourmands des plantes de tomate en fonction de la couleur des feuilles au 70<sup>ème</sup> jour après le repiquage

| CF         | Hmt (cm)              | Dmt (mm)            | Nmf                      | Nmg                    |
|------------|-----------------------|---------------------|--------------------------|------------------------|
| Jaune      | $59,000 \pm 3,300^a$  | $6,900 \pm 1,000^b$ | $12,000 \pm 1,000^c$     | $0,000 \pm 0,000$      |
| Vert et MJ | $56,075 \pm 15,274^a$ | $8,505 \pm 2,207^a$ | $15,545 \pm 12,382^c$    | $2,167 \pm 1,941^{bc}$ |
| Vert et LJ | $52,591 \pm 21,398^a$ | $8,035 \pm 5,704^a$ | $16,746 \pm 10,170^{ab}$ | $5,867 \pm 3,256^a$    |
| Vert clair | $49,696 \pm 18,311^a$ | $7,322 \pm 5,173^b$ | $14,821 \pm 7,916^{bc}$  | $4,156 \pm 2,796^b$    |
| Vert foncé | $35,794 \pm 16,239^a$ | $6,717 \pm 2,314^b$ | $15,992 \pm 8,095^a$     | $1,250 \pm 1,158^c$    |
| <b>P</b>   | <b>0,055</b>          | <b>&lt; 0,0001</b>  | <b>0,043</b>             | <b>&lt; 0,0001</b>     |

CF : Couleur des feuilles des plantes ; P : Probabilité ; Hmt : Hauteur moyenne des tiges ; D : diamètre moyen des tiges ; Nmf : Nombre moyen de feuilles et Nmg : Nombre moyen de gourmand. Les valeurs portant les mêmes lettres sont statistiquement égales ( $P > 5\%$ ). Vert et MJ : Vert et moyennement jaune ; Vert et LJ : Vert et légèrement jaune. te : terre ; bac : balles de riz carbonisées ; f : fiente de poulets. F1 : te ; F5 : bac ; F6 : te + f ; F10 : bac + f ; F47 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te ; F48 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te ; F49 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te ; F50 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te + f ; F51 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te + f ; F52 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te + f ; F65 : te + NPK.

## 2.2.2.6. Paramètre de production des plantes de tomate en fonction des formulations

### 2.2.2.6.1. Effet des formulations sur le délai de floraison des plantes de tomate

Les données récoltées durant la phase de floraison ont permis la détermination du délai moyen de floraison des premières plantes (J1), du délai moyen au bout duquel 50% (J50%) et 95% (J95%) des plantes d'une formulation donnée ont porté des fleurs (Figure 47). La probabilité obtenue au niveau de ces trois variables nous indique que le délai de floraison des premières plantes, de 50% des plantes et de 95% des plantes ne varient pas significativement en fonction des formulations de substrat (Tableau XXVI).

Tableau XXVI : Délai de floraison des plantes de tomate des formulations

| Formulations | J1                          | J50%                         | J95%                     |
|--------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------------|
| <b>F1</b>    | 55,000 ±                    | 35,000 ± 14,142 <sup>a</sup> | 0                        |
| <b>F10</b>   | 45,000 ± 7,071 <sup>a</sup> | 50,000 ± 14,142 <sup>a</sup> | 0                        |
| <b>F47</b>   | 40,000 ±                    | 55,000 ± 7,071 <sup>a</sup>  | 60 ± 7,071 <sup>a</sup>  |
| <b>F48</b>   | 35,000 ± 7,071 <sup>a</sup> | 45,000 ± 7,071 <sup>a</sup>  | 50 ± 7,071 <sup>a</sup>  |
| <b>F49</b>   | 35,000 ± 7,071 <sup>a</sup> | 50,000 ± 14,142 <sup>a</sup> | 60 ± 14,142 <sup>a</sup> |
| <b>F50</b>   | 25,000 ± 7,071 <sup>a</sup> | 35,000 ± 7,071 <sup>a</sup>  | 50 ± 7,071 <sup>a</sup>  |
| <b>F51</b>   | 25,000 ± 7,071 <sup>a</sup> | 25,000 ± 7,071 <sup>a</sup>  | 50 ± 7,071 <sup>a</sup>  |
| <b>F52</b>   | 30,000 ±                    | 30,000 ± 14,142 <sup>a</sup> | 40 ± 7,071 <sup>a</sup>  |
| <b>F6</b>    | 25,000 ± 7,071 <sup>a</sup> | 25,000 ± 7,071 <sup>a</sup>  | 30 ± 14,142 <sup>a</sup> |
| <b>F65</b>   | 35,000 ± 7,071 <sup>a</sup> | 60,000 ± 7,071 <sup>a</sup>  | 60 ± 14,142 <sup>a</sup> |
| <b>P</b>     | <b>0,382</b>                | <b>0,126</b>                 | <b>0,505</b>             |

F : formulation ; te : terre ; bac : balles de riz carbonisées ; f : fiente de poulets. F1 : te ; F5 : bac ; F6 : te + f ; F10 : bac + f ; F47 : ¾ bac + ¼ te ; F48 : ½ bac + 1/2 te ; F49 : ¼ bac + ¾ te ; F50 : ¾ bac + ¼ te + f ; F51 : ½ bac + ½ te + f ; F52 : ¼ bac + ¾ te + f ; F65 : te + NPK. P : probabilité obtenue concernant le test de Kruskal-Wallis. Les valeurs portant les mêmes lettres sont statistiquement égales (P > 5 %).

#### 2.2.2.6.2. Effet des formulations sur le délai de fructification des plantes de tomate

Tout comme le délai de floraison, la fructification des plantes s'est effectuée de façon progressive. Le délai nécessaire à la fructification des premières plantes (J1), de 50% des plantes (J50%) et de 95% des plantes n'ont pas donnés de probabilité significative au seuil de 5%. Dès lors, ces trois variables ne varient pas significativement en fonction des formulations de substrat (Tableau XXVII).

Tableau XXVII : Délais avant fructification des plantes de tomate des formulations

| Formulations | J1                           | J50%                         | J95%                    |
|--------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------|
| <b>F1</b>    | 50,000 ± 7,071 <sup>a</sup>  | 0                            | 0                       |
| <b>F10</b>   | 60,000 ± 7,071 <sup>a</sup>  | 70,000 ± 14,142 <sup>a</sup> | 0                       |
| <b>F47</b>   | 60,000 ± 14,142 <sup>a</sup> | 70,000 ± 7,071 <sup>a</sup>  | 60 ± 7,071 <sup>a</sup> |
| <b>F48</b>   | 50,000 ± 7,071 <sup>a</sup>  | 60,000 ± 7,071 <sup>a</sup>  | 0                       |
| <b>F49</b>   | 55,000 ± 7,071 <sup>a</sup>  | 60,000 ± 7,071 <sup>a</sup>  | 0                       |
| <b>F50</b>   | 45,000 ± 7,071 <sup>a</sup>  | 55,000 ± 7,071 <sup>a</sup>  | 70 ± 7,071 <sup>a</sup> |
| <b>F51</b>   | 45,000 ± 7,071 <sup>a</sup>  | 50,000 ± 7,071 <sup>a</sup>  | 60 ± 7,071 <sup>a</sup> |
| <b>F52</b>   | 45,000 ± 14,142 <sup>a</sup> | 45,000 ± 7,071 <sup>a</sup>  | 60 ± 7,071 <sup>a</sup> |
| <b>F6</b>    | 45,000 ± 7,071 <sup>a</sup>  | 50,000 ± 7,071 <sup>a</sup>  | 50 ± 7,071 <sup>a</sup> |
| <b>F65</b>   | 70,000 ± 7,071 <sup>a</sup>  | 0                            | 0                       |
| <b>P</b>     | <b>0,311</b>                 | <b>0,528</b>                 | <b>0,220</b>            |

F : formulation ; te : terre ; bac : balles de riz carbonisées ; f : fiente de poulets. F1 : te ; F5 : bac ; F6 : te + f ; F10 : bac + f ; F47 : ¾ bac + ¼ te ; F48 : ½ bac + 1/2 te ; F49 : ¼ bac + ¾ te ; F50 : ¾ bac + ¼ te + f ; F51 : ½ bac + ½ te + f ; F52 : ¼ bac + ¾ te + f ; F65 : te + NPK. P : probabilité obtenue concernant le test de Kruskal-Wallis. Les valeurs portant les mêmes lettres sont statistiquement égales (P > 5 %).

### 2.2.2.6.3. Effets des formulations sur le rendement des plantes de tomate

Le rendement est exprimé à travers la production moyenne par plante pour une formulation donnée (g/plante). Ce rendement est amené à un rendement par unité de surface en fonction de la densité utilisée pour l'expérience. La production (rendement) ayant concerné plus de 30 plantes pour chacune des formulations, la distribution du rendement pour l'ensemble des formulations est conforme à la loi normale. Un test de comparaison de variance (test de Levene) a par la suite été réalisé. Le résultat de ce dernier test a donné une probabilité de 0,002 pour l'ensemble des variables. Cette probabilité étant inférieure à 0,05 ; les variances du rendement des différentes formulations sont significativement différentes. Le test de Kruskal-Wallis a de ce fait été utilisé pour déterminer l'effet des formulations sur le rendement. La probabilité de ce test est de 0,005 (Tableau XXVIII). Cette probabilité est inférieure au seuil de significativité des tests biologiques, le rendement est significativement influencé par les formulations de substrats. Les meilleures formulations concernant le rendement sont F51, F50 et F52 avec  $842,65 \pm 118,17$  ;  $622,61 \pm 233,49$  et  $508,14 \pm 295,16$  g/plante. Les plus faibles rendements sont observés au niveau de F1 et F65 avec  $64,36 \pm 36,80$  et  $144,01 \pm 38,12$  g/plante. Les autres formulations sont un rendement intermédiaire à ces deux groupes. Ces différentes observations sont les mêmes au niveau des rendements par hectare selon la densité de l'expérimentation.

Tableau XXVIII : Rendement total des plantes de tomate des formulations

| <b>Formulations</b> | <b>Rendement (g/plante)</b> | <b>Rendement (t/ha)</b> |
|---------------------|-----------------------------|-------------------------|
| F1                  | $64,36 \pm 36,80^d$         | $1,84 \pm 1,05^d$       |
| F10                 | $252,22 \pm 96,86^c$        | $7,21 \pm 2,77^{bc}$    |
| F47                 | $214,33 \pm 131,59^{bcd}$   | $6,12 \pm 3,76^{bcd}$   |
| F48                 | $253,54 \pm 131,83^{bcd}$   | $7,24 \pm 3,77^{bcd}$   |
| F49                 | $130,08 \pm 43,80^{cd}$     | $3,72 \pm 1,25^{cd}$    |
| F50                 | $622,61 \pm 233,49^{ab}$    | $17,79 \pm 6,67^{ab}$   |
| F51                 | $842,65 \pm 118,17^a$       | $24,08 \pm 3,38^a$      |
| F52                 | $508,14 \pm 295,16^{ab}$    | $14,52 \pm 8,43^{ab}$   |
| F6                  | $377,65 \pm 205,09^{abc}$   | $10,79 \pm 8,72^{abc}$  |
| F65                 | $144,01 \pm 38,12^{cd}$     | $4,11 \pm 1,09^{cd}$    |
| <b>P</b>            | <b>0,005</b>                | <b>0,005</b>            |

F : formulation ; P : probabilité associée au test de Kruskal-wallis. Pour chaque paramètre, les valeurs portant les mêmes lettres sont statistiquement égales ( $P \geq 0,05$ ). D1 : 35714 plantes/ha. te : terre ; bac : balles de riz carbonisées ; f : fiente de poulets. F1 : te ; F5 : bac ; F6 : te + f ; F10 : bac + f ; F47 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te ; F48 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te ; F49 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te ; F50 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te + f ; F51 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te + f ; F52 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te + f ; F65 : te + NPK.

#### 2.2.2.6.4. Effets des formulations sur le calibre des fruits de tomate

La distribution du nombre de fruits pour l'ensemble des formulations est conforme à la loi normale. Un test de comparaison de variance (test de Levene) a été réalisé. Ce test a donné une probabilité inférieure à 0,0001 ( $P < 0,0001$ ). Les variances du nombre de fruits des formulations sont significativement différentes. Une analyse non paramétrique a été réalisé à travers le test de Kruskal-Wallis pour connaître l'effet des formulations sur le nombre de fruits. Le test Kruskal-Wallis a donné une probabilité de 0,000 ; 0,005 et 0,0001 pour le nombre total de fruits, le nombre de petits fruits et le nombre de fruits de taille moyenne (Tableau XXIX). Ces probabilités sont inférieures au seuil de significativité de 0,05. Le nombre total de fruits, le nombre de petits fruits et le nombre de fruits de taille moyenne varie significativement en fonction des formulations de substrats. Les plus grands nombres de fruits totaux sont observés au niveau de F51, F50, F52 et F6 avec respectivement  $22,03 \pm 3,42$  ;  $18,87 \pm 2,11$  ;  $18,89 \pm 5,77$  et  $14,56 \pm 5,41$  fruits et les plus petits nombres de fruits totaux sont observés chez F65 et F1 avec  $6,04 \pm 5,54$  et  $3,13 \pm 2,17$  fruits. Au niveau des fruits de petite taille, les plus grands nombres de fruits sont observés au niveau de F52 et F51 avec  $11,59 \pm 3,26$  et  $9,10 \pm 2,16$  fruits. Les plus faibles nombres de fruits sont observés au niveau de F47 et F1 avec  $3,92 \pm 1,42$  et  $2,13 \pm 1,01$  fruits. Quant aux nombres de fruits de taille moyenne, les plus grands nombres de fruits sont observés au niveau de F51 et F50 avec  $12,43 \pm 6,16$  et  $10,20 \pm 1,99$  fruit ; F1 et F65 possèdent les plus petits nombres de fruits avec  $1 \pm 0,95$  et  $0,50 \pm 0,44$  fruits.

Tableau XXIX : Nombre total de fruits de tomate des formulations par calibre

| Formulations | Nbfr To               | Nbfr pt                 | Nbfr moy               |
|--------------|-----------------------|-------------------------|------------------------|
| F1           | $3,13 \pm 2,17^c$     | $2,13 \pm 1,01^e$       | $1 \pm 0,95^{de}$      |
| F10          | $9,35 \pm 2,19^{bc}$  | $6,56 \pm 1,56^{abcd}$  | $2,79 \pm 1,63^{cde}$  |
| F47          | $7,03 \pm 1,29^{bc}$  | $3,92 \pm 1,42^{de}$    | $3,11 \pm 1,13^{cde}$  |
| F48          | $12,51 \pm 3,14^{ab}$ | $5,38 \pm 1,77^{bcde}$  | $7,13 \pm 1,88^{ab}$   |
| F49          | $7,64 \pm 2,04^{bc}$  | $4,39 \pm 1,47^{cde}$   | $3,25 \pm 1,44^{bcde}$ |
| F50          | $18,87 \pm 2,11^a$    | $7,17 \pm 1,97^{abcd}$  | $10,20 \pm 1,99^a$     |
| F51          | $22,03 \pm 3,42^a$    | $9,10 \pm 2,16^{ab}$    | $12,43 \pm 6,16^a$     |
| F52          | $18,89 \pm 5,77^a$    | $11,59 \pm 3,26^a$      | $6,55 \pm 1,65^{abc}$  |
| F6           | $14,56 \pm 5,41^{ab}$ | $9,61 \pm 3,78^{abc}$   | $4,44 \pm 1,05^{abcd}$ |
| F65          | $6,04 \pm 5,54^{bc}$  | $5,54 \pm 5,04^{abcde}$ | $0,50 \pm 0,44^e$      |
| <b>P</b>     | <b>0,000</b>          | <b>0,005</b>            | <b>0,0001</b>          |

F : formulation ; P : probabilité associée au test de Kruskal-wallis. Pour chaque paramètre, les valeurs portant les mêmes lettres sont statistiquement égales ( $P \geq 0,05$ ). Nbfr To : nombre total de fruits, Nbfr pt : nombre de petits fruits, Nbfr moy : nombre de fruits de taille moyenne. te : terre ; bac : balles de riz carbonisées ; f : fiente de poulets. F1 : te ; F5 : bac ; F6 : te + f ; F10 : bac + f ; F47 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te ; F48 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te ; F49 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te ; F50 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te + f ; F51 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te + f ; F52 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te + f ; F65 : te + NPK.

### 2.2.2.6.5. Effet des formulations sur la durée de production des plantes de tomates

La distribution de la durée de production suit la loi normale. Le test de comparaison de variances réalisé a donné une probabilité de 0,003. Cette probabilité étant inférieure au seuil de significativité, le test non paramétrique de Kruskal-Wallis a été réalisé afin de déterminer l'influence des formulations sur la durée de production. La probabilité de ce test est de 0,005 (Tableau XXX). Cette probabilité est inférieure à 0,05 ; la durée de production est donc significativement influencée par les formulations de substrats. Les plus grande durées moyennes de production sont comprises entre 35 et 50 jours et sont observées au niveau F10, F47, F48, F49, F50, F51, F52, F65 et F6. La plus faible durée de production est observée au niveau de F1 et s'élève à  $20,00 \pm 10,95$  jours.

Tableau XXX : Durée de production des plantes de tomate des formulations

| Formulations | Durée de production (jours) |
|--------------|-----------------------------|
| F1           | $20,00 \pm 10,95^b$         |
| F10          | $50,00 \pm 10,95^a$         |
| F47          | $45,00 \pm 16,43^a$         |
| F48          | $45,00 \pm 16,43^a$         |
| F49          | $35,00 \pm 5,48^{ab}$       |
| F50          | $50,00 \pm 10,95^a$         |
| F51          | $50,00 \pm 10,95^a$         |
| F52          | $50,00 \pm 10,95^a$         |
| F6           | $45,00 \pm 16,43^a$         |
| F65          | $35,00 \pm 5,47^{ab}$       |
| <b>P</b>     | <b>0.005</b>                |

F : formulation ; P : probabilité associée au test de Kruskal-wallis. Pour chaque paramètre, les valeurs portant les mêmes lettres sont statistiquement égales ( $P \geq 0,05$ ). te : terre ; bac : balles de riz carbonisées ; f : fiente de poulets. F1 : te ; F5 : bac ; F6 : te + f ; F10 : bac +f ; F47 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te ; F48 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te ; F49 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te ; F50 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te + f ; F51 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te + f ; F52 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te + f ; F65 : te + NPK.

### 2.2.2.7. Test de conservation des fruits de tomate des plantes des formulations

#### ➤ Evolution de l'état des fruits de tomate pendant leur conservation

La conservation des fruits est un processus qui évolue dans le temps, les fruits passe d'un bon état (fruits sans dommage visible) à un état intermédiaire (fruits présentant des rides) puis à un état de pourriture (fruits avec des signes de moisissures), (Annexes 6, 7, 8 et 9). Ci-dessous, l'évolution le taux de fruits en bons états au cours d'une période estimée en semaine (Figure 44). Les données recueillies au cours de la première semaine présentent toutes les formulations

## Résultats et discussion

avec plus de 50% de leurs fruits en bon état. Les histogrammes de la 5<sup>em</sup> semaine renseigne sur le fait qu'il n'y a quasiment plus de fruits en bons états.

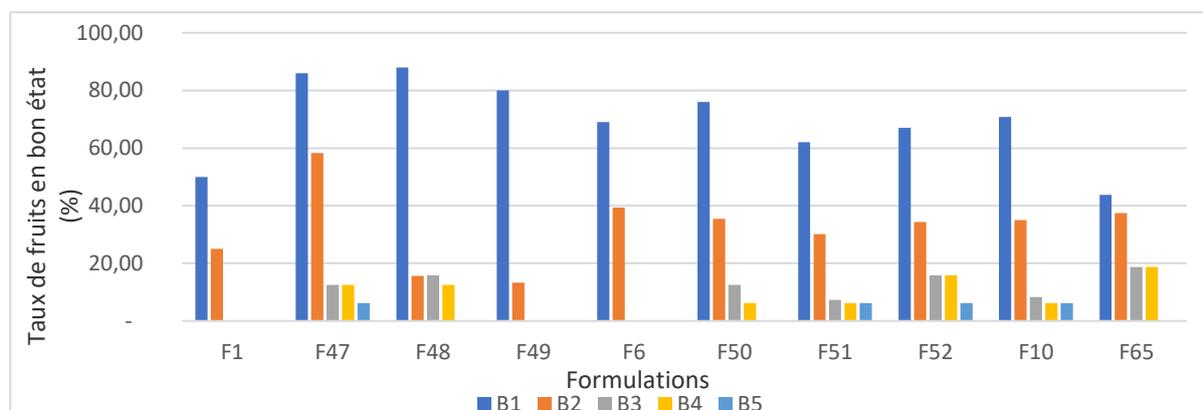


Figure 44 : Evolution du taux de fruits de tomate en bon état au cours du temps

B1, B2, B3 ; B4 et B5 représentent le taux de fruits en bon état aux 1<sup>ere</sup>, 2<sup>eme</sup>, 3<sup>eme</sup>, 4<sup>eme</sup> et 5<sup>eme</sup> semaine après le repiquage. te : terre ; bac : balles de riz carbonisées ; f : fiente de poulets. F1 : te ; F6 : te + f ; F10 : bac + f ; F47 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te ; F48 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te ; F49 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te ; F50 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te + f ; F51 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te + f ; F52 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te + f ; F65 : te + NPK.

Au niveau des fruits dans un état intermédiaire (Figure 45), une évolution de leur proportion a été observée (Annexe 7, 8, 9). En effet, le taux de fruits dans un état intermédiaire à tendance à augmenter puis à décroître par la suite sauf au niveau de F1 ou ce taux croit de la semaine 1 (I1) à la semaine 2 (I2) puis reste constant au bout de la 2<sup>eme</sup> à la 5<sup>eme</sup> semaine. Seule les formulations F65, F10, F47 et F51 ont au moins 40% de leurs fruits dans un état intermédiaire (Annexe 10) à la fin des cinq semaines d'observation.

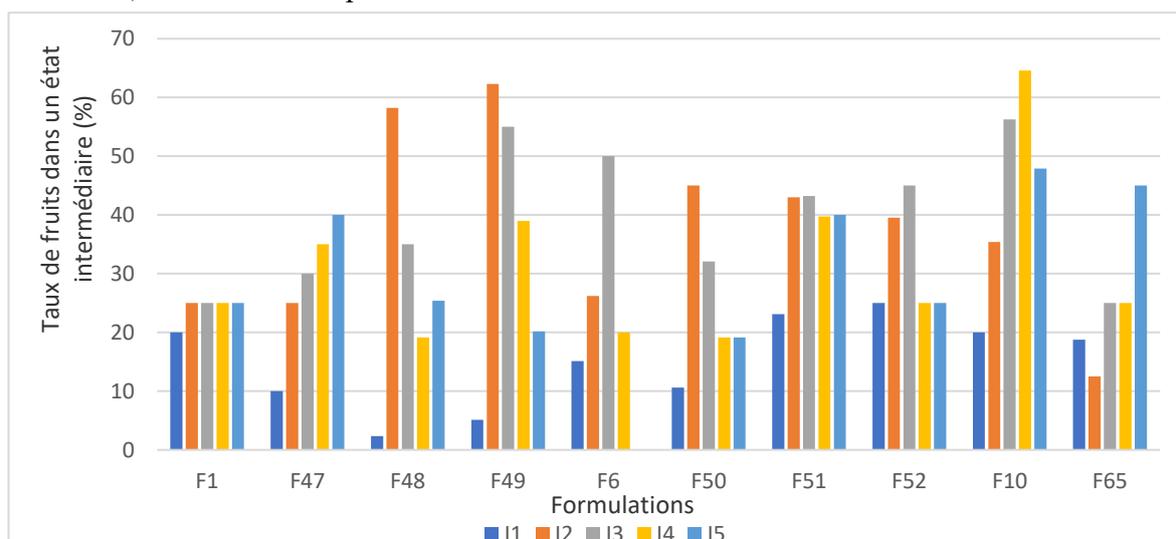


Figure 45 : Evolution au cours du temps du taux de fruits de tomate dans un état intermédiaire au cours du temps

I1, I2, I3 ; I4 et I5 représentent le taux de fruits dans un état intermédiaire aux 1<sup>ere</sup>, 2<sup>eme</sup>, 3<sup>eme</sup>, 4<sup>eme</sup> et 5<sup>eme</sup> semaine après le repiquage. te : terre ; bac : balles de riz carbonisées ; f : fiente de poulets. F1 : te ; F6 : te + f ; F10 : bac + f ; F47 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te ; F48 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te ; F49 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te ; F50 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te + f ; F51 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te + f ; F52 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te + f ; F65 : te + NPK.

Dans le cas du taux de fruits pourris (Figure 46), il y a une augmentation progressive du taux de fruits pourris au cours du temps (Annexe 8 et 9). Dans la majorité des cas, plus le temps s'écoule et plus le taux de fruits pourris augmente. Au niveau de F65, le taux de fruits pourri augmente la deuxième et la troisième semaine avant de se stabiliser à partir de la quatrième semaine.

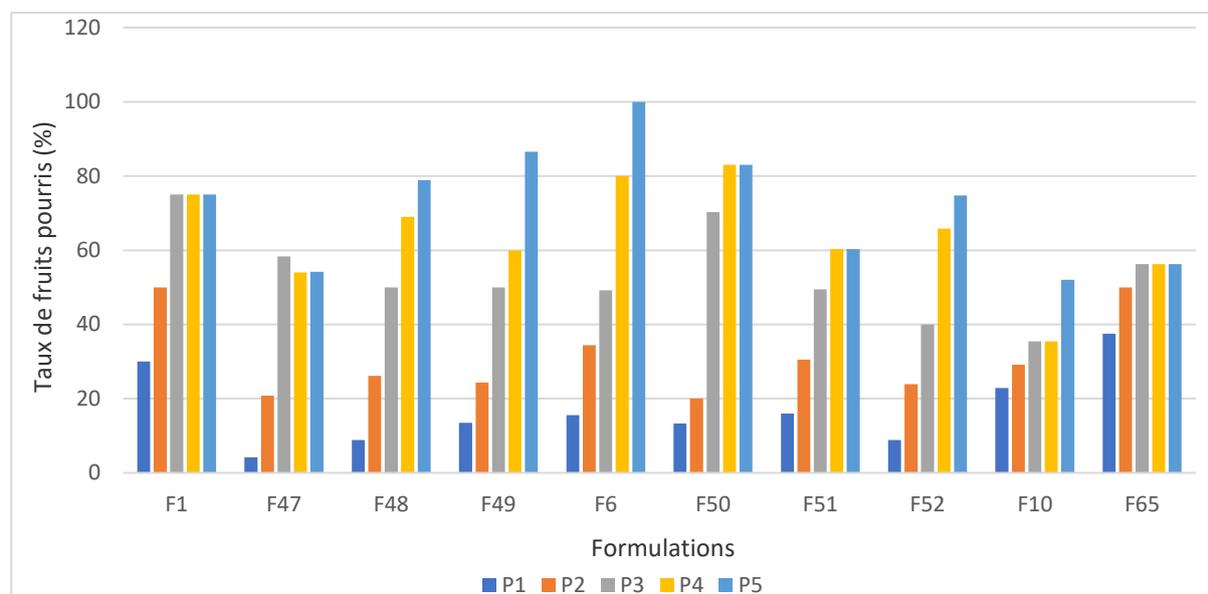


Figure 46 : Evolution du taux de fruits de tomate pourris au cours du temps

P1, P2, P3 ; P4 et P5 représentent le taux de fruits dans un état intermédiaire aux 1<sup>ère</sup>, 2<sup>ème</sup>, 3<sup>ème</sup>, 4<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> semaine après le repiquage. te : terre ; bac : balles de riz carbonisées ; f : fiente de poulets . F1 : te ; F6 : te + f ; F10 : bac + f ; F47 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te ; F48 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te ; F49 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te ; F50 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te + f ; F51 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te + f ; F52 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te + f ; F65 : te + NPK.

### ➤ Effets des formulations sur la durée de conservation des fruits de tomate

Seules les données à la fin de la période d'essai (5 semaines) ont été utilisées pour déterminer l'effet des formulations sur la durée de conservation des fruits car tous les fruits pourrissaient pendant la 6<sup>ème</sup>. Les tests de normalité montrent que la distribution de la durée de conservation des fruits n'est pas normalement distribuée. Les effets des formulations sur le taux de fruits conservés en bon état, le taux de fruits conservés dans un état intermédiaire et le taux de fruit pourri (Figure 47) ont été mis en évidence à partir du test de Kruskal-Wallis (Tableau XXXI). Ce test a donné une probabilité de 0,204 ; 0,074 et 0,055 respectivement pour le taux de fruits en bon état, le taux de fruits dans un état intermédiaire et le taux de fruits pourris. Toutes ces probabilités sont supérieures au seuil de significativité  $\alpha$  ( $\alpha = 0,05$ ). La durée de conservation ne varie donc pas significativement en fonction des formulations de substrats.

Résultats et discussion

Tableau XXXI : Etat des fruits de tomate des formulations après 5 semaines de conservation

| Formulations | Fruits en bon état         | Fruits dans un état intermédiaire | Fruits pourris               |
|--------------|----------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| F1           | 0,00% ± 0,00% <sup>a</sup> | 25,00% ± 0,00% <sup>a</sup>       | 75,00% ± 0,00% <sup>a</sup>  |
| F10          | 6,25% ± 6,25% <sup>a</sup> | 47,92% ± 14,58% <sup>a</sup>      | 52,08% ± 14,58% <sup>a</sup> |
| F47          | 6,25% ± 6,25% <sup>a</sup> | 21,67% ± 20,21% <sup>a</sup>      | 38,89% ± 33,94% <sup>a</sup> |
| F48          | 0,00% ± 0,00% <sup>a</sup> | 25,42% ± 12,08% <sup>a</sup>      | 71,85% ± 19,32% <sup>a</sup> |
| F49          | 4,17% ± 7,22% <sup>a</sup> | 20,19% ± 4,81% <sup>a</sup>       | 82,05% ± 6,18% <sup>a</sup>  |
| F50          | 0,00% ± 0,00% <sup>a</sup> | 19,17% ± 5,83% <sup>a</sup>       | 77,41% ± 13,04% <sup>a</sup> |
| F51          | 6,25% ± 6,25% <sup>a</sup> | 19,72% ± 17,8% <sup>a</sup>       | 80,37% ± 17,64% <sup>a</sup> |
| F52          | 6,25% ± 6,25% <sup>a</sup> | 31,67% ± 16,07% <sup>a</sup>      | 66,30% ± 25,64% <sup>a</sup> |
| F6           | 0,00% ± 0,00% <sup>a</sup> | 0,00% ± 0,00% <sup>a</sup>        | 100,00% ± 0,00% <sup>a</sup> |
| F65          | 0,00% ± 0,00% <sup>a</sup> | 40,00% ± 13,23% <sup>a</sup>      | 56,25% ± 18,75% <sup>a</sup> |
| <b>P</b>     | <b>0,204</b>               | <b>0,74</b>                       | <b>0,55</b>                  |

F : formulation ; P : probabilité associée au test de Kruskal-wallis. Pour chaque paramètre, les valeurs portant les mêmes lettres sont statistiquement égales ( $P \geq 0,05$ ). te : terre ; bac : balles de riz carbonisées ; f : fiente de poulet. F1 : te ; F5 : bac ; F6 : te + f ; F10 : bac + f ; F47 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te ; F48 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te ; F49 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te ; F50 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te + f ; F51 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te + f ; F52 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te + f ; F65 : te + NPK.



Figure 47 : Fruits de tomate en bon état, dans un état intermédiaire et fruit pourris

## 2.3. Discussion

### 2.3.1. Pépinière

Les résultats obtenus à la suite de la réalisation de la pépinière ont permis de montrer que le taux et la vitesse de germination sont statistiquement identiques pour les différentes formulations de substrats. Cela pourrait s'expliquer par le fait que la germination des graines dépend en grande partie des conditions environnementales du milieu. Cela est en accord avec les travaux de Uleanu *et al.*, (2019). En effet, Uleanu *et al.* ont constaté que le taux de germination des graines de tomate était le même sur quatre substrats différents présents dans un même endroit. Quant aux paramètres de croissance en pépinière, les valeurs obtenues montrent une variation significative de la hauteur et du diamètre moyen des plants en fonction des formulations de substrats. En effet, F51 ( $\frac{1}{2}$  terre +  $\frac{1}{2}$  balles de riz carbonisées et supplémentés de fiente de poulets) et F52 ( $\frac{1}{4}$  balles de riz carbonisée et  $\frac{3}{4}$  de terre) ont présentés les meilleures caractéristiques. Cela pourrait s'expliquer en premier lieu par l'action de la fiente de poulets qui représentent un fertilisant très performant qui accélère la croissance des plants du fait de sa richesse en éléments nutritifs. D'autre part, les balles de riz carbonisées améliorent l'aération du substrat. En effet, de par leur légèreté, les balles de riz carbonisées permettent une meilleure exploration des racines et une bonne croissance de celle-ci, ce qui agit positivement sur l'absorption des éléments nutritifs et donc sur la croissance. Cet avis est également partagé par Kouassi (2012) dans une étude sur les balles de riz carbonisées en pépinière de cacaoyers. Les formulations possédant plus de 50 % de balles carbonisées montrent des caractéristiques plus faibles que leurs homologues contenant 25% ou 50% de balles de riz carbonisées. Cela est en accord avec les travaux de Kratz *et al.* (2015) qui ont montré qu'une utilisation équilibrée de balles de riz carbonisées avec la fibre de coco donnait de meilleurs résultats dans la production de plants de *Ilex paraguariensis*. Concernant la couleur des feuilles, les valeurs obtenues indiquent qu'il y a une variation significative de la couleur des feuilles des plants en fonctions des formulations de substrats au 21<sup>ème</sup> jour après le semis. Seules les formulations F5, F47 et F6 ont la majorité des feuilles de leurs plantes qui ont présenté une couleur verte et légèrement jaune ou vert clair. Cette insuffisance de pigmentation verte pourrait s'expliquer pour F5 (balles de riz carbonisées) et F47 ( $\frac{3}{4}$  de balles de riz carbonisées et  $\frac{1}{4}$  de terre) par l'absence d'éléments nutritifs (azote, Magnésium) dans ces deux formulations du fait d'une quantité trop importante (quantité supérieure à 50%) de balles de riz carbonisées. Au niveau de F6 (terre et fiente de poulets), la décoloration des feuilles de ses plants au 21<sup>ème</sup> jour s'explique également par l'absence d'éléments nutritifs dans le milieu. En effet, pour leur forte

croissance, les plants de F6 ont épuisé les éléments nutritifs présents dans le milieu. Cela est en accord avec les travaux de Fathi (2022) qui ont montré qu'une baisse de la teneur en azote dans les plantes entraîne une décoloration de leurs feuilles. En effet, les plantes puisent l'azote au niveau du substrat se lequel elles se développent, une baisse de la teneur en azote du substrat entraîne une diminution de la teneur en azote dans la plante qui entraîne à son tour une baisse de la teneur en chlorophylle et donc une décoloration des feuilles. De Bang *et al.* (2021) soutiennent également cette idée en affirmant qu'une carence en azote conduit à un défaut de synthèse et à une dégradation des chlorophylles, ce qui induit aussi une décoloration des feuilles. Silva *et al.* (2017) affirment aussi que les carences sévères en nutriments chez les plantes supérieures sont généralement associées à des symptômes phénotypiques (symptômes visibles sur les plantes).

### **2.3.2. Parcelle expérimentale**

Après le repiquage, le développement des plantes s'est poursuivi en parcelle expérimentale dans des sachets contenant les mêmes formulations que celles dont étaient issues les plants. Le taux de mortalité des plantes a été étudié pendant les 70 jours qui ont suivi le repiquage. Les résultats obtenus montrent une variation significative du taux de mortalité des plantes en fonction des formulations de substrats. Les formulations F1, F5 (balles de riz carbonisées), F10 (balles de riz carbonisées et fiente de poulets) et F65 ont obtenues les taux les plus élevés de mortalité comparativement aux autres formulations. Ces forts taux de mortalité pourraient être la conséquence d'une insuffisance de vigueur des plants de ces formulations au moment du repiquage. La culture hors sol s'est faite dans un environnement très proche des conditions traditionnelles de culture, ne comportant ni ombrage ni filet de protection contre les insectes. Dès lors, les plantes les moins vigoureuses pourraient avoir eu du mal à s'adapter au nouveau milieu malgré l'entretien apporté. C'est en cela qu'il s'avère nécessaire de toujours rappeler l'importance d'une bonne pépinière pour les cultures sensibles comme la tomate.

Concernant les paramètres de croissance en hors sol, les analyses ont montré qu'ils variaient significativement en fonction des formulations. Les formulations supplémentées de fiente que sont F6, F50, F51 et F52 ont présenté les plantes ayant les meilleures caractéristiques pour la hauteur et le diamètre moyen des tiges, le nombre moyen de feuilles et le nombre moyen de gourmands. Ces performances sont dues à l'effet de la fiente de poulets sur la croissance des

plantes du fait de leurs richesses en éléments nutritifs. C'est en cela que Masarirambi *et al.* (2012) affirment que la fiente de poulets est riche en azote et son association avec les balles de riz apporte également du phosphore, du potassium et du soufre. Au niveau de la couleur des feuilles, elle varie significativement en fonction des formulations. Le fait que la quasi-totalité des formulations ait la majeure partie de leurs plantes avec des feuilles décolorées au 70<sup>em</sup> jour après le repiquage pourrait provenir d'une insuffisance d'éléments nutritifs due au fait que les besoins en azote et en phosphore des plantes de tomate augmentent considérablement à partir de la nouaison. En effet, les besoins en azote de la tomate sont assez faibles jusqu'à la nouaison puis augmentent par la suite. En outre, les besoins en potassium sont très importants à partir de la nouaison et diminuent en fin de culture (RADHORT, 2012).

Au niveau du rendement, les résultats obtenus montrent qu'il varie significativement en fonction des formulations de substrats. Les formulations F50, F51 et F52 ont obtenues les meilleurs rendements. Le rendement le plus élevé est obtenu par les plantes de F51. Cette productivité des plantes de F51 pourrait s'expliquer par les bonnes caractéristiques de cette formulation du fait des balles de riz carbonisées qui améliorent l'aération du substrat et libèrent également des éléments minéraux qui s'ajoutent à ceux déjà présent et à ceux apportés par la fiente de poulets. Kouassi (2012) soutient cette idée en affirmant que le charbon de balles de riz améliore l'aération du substrat ainsi que sa teneur en azote et en potassium. Le principal effet des balles de riz carbonisées étant l'amélioration de la structure du sol ce qui favorise à la fois l'enracinement des plantes et la captation par leurs racines des éléments minéraux présents dans le milieu. Pour cela, les balles de riz carbonisée ne doivent pas représenter plus de 50 % des constituants d'une formulation du fait de leur macroporosité. C'est pourquoi elles sont généralement associées à un composé à forte microporosité afin de trouver le bon équilibre (Kratz *et al.*, 2015). L'absence de cet équilibre entre micro et macroporosité a pu être la raison du faible rendement de F6 par rapport aux formulations hétérogènes. En outre, les formulations n'ayant pas reçu de fiente de poulets ont des rendements plus faibles que leurs homologues fertilisés. Les plants de F5 (balles de riz carbonisées) n'ont pas produit de fruit tandis que les plants de F10 (balles de riz carbonisées et fiente de poulet) ont produits des fruits. La fiente de poulets améliore donc la production des plantes. Coly *et al.* (2018) ont également observé un effet positif de la fiente sur la production de feuilles et de gousses d'arachide dans la Néma au Sénégal. La durée de conservation des fruits de tomate n'a pas statistiquement varié d'une formulation de substrat à une autre. Cette absence de variation de la durée de conservation des fruits pourrait être due au fait que la durée de conservation des fruits dépend en grande partie

des conditions environnementales. Les fruits ayant été conservés dans les mêmes conditions, il est de ce fait logique qu'ils aient la même durée de conservation. Cela est en accord avec les observations de Ife & Bas (2003) qui affirment que certains processus de dégradation sont inévitables mais peuvent être retardés en stockant les produits agricoles dans un lieu sec à l'abri de courants d'air et à la température la plus basse possible. La durée de production des plantes de tomate des différentes formulations a également été déterminée et elle varie significativement en fonction des formulations de substrats. Les formulations F6, F10, F47, F48 F50, F51 et F52 ont les plus longues durées de productions (45 à 50 jours). La plus faible durée de production est de 20 jours pour F1. Cela pourrait s'expliquer par l'épuisement des éléments minéraux de cette formulation composée uniquement de terre et non fertilisée au cours de cycle de production. Yah *et al.* (2022) partagent cette idée en désignant la baisse de la fertilité des sols comme l'une des contraintes majeures à la production des cultures maraichères.

#### **2.4. Conclusion partielle**

Les formulations présélectionnées à la suite des tests préliminaires ont été utilisées à la fois en pépinière et en parcelle expérimentale afin de déterminer leur capacité à supporter tout le cycle végétatif de la plante. Il ressort des résultats que certaines formulations fertilisées à base de fiente de poulets que sont F6 (terre + fiente), F50 ( $\frac{3}{4}$  balles de riz carbonisées +  $\frac{1}{4}$  terre + fiente), F51 ( $\frac{1}{2}$  balles de riz carbonisées +  $\frac{1}{2}$  terre + fiente) et F52 ( $\frac{1}{4}$  balles de riz carbonisées +  $\frac{3}{4}$  terre + fiente) ont donné dans l'ensemble les meilleurs résultats avec un rendement compris entre 377,65 g/plante (F6) et 842,65 g/plante (F51). Contrairement à ces dernières (F6, F50, F51 et F52), les formulations F1 (terre), F5 (balles de riz carbonisées) et F49 ( $\frac{1}{4}$  balles de riz carbonisées +  $\frac{3}{4}$  terre) ont donné dans l'ensemble les plus faibles rendements compris entre 64,36 g/plante (F1) et 130,08 g/plante (F49). F1, F5 et F49 ont également présenté les taux les plus élevés de mortalité des plantes après le repiquage. A cela s'ajoute un développement et une production moins importants de leurs plantes au cours des travaux en parcelle expérimentale. Aucune plante de la formulation F5 n'a porté de fleur. Quant aux formulations F10 (balles de riz carbonisées + fiente), F47 ( $\frac{3}{4}$  balles de riz carbonisées + fiente), F48 ( $\frac{1}{2}$  balles de riz carbonisées +  $\frac{1}{2}$  terre) et F65 (terre + NPK), elles ont dans l'ensemble des caractéristiques moyennes avec un rendement compris entre 144,01 g/plante (F65) et 253,54 g/plante (F48). Dans la suite des travaux, les fruits des meilleures formulations (F6, F50, F51, F52) et les fruits de la formulation témoin F1 feront l'objet d'analyse biochimique et de tests hédoniques afin d'évaluer l'effet des formulations réalisées sur les paramètres biochimiques et la qualité organoleptique des fruits produits.

## **CHAPITRE 3 : Caractéristiques organoleptiques et biochimiques des fruits de tomate produits par les meilleures formulations**

### **3.1. Introduction**

Les paramètres biochimiques que sont le pH (potentiel d'hydrogène), l'acidité titrable, le degré Brix, la teneur en lycopène, le taux de cendres, le taux d'humidité, le taux de matière grasse et les paramètres organoleptiques que sont l'odeur, l'amertume, l'arrière-goût, le goût sucré, l'acidité et la couleur ont été déterminés pour les fruits de certaines formulations. Ces formulations sont celles ayant obtenu dans l'ensemble les meilleurs caractéristiques (germination, paramètres de croissance et rendements) auxquelles a été ajoutée la formulation F1 comme témoin. Il s'agit des formulations F6, F50, F51 et F52.

### **3.2. Résultats**

#### **3.2.1. Effets des formulations sur les paramètres physico-chimiques des fruits de tomate des formulations**

Pour les fruits des formulations étudiés, le pH varie entre 3,593 (F6) et 3,750 (F50) ; l'acidité titrable (AT) entre 10,467 méq /100 g (F50) et 13,400 méq /100 g (F6) ; le degré Brix (DB) entre 7,300% (F51) et 9,767% (F6) ; la teneur en lycopène (Ly) entre 0,732 µg (F50) et 1,207 µg (F6) ; la teneur en cendres (C) entre 0,667% (F1) et 1,491% (F50) ; la teneur en matière grasse (MG) entre 4,800% (F50) et 9,667% (F1) ; enfin la teneur en humidité (H) varie entre 86,37% (F1) et 90,394% (F6).

Les paramètres physico-chimiques que sont le pH, le degré Brix, l'acidité titrable, l'humidité et la teneur en matière grasse varient significativement en fonction des formulations de substrats car les probabilités sont inférieures à 5% (Tableau XXXII). Contrairement, le taux de cendres et la teneur en lycopène des fruits ne varient pas en fonction des différentes formulations de substrat. La formulation F6 possède des fruits ayant statistiquement le plus faible pH ( $3,653 \pm 0,022$ ) avec cependant les valeurs les plus élevées en termes d'acidité titrable ( $13,400 \pm 1,1967$  méq/100g) et de Degré Brix ( $9,767 \pm 1,526$  %). Quant aux fruits de F51, ils possèdent les plus faibles valeurs en ce qui concerne le Degré Brix ( $7,300 \pm 0,150$  %) et le taux de matière grasse ( $4,800 \pm 1,500$  %). Les fruits de F50 ont pour leur part l'acidité titrable la plus basse avec  $10,467 \pm 0,700$  méq/100g et un pH de  $3,750 \pm 0,023$  qui est le pH plus élevé parmi les fruits

étudiés. La formulation F1 (terre) a des fruits ayant le taux d'humidité le moins élevé avec  $86,370 \pm 1,644$  % et le taux de matière grasse le plus élevé avec  $9,667 \pm 2,352$  %.

Tableau XXXII : Caractéristiques biochimiques des fruits de tomate des formulations

| F        | pH                             | AT<br>(még/100g)                | DB (%)                        | Ly (µg)                       | C (%)                         | H (%)                           | MG (%)                         |
|----------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| F1       | 3,700 ±<br>0,079 <sup>ab</sup> | 12,800 ±<br>1,670 <sup>a</sup>  | 9,233 ±<br>1,821 <sup>a</sup> | 0,753 ±<br>0,433 <sup>a</sup> | 0,667 ±<br>0,361 <sup>a</sup> | 86,370 ±<br>1,644 <sup>c</sup>  | 9,667 ±<br>2,352 <sup>a</sup>  |
| F6       | 3,593 ±<br>0,069 <sup>b</sup>  | 13,400 ±<br>1,1967 <sup>a</sup> | 9,767 ±<br>1,526 <sup>a</sup> | 1,207 ±<br>0,250 <sup>a</sup> | 1,053 ±<br>0,090 <sup>a</sup> | 90,394 ±<br>1,442 <sup>ab</sup> | 8,133 ±<br>1,400 <sup>ab</sup> |
| F50      | 3,750 ±<br>0,023 <sup>a</sup>  | 10,467 ±<br>0,700 <sup>b</sup>  | 8,867 ±<br>0,278 <sup>a</sup> | 0,732 ±<br>0,539 <sup>a</sup> | 1,491 ±<br>0,646 <sup>a</sup> | 89,699 ±<br>1,382 <sup>ab</sup> | 6,600 ±<br>4,200 <sup>ab</sup> |
| F51      | 3,670 ±<br>0,038 <sup>b</sup>  | 11,333 ±<br>0,529 <sup>ab</sup> | 7,300 ±<br>0,150 <sup>b</sup> | 1,144 ±<br>0,220 <sup>a</sup> | 1,203 ±<br>0,800 <sup>a</sup> | 90,372 ±<br>0,653 <sup>a</sup>  | 4,800 ±<br>1,500 <sup>b</sup>  |
| F52      | 3,653 ±<br>0,022 <sup>b</sup>  | 12,800 ±<br>0,520 <sup>a</sup>  | 8,733 ±<br>0,477 <sup>a</sup> | 0,885 ±<br>0,449 <sup>a</sup> | 1,037 ±<br>0,486 <sup>a</sup> | 88,535 ±<br>0,294 <sup>bc</sup> | 7,227 ±<br>3,170 <sup>ab</sup> |
| <b>P</b> | <b>0,000</b>                   | <b>0,000</b>                    | <b>0,001</b>                  | <b>0,133</b>                  | <b>0,051</b>                  | <b>0,0001</b>                   | <b>0,011</b>                   |

pH : potentiel d'hydrogène, AT : acidité titrable, DB : degré Brix, Ly : teneur en lycopène, C : teneur en cendres, H : taux d'humidité, MG : taux de matière grasse ; F : formulation ; P : probabilité associée au test de Kruskal-wallis. Pour chaque paramètre, les valeurs portant les mêmes lettres sont statistiquement égales ( $P \geq 0,05$ ). te : terre ; bac : balles de riz carbonisées ; f : fiente de poulet. F1 : te ; F6 : te + f ; F50 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te + f ; F51 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te + f ; F52 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te + f ; F65 : te + NPK

### 3.2.2. Effets des formulations sur les caractéristiques organoleptiques des fruits de tomate des formulations

Les réponses des différents juges ont permis la réalisation d'un tableau de contingence (Tableau XXXIII). Ainsi, très peu de panelistes ont trouvé la présence d'un goût amer au niveau des formulations F1, F50 et F51. Le même constat a été observé au niveau de l'arrière-goût avec 3 ; 4 et 8 juges qui ont noté la présence d'un arrière-goût respectivement au niveau de la pulpe des fruits des formulations F51, F6 et des caractéristiques souhaitables. Notons également que moins de la moitié des juges (8/20) ont trouvé la présence d'un goût acide dans les fruits de F1.

Tableau XXXIII : Données CATA de dégustations des fruits de tomate des formulations

| Formulations | Variables |      |              |         |       |           |
|--------------|-----------|------|--------------|---------|-------|-----------|
|              | Acidité   | Amer | Arrière-goût | Couleur | Odeur | Sucrosité |
| F1           | 8         | 2    | 20           | 20      | 20    | 20        |
| F6           | 12        | 16   | 4            | 20      | 20    | 12        |
| F50          | 16        | 3    | 20           | 20      | 16    | 20        |
| F51          | 16        | 4    | 3            | 20      | 16    | 20        |
| F52          | 12        | 8    | 12           | 20      | 12    | 20        |
| Souhaitable  | 11        | 0    | 8            | 20      | 20    | 20        |

te : terre ; bac : balles de riz carbonisées ; f : fiente de poulet. F1 : te ; F6 : te + f ; F50 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te + f ; F51 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te + f ; F52 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te + f ; Souhaitable : caractéristiques souhaitables des fruits

## Résultats et discussion

Les résultats obtenus montrent que l'odeur ( $P = 0,07$ ), l'acidité ( $P = 0,053$ ), la sucrosité ( $P = 0,120$ ) et la couleur ( $P = 1$ ) des fruits ne varient pas d'une formulation à l'autre car les probabilités obtenues sont supérieures à 0,05 (5%). Cependant, l'amertume et la présence d'un arrière-goût dans les fruits varient d'une formulation à l'autre car la probabilité obtenue est inférieure à 0,05. Les fruits de la formulation F51 ont montré les meilleures caractéristiques concernant l'arrière-goût et l'amertume avec les plus faibles fréquences d'apparition (0,200 soit 20% pour l'amertume et 0,150 soit 15% pour l'arrière-goût). En outre, tous les panelistes ont noté la présence d'un arrière-goût au niveau des fruits de F1 et F50 avec une fréquence de 1 soit 100% pour les deux formulations. Notons également une fréquence d'apparition de 0,400 soit 40% de l'arrière-goût au niveau des caractéristiques Souhaitables (Tableau XXXIV).

Tableau XXXIV : Fréquence d'apparition d'un caractère un niveau des fruits de tomate des formulations

| Variables    | F1        | F6        | F50       | F51       | F52        | Souhaitable | Probabilité du test Q de Cochran |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-------------|----------------------------------|
| Acidité      | 0,400 (a) | 0,600 (a) | 0,800 (a) | 0,800 (a) | 0,600 (a)  | 0,550 (a)   | <b>0,053</b>                     |
| Amertume     | 0,100 (a) | 0,800 (b) | 0,150 (a) | 0,200 (a) | 0,400 (ab) | 0 (a)       | <b>0,000</b>                     |
| Arrière-goût | 1 (c)     | 0,200 (a) | 1 (c)     | 0,150 (a) | 0,600 (bc) | 0,400 (ab)  | <b>0,000</b>                     |
| Couleur      | 1 (a)      | 1 (a)       | <b>1,000</b>                     |
| Odeur        | 1 (a)     | 1 (a)     | 0,800 (a) | 0,800 (a) | 0,600 (a)  | 1 (a)       | <b>0,070</b>                     |
| Sucrosité    | 1 (a)     | 0,600 (a) | 1 (a)     | 1 (a)     | 1 (a)      | 1 (a)       | <b>0,120</b>                     |

F : formulation ; P : probabilité associée au test de Kruskal-wallis. Pour chaque paramètre, les valeurs portant les mêmes lettres sur la même ligne sont statistiquement égales ( $P \geq 0,05$ ). te : terre ; bac : balles de riz carbonisées ; f : fiente de poulet. F1 : te ; F6 : te + f ; F50 :  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te + f ; F51 :  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te + f ; F52 :  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te + f ; Souhaitable : caractéristiques souhaitables des fruits

### 3.3. Discussion

Les analyses organoleptiques et biochimiques ont été réalisées en utilisant les fruits de tomates issus des formulations ayant les meilleures caractéristiques (F6, F50, F51 et F52). Les fruits issus de la formulation F1 ont également été pris en compte pour servir de témoin. Les résultats obtenus à la suite des analyses biochimiques ont montré qu'il existe une différence significative entre les fruits en ce qui concerne le pH, l'acidité titrable, le degré Brix, l'humidité et le taux de matière grasse. Par contre, le taux de cendres et la teneur en lycopène ne varient pas dans les fruits d'une formulation à une autre. De ce fait, les formulations de substrat ont un effet sur la quasi-totalité des caractéristiques biochimiques étudiés sur les fruits de tomate. Ces résultats vont dans le même sens que ceux obtenus par Kouamé (2020) dans ses travaux portant sur les effets des biofertilisants à base d'*Azolla* et de composts sur la culture de tomate. Dans cette expérience, il a été constaté une variation significative de la teneur en Vitamine C en fonction de la fertilisation. En outre, la nutrition minérale a tellement d'effets sur la croissance et le développement des plantes, qu'elle pourrait également avoir des effets sur la composition des tissus et des fruits. Cependant, les recommandations de l'ONU à travers le CODEX STAN 293-2008 ainsi que les spécifications minimales de l'ONU en 2020 sur la qualité des fruits et légumes frais (CEEONU-SMQ) ne définissent pas de standards internationaux en termes de composition nutritionnelle pour la tomate fraîche.

Néanmoins, il a été constaté que les fruits de tomate étudiés ont tous présenté des  $\text{pH} < 4,2$  et une acidité titrable comprise entre 10,467 et 13,400 ; ce qui en fait des fruits plutôt acides. Cette acidité représente un avantage en termes de stabilité. En effet, ce niveau d'acidité réduit considérablement le taux et la gamme des micro-organismes pouvant se développer au niveau des fruits. Seuls les micro-organismes acidophiles, notamment les levures, les moisissures, les acétobacters et lactobacillus peuvent s'y développer ; mais pas de coliformes de type *Escherichia coli*, puisque le pH minimum requis pour le développement de tels micro-organismes est de 4,3 (Rozier *et al.*, 1985 cités par Dossou *et al.*, 2007). De plus, un pH maximum de 4,5 est recommandé pour les purées de tomate (FAO, 2022).

En outre, une teneur en eau très élevée des fruits est un paramètre qui traduit la grande périssabilité de la tomate et limite son aptitude à l'entreposage à la température ambiante (Dossou *et al.*, 2007). Cependant, dans le cas des travaux, les fruits de F1 qui ont le taux d'humidité le plus faible ne se sont pas mieux conservés comparativement aux fruits des autres formulations. Cela pourrait s'expliquer par le fait que bien qu'étant statistiquement significatif, la variation de la teneur en eau des fruits des formulations reste assez faible (de l'ordre de 4 %

entre le taux d'humidité le plus bas (86,310 % pour F1) et le taux d'humidité le plus élevé (90,394 %). En ce qui concerne le Degré Brix, une valeur élevée est préférable pour la consommation car cela donne un goût sucré à l'aliment. C'est en ce sens que la FAO préconise un Degré Brix compris entre 18 et 25 pour la purée de tomate (FAO, 2009). De ce fait, les fruits de F6, F50, F52 et F1 présente statistiquement un meilleur Degré Brix comparativement à F51. La tomate étant généralement peu riche en matière grasse, les fruits de F50, F51 et F52 présentent statistiquement les plus faibles teneurs en matière grasse. Bien qu'étant statistiquement différents pour la majeure partie des paramètres physico-chimiques étudiés, les fruits les différentes formulations ont dans l'ensemble des caractéristiques physico-chimiques assez proches.

En ce qui concernent les paramètres organoleptiques, les résultats obtenus ont montré que l'odeur, l'acidité, la sucrosité et la couleur des fruits (de la pulpe des fruits) ne varient pas d'une formulation à l'autre. Néanmoins, il a été constaté que l'amertume et la présence d'un arrière-goût dans les fruits de tomate varient d'une formulation à l'autre. Dès lors, il est possible d'affirmer que la qualité organoleptique des fruits de tomate pourrait varier en fonction du substrat ayant servi à leur production. Ce constat est en accord avec les résultats de l'étude réalisée par Aguayo *et al.* (2004). Ces derniers ont affirmé que les conditions de culture, le stade de récolte et les conditions de conservation sont autant de variables qui ont un impact fort sur la qualité organoleptique de la tomate. Les meilleurs fruits en termes de qualité organoleptique proviennent de la formulation F51 (1/2 terre + 1/2 balles de riz carbonisée + fiente de poulets) avec une amertume et un arrière-goût moins marqué que les autres fruits et au regard des caractéristiques souhaitables des juges. Ce constat pourrait provenir de faibles quantités de matière grasse des fruits de F51 comparativement aux fruits des autres formulations. En effet, les lipides peuvent être utilisés dans la formation de certains composés phénoliques qui peuvent jouer un rôle dans la qualité du fruit (Bénard, 2009). Chez la pomme (*Malus domestica*) par exemple, les composés phénoliques interviennent au niveau de la qualité organoleptique de la pulpe, notamment pour l'amertume ou l'astringence (Cheynier & Sarni-Manchado, 2006). Dès lors, bien que certains composés biochimiques et certains critères hédoniques n'aient pas été déterminés dans le cas de notre étude, la variation de la qualité organoleptique des fruits de tomate serait due à la variation de certains composés biochimiques au niveau de ces mêmes fruits. C'est également en ce sens que Causse (2010) affirme que chez la tomate, la sucrosité peut être relativement bien substituées par des mesures de teneur en sucres ou en solides solubles. Crouzet (2006) affirme également que certains composés tel que le gâicol participent

à la qualité organoleptique du fruit de tomate. Au niveau de la couleur de la pulpe des fruits, l'absence de variation de couleur entre les fruits de tomate des différentes formulations pourrait être due à l'absence de variation de la teneur en lycopène de ces fruits. Par ailleurs, les caroténoïdes sont généralement responsables des couleurs vives de certains fruits et légumes (Chanforan, 2010). En effet, au cours de sa maturation, la tomate change de couleur du fait de la dégradation de la chlorophylle et de la biosynthèse des caroténoïdes, passant du vert au blanc, puis au jaune, avant de revêtir peu à peu sa couleur rouge. Chez les tomates rouges, le caroténoïde majoritaire est le (E)-lycopène qui est responsable de leur couleur rouge (Bénard, 2009).

### **3.4. Conclusion partielle**

Au terme des tests biochimiques et organoleptiques (hédoniques) réalisés sur les fruits de tomate, il ressort que les qualités biochimique et organoleptique des fruits de tomate sont fortement influencées par les formulations de substrat. Les formulations de substrat utilisées pour la production des tomates sont une composante essentielle des techniques culturales. Les techniques culturales ont donc un effet sur la qualité biochimique puis hédonique des fruits produits. Cependant, l'absence de normes précises sur la composition nutritionnelle des tomates fraîches et les caractéristiques biochimiques assez proches obtenus pour l'ensemble des fruits des différentes formulations rendent difficile (voire impossible) le choix des fruits d'une formulation donnée. La composition nutritionnelle ne permet donc pas de choisir les fruits d'une formulation donnée au détriment des fruits des autres formulations. Toutefois, le choix peut se faire en s'appuyant sur la qualité organoleptique des fruits. Les fruits de la formulation F51 (½ balles de riz carbonisées + ½ terre + fiente) ont présenté les meilleures caractéristiques hédoniques. Par contre, au niveau des fruits des formulations F1 (terre) et F50 (¾ balles de riz carbonisées + ¼ terre + fiente de poulets), il a été observé la forte présence d'un arrière-goût. De ce qui précède, il ressort que la richesse des fruits en certains composés biochimiques peut être néfaste à leur qualité organoleptique.

# **CONCLUSION ET PERSPECTIVES**

## Conclusion et perspectives

Au terme de cette étude, il ressort que les sous-produits issus de l'agriculture peuvent être valorisés comme substrats de culture en agronomie. Les sous-produits agricoles que sont les balles de riz brutes, les balles de riz carbonisées, la sciure de bois et le son de riz ont été utilisés pour la réalisation de tests préliminaires. Les résultats de ces tests préliminaires ont montré que les formulations de substrats à base de terre et de balles de riz carbonisées supplémentées ou non de fiente de poulets ont fourni dans l'ensemble les meilleures caractéristiques de germination et de culture (taux de germination, hauteur des tiges et de nombre de feuilles).

Ces formulations ont donc servi à la réalisation de la culture complète (de la pépinière à la production) de la tomate. Les résultats obtenus à la suite de ces travaux ont montré que les paramètres agronomiques des plantes varient significativement en fonction des formulations de substrat. La meilleure formulation en ce qui concerne l'ensemble des paramètres agronomiques et particulièrement le rendement est la formulation F51 (½ balles de riz carbonisée + ½ terre + fiente de poulets).

Au niveau des caractéristiques physico-chimiques des fruits de tomate, bien que celles-ci soient différentes d'une formulation à une autre, elles n'ont pas permis de choisir les meilleurs fruits. Néanmoins, en se basant sur les caractéristiques organoleptiques des fruits, la formulation F51 s'est démarquée par ses fruits moins amers avec un arrière-goût moins prononcé. Il en ressort que des variations dans la composition biochimique des fruits pourraient influencer certaines de leurs caractéristiques organoleptiques. Ainsi, la formulation F51 pourrait être proposée aux agriculteurs afin d'améliorer quantitativement et qualitativement la production de tomate et peut être d'autres cultures légumières en hors sol. Bien que la culture hors sol limite les attaques de parasites à partir du sol, celle-ci devrait être couplée à une meilleure protection des cultures. Cela pourrait également contribuer à l'amélioration quantitative, nutritionnelle et organoleptique des fruits produits.

Pour la suite de l'étude, des analyses physico-chimiques plus complètes sur les fruits et les substrats devront être menées pour identifier les composés affectant les caractéristiques organoleptiques des fruits de tomate. En outre, il serait intéressant d'étendre les travaux à d'autres spéculations afin d'apprécier l'efficacité des formulations réalisées sur ces spéculations. Notons également que l'utilisation en plein champ de balles de riz carbonisées et de fiente de poulets comme biofertilisants pourrait permettre d'évaluer leur aptitude à améliorer la production des plantes en milieu naturel. L'association des balles de riz carbonisées et des fientes de poulets à de la cendre de bois pourrait également entraîner une amélioration des

## Conclusion et perspectives

formulations réalisées. Enfin, l'amélioration de la protection des cultures par la mise en place d'une serre couplée à l'utilisation de moyens locaux de lutte biologique (insectes, pesticides biologiques, etc...) serait un pas de plus vers une agriculture autonome et durable.

# **RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- AAC. (2020). Agriculture et Agroalimentaire Canada, profil de la culture de la tomate de serre au Canada, 53 p.
- Adamou H., Adamou B. & Kimba A. & Delmas P. (2017). Gestion intégrée des principaux ravageurs et maladies des cultures maraîchères au Niger, Document technique : la protection de la tomate, 26 p.
- Adams, J., Vickers, Z., & Steinmetz, K. (2007). The use of check-all-that-apply questions in consumer research. *Journal of Food Science*, 72(8) : S522-S526.
- Aguayo E., Escalona V. & Artés F. (2004). Quality of fresh-cut tomato as affected by type of cut, packaging, temperature and storage time. *European Food Research and Technology*, 219(5) : 492-499.
- Ahn J. K. & Chung I. M. (2000). Allelopathic potential of rice hulls on germination and seedling growth of Barnyardgrass. *Agronomy Journal*, 92(6), 1162-1167.
- Akoguhi N. P., Adja M. G., Akpetou K. L., Mamadou D. & Kouame K. F. (2020). Cartographie aéroportée de l'espace universitaire de l'UJLoG par la méthode de classification dirigée orientée objet et réalisation du parcellaire des infrastructures d'enseignement, *International Journal of Engineering Science Invention (IJESI)*, 9 : 01-14.
- Al-Maskri A. Y., Khan M. M., Khan I. A. & Al-Habsi K. (2003). Effect of accelerated ageing on viability, vigor (RGR), lipid peroxidation and leakage in carrot (*Daucus carota* L.) seeds. *International Journal of Agriculture & Biology*, 5(4): 80-84.
- AL-Saleh M. A. (2011). Pathogenic variability among five bacterial isolates of *Xanthomonas campestris* pv.vesicatoria causing spot disease on tomato and their response to salicylic acid. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 10 : 47-51.
- Alla K. T (2020). Effets de la fertilisation à base de fiente de poulets et de pelure de banane sur les paramètres agromorphologiques et biochimiques des aubergines Kalenda (*Solanum melongena* L.) et N'Drowa (*Solanum aethiopicum*). Thèse de Doctorat, en Biotechnologie, Biosécurité et Bioressources, UFR Biosciences, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan (Côte d'Ivoire), 162 p.

- Alhag Dow M. (2006). Caractérisation fonctionnelle de la GDP-D-Mannose-3,5-épimérase et galactono-1,4-lactone déshydrogénase, enzyme de la voie de biosynthèse de la vitamine C chez la tomate. Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux 1 (France), 245 p.
- Alignan M. (2006). Phoma du tournesol : déterminisme de la tolérance de l'hôte à la maladie. Thèse de doctorat, Biosciences végétales, Institut National Polytechnique de Toulouse (France), 297 p.
- Anonyme 1. (2024). <https://hortimedia.ma/production-mondiale-de-tomates-en-2020/>
- Anonyme 2. (2024). <https://technisem.com/produit/f1-cobra-26/>, 16/03/2024
- AOAC. (1990). Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists, Agricultural Chemical, Contaminants, Drugs, Fifteenth edition, Virginia (USA), 771 p.
- Baize D. (2000). Guide des analyses en pédologie. 2ème édition, INRA, Paris, 257 p.
- Bancal V. & Tano K. (2019). Etude des modalités de réduction des pertes après récolte dans les cultures maraichères en Côte d'Ivoire. PS n°010/FIRCA/DCARA/PRO2M/2018. 91p.
- Bambara C. A. (2017). Effets des fientes de volaille sur les propriétés chimiques du sol et le rendement paddy du riz pluvial strict en zone sud soudanienne du Burkina Faso. Mémoire d'ingénieur, Université Nazi Boni (Burkina Faso), 68 p.
- Bassily N. (2008). Burundi: le son de riz peut être un substitut aux engrais chimiques (Syfia Grands Lacs), *Dépêche de nouvelles agricoles africaines*, 18 p.
- Basu A. & Imrhan V. (2007). Tomatoes versus lycopene in oxidative stress and carcinogenesis: conclusions from clinical trials. *European Journal of Clinical Nutrition*, 55 p.
- Belkhit S. (2021). Analyse génotypique et phénotypique des populations de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary agent du mildiou de la tomate en Algérie. Thèse de Doctorat, biotechnologie végétale, Ecole Nationale Supérieure Agronomique (ENSA) - El-Harrach-Alger (Algérie), 157 p.
- Bénard C. (2009). Etude de l'impact de la nutrition azotée et des conditions de culture sur le contenu en polyphénols chez la tomate. Thèse de doctorat, Agronomie et Environnement Nancy Université-INRA, Nancy (France), 265 p.
- Benaïssa S. (2019). Etude de la faculté suppressive d'un sol au *Fusarium oxysporum* f.sp. lycopersici race 1, agent causal de fusarium wilt sur tomate. Mémoire de Master, Sciences Agronomiques, Université de Biskra (Algérie), 75 p.

- Biekre A. H. T. (2013). Evaluation de quelques paramètres agronomiques de variétés de tomate [*Solanum lycopersicum* L. (Solanaceae)] introduites en Côte d'Ivoire. Mémoire de Master en Gestion et Valorisation des Ressources Naturelles, UFR des Sciences de la Nature, Université Nangui Abrogoua (Abidjan, Côte d'Ivoire), 77 p.
- Blancard D. (2009). Les maladies de la tomate, identifier, connaître, maîtriser. Edition : Quæ. Paris. 691p.
- Boro F., Traore O., Wonni I., Ilboudo P. & Ooédraogo L. (2023). Évaluation de la prévalence de la gale bactérienne de la tomate, et caractérisation des espèces associées aux symptômes au Burkina Faso, *Journal of Applied Biosciences*, 185 : 19429- 19441.
- Boufares K. (2012). Comportement de trois variétés de pommes de terre (Spunta, Désirée et) entre deux milieux de culture substrat et hydroponique. Mémoire de Chubaek magister, Université Aboubekr Belkaid Tlemcen (Algérie), 108 p.
- Boughaba R. (2012). Etude de la gestion et valorisation des fumiers par le lombricompostage dans la willaya de Constantine. Mémoire de Magister, Ecologie et Environnement. Université de Mentouri Constantine (Algérie), 97 p.
- Bousquet J. P. C. (1994). Régime juridique et contrôle de la certification des denrées alimentaires : puissance publique et producteurs. FAO étude législative, 145 p
- Brou Y. T. (2005). Climat, mutations socio-économiques et paysages en Côte d'Ivoire. Habilitation à Diriger des Recherches, Université des Sciences et Technologies de Lille (France), 212 p.
- Causse M. M. (2010). Les bases génétiques de la composition biochimique et des qualités organoleptiques de la tomate, *HAL open science*, 9 p.
- Chabalier P. F., Kerchove de V. V. & Macary H. S. (2007). Guide de la fertilisation organique à la réunion. Co-éd. CIRAD, Montpellier (France), 302 p.
- Chanforan C. (2010). Stabilité de micros constituants de la tomate (composés phénoliques, caroténoïdes, vitamines C et E) au cours des procédés de transformation: études en systèmes modèles, mise au point d'un modèle stoechio-cinétique et validation pour l'étape unitaire de préparation de sauce tomate. Thèse de Doctorat, chimie, Université d'Avignon (France), 399 p.
- Charrier A. (1983). Etude des ressources génétiques du genre *Abelmoschus* med. (gobo), Conseil international des ressources phylogénétiques, AGPG : IBPGR/83/22 Juin 1983, 68 p.

- Chaux C. & Foury C. (1994). Production légumières, tome 3: légumineuses potagères, légumes fruits, *Tec & Doc - Lavoisier*, Paris (France) : 125-153.
- Chen F., Nonogaki H. & Bradford K. J. (2002). A gibberellin-regulated xyloglucan endotransglycosylase gene is expressed in the endosperm cap during tomato seed germination. *Journal of Experimental Botany*, 53(367) : 215-223.
- Cheyrier V. & Sarni-Manchado P. (2006). Structures phénoliques et goût. Les polyphénols en agroalimentaire. *Coll. Sciences et techniques agroalimentaires*. Lavoisier, 398 p.
- Coly I., Diop B. & Goudiaby A. O. K. (2018). Effet du fumier sur le bilan des éléments nutritifs des champs dans le terroir de la Néma au Saloum (Sénégal). *European Scientific Journal*, 14(27) : 126-141.
- Couly G. 2010. « Une brève histoire naturelle de l'oralité » Les oralités humaines, avaler et crier : le geste et son sens. *Collection thématique en santé mentale*, 158 p.
- Courtial J. (2019). Pouvoir pathogène et résistance : implication des toxines dans l'interaction carotte-*Alternaria dauci*. Thèse de Doctorat, Biologie et physiologie végétales, université d'Angers (France), 233 p.
- Crouzet J. (2006). Structures phénoliques et arômes. Les polyphénols en agroalimentaire. *Éditions TEC & DOC - Lavoisier*, Paris (France), 3 : 55-88.
- DAG. (2018). Direction de l'agriculture de la Polynésie française, fiche technique de la tomate – *Solanum lycopersicum L*, 12 p.
- Dabin B. (1970). Méthode d'étude de la fixation du phosphore sur les sols tropicaux, *COTON ET FIBRES TROPICALES*, vol XXV, Fasc. 3, 45 p.
- Daubrey A. et Akasey R. (1992). Le guide de l'agriculteur en Côte d'Ivoire. Editions Prat/Europa, vol m., pp 171-175.
- Davies J.N. & Hobson G.E. (1981). The constituents of tomato fruit - the influence of environment, nutrition, and genotype. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 15(3) : 205 - 280.
- De Bang T. C. Husted S., Laursen K. H., Persson D. P. & Schjoerring J. K. (2021). The molecular–physiological functions of mineral macronutrients and their consequences for deficiency symptoms in plants. *New Phytologist*, 229 : 2446–2469.
- Delaune M., Reiffsteck M. & Feller C. (1991). L'analyse granulométrique de sols et sédiment à l'aide du microgranulomètre "Sedigrap 5000 ET". Comparaison avec la méthode "pipette Robinson". *Cahier Orstom, série pédologie*, XXVI (2) : 183-189.
- Degioanni B. (1997). La tomate. pp 115-137.

- Delot P. (2015). Balle de riz, Compilation d'éléments techniques en vue de son utilisation en isolation thermique, Guide technique, 26 p.
- De Pascale A. M. (1992). La qualité dans le secteur fruits et légumes : réglementation existante au niveau communautaire et influence de la qualité sur le commerce et la transformation. In : Lauret F. (ed.). *Les fruits et légumes dans les économies méditerranéennes : actes du colloque de Chania*. CIHEAM, Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens ; n. 19, Montpellier (France). pp. 89-97.
- De Pascale S., Maggio A., Orsini F. & Barbieri G. (2016). Cultivar, soil type, nitrogen source and irrigation regime as quality determinants of organically grown tomatoes. *Scientia Horticulturae*, 199 : 88-94.
- Diane L. (2004). Ecologie comportementale et modélisation. Implications pour la pollinisation des fleurs de tomate en serre. Mémoire de Thèse en Biologie, Université de Rennes, 293 p.
- Djellouli F. (2020). Méthodes d'étude de la qualité organoleptique des aliments, Cours destiné aux étudiants de 1ère année master, Faculté des sciences de la nature et de la vie, Nutrition et Pathologies, Université d'Oran1 (Algérie), 53 p
- Djidji A.H. (2005). Contribution à l'évaluation de six variétés de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) aux conditions chaudes et humides à Anguédédou. Côte-d'Ivoire. Mémoire de DEA de Physiologie Végétale, Option : Agrophysiologie, Université de Cocody Abidjan, Côte-d'Ivoire, 38 p.
- Djidji A. H., Zohouri G. P., Fondio L., Nzi J. C. & Kouamé N. C. (2010). Effet de l'abri sur le comportement de la tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en saison pluvieuse dans le Sud de la Côte-d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences* 25 : 1557 – 1564, ISSN 1997–5902.
- Dosso M., Koffi A., Glou Bi I., Traoré A. & Avadi A. (2023). Analyse fonctionnelle de la filière maraîchère périurbaine en Côte d'Ivoire (2021-2022). Rapport du WP2 – Diagnostique et évaluation du projet MARIGO. 147 p.
- Dossou J., Soulé I. & Montcho M. (2007). Evaluation des caractéristiques physico-chimiques et sensorielles de la purée de tomate locale produite à petite échelle au Bénin, *Tropicultura*, 25(2) : 119-125.

- Dufour D., Larssonneur S., Alarçon F., Brabet C. & Chuzel G. (1996). Improving the bread making potential of cassava sour starch. In: Dufour D., G.M. O'Brien & R. Best (Eds). Cassava flour and starch: progress in research and development. International Meeting on Cassava Flour and Starch, 133 - 142.
- FAO. (2009). Agribusiness Handbook, Fruit and Vegetable Processing, 93 p.
- FAO. (2022). Standard For Preserved Tomatoes CXS 13-1981\*, Adopted in 1981. Revised in 2007. Amended in 2013, 2017, 2022.
- Fathi, A. (2022). Role of nitrogen (N) in plant growth, photosynthesis pigments, and N use efficiency: A review. *Agrisost*, 28 : 1-8.
- Fogliani V. (2016). Culture hors-sol Perfectionnement 1 Solutions nutritives et irrigation, Direction du Développement Rural de la province Sud, 61 p.
- Fondio L., N'Gbesso M., Djidji A. H. & Diakaria C. (2019). *Bien cultiver la tomate en Côte d'Ivoire*. 4 p. <https://cnra.ci/download/bien-cultiver-la-tomate-en-cote-divoire/>
- Fondio L., Djidji A. H., N'Gbesso M. F. & Tahouo O. (2012). L'agriculture hors-sol pour produire des légumes de qualité en zone urbaine de Côte d'Ivoire, 3p.
- Gallais A. & Bannerot H. (1992). Amélioration des espèces végétales cultivées, Objectif et critères de sélection, *INRA éditions*, 382 p.
- Chabalier P. F., Kerchove de V. V. & Macary H. S. (2007). Guide de la fertilisation organique à la réunion. Co-éd. CIRAD, 302 p.
- CNRA. (2018). Le CNRA en 2018, le point sur ..., <https://cnra.ci/wp-content/uploads/2021/10/Le-CNRA-en-2018.pdf>, 40p.
- Degueurce A. (2016). La méthanisation par voie sèche agricole appliquée aux fumiers de bovins : Optimisation de la recirculation des lixiviats. Thèse de Doctorat, chimie, Université de Rennes (Français), 271 p.
- Folch J., Lees M. & Sloane-Stanley G. H. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*, 226 : 497-509.
- Gasser N. (2022). Comment est influencée la composition nutritionnelle des fruits et légumes à la récolte en agriculture hydroponique par rapport à l'agriculture pleine terre. Bachelor, Nutrition et diététique, Haute école de santé de Genève, 99 p.
- Gbedie N. A., Bonsson B., Ouattara Y., Bahan L. M. F., Kouadio K. T., Traoré S. M., Legnate N. H. & Keli1 Z. J. (2017). Méthodes de levée de dormance de la noix de

- cola fraîche (*Cola nitida* [Vent.] Schott et Endlicher), *Journal of Applied Biosciences*, 120 : 11999-12005.
- Gilbert L. (2009). Étude de la biosynthèse de l'ascorbate et des métabolismes associés chez la Tomate : Rôle de la L-galactono-1,4-lactone déshydrogénase et de la GDP-D-mannose-3',5'-épimérase. Thèse de Doctorat, Biologie végétale, Université Bordeaux 2 (France), 236 p.
- Gilli C. (2007). Le chancre bactérien de la tomate. *Viticulture Arboriculture Horticulture*, 39 (2) : 141 - 142.
- Gilli C & Carlen C. (2017). Fertilisation des cultures maraichères sur substrat, *agroscope*, 8 p.
- Giovannucci E. (1999). Tomatoes, tomato-based products, lycopene, and cancer: Review of the epidemiologic literature. *Journal of the National Cancer Institute*, 91(4) : 317-331.
- Gravel V., Blok W., Hallmann E., Carmona-Torres C., Wang H., Van de Peppel A., Condor Golec A. F., Dorais M., Van Meeterens U., Heuvelink E., Rembialkowska E. & Van Bruggen, A. H. C. (2010). Differences in n uptake and fruit quality between organically and conventionally grown greenhouse tomatoes. *Agronomy for Sustainable Development*, 30, 797-806.
- Gravel V., Martinez C., Antoun H. & Tweddell R. (2006). Control of greenhouse tomato root rot [*Pythium ultimum*] in hydroponic systems, using plant-growth-promoting microorganisms. *Canadian Journal of Plant Pathology-revue Canadienne De Phytopathologie*, 28 : 475-483.
- Grolier P. (1999). Antioxdants in the tomato fruit. In : Role and control of antioxidants in the tomato processing industry, Second bulletin on the advancement of research. A European Commission Concerted Action Program, 4 p.
- Grolier P., Bartholin G., Broers L., Carisveyrat C., Dadomo M., Di Lucca G., Dumas Y., Meddens F., Sandei L. & Schuch W. (2000). Les anti-oxydants de la tomate et leur biosynthèse. In: Les anti-oxydants de la tomate et ses dérivés et leur bienfaits pour la santé. Le livre blanc de la tomate, action concertée de la Commission Européenne, 3 p.
- Guadagnolo E. & Marti A. (2016). Analyse des critères nutritionnels de l'industrie alimentaire destinés à la régulation de la publicité chez l'enfant, Travail de Bachelor, Nutrition et diététique, Haute école de santé de Genève (Suisse), 103 p.
- Hamidi Y. (2018). Effet de la solution nutritive de base dans différents substrats en horticulture. Thèse de Doctorat, Biotechnologie végétale, Université Blida 1 (Algérie), 160 p.

- Hoquet T. (2005). Les Fondements de la botanique. Linné et la classification des plantes. Biologie du XXI<sup>e</sup> siècle : évolution des concepts fondateurs, *Vuibert*, Paris (France), 290 p.
- Idrenmouche S. (2011). Biologie et écologie de la mineuse de la tomate *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) dans la région de Boumerdes. Mémoire d'ingénieur, Sciences agronomiques, Ecole nationale supérieure agronomique El Harrach, Alger (Algérie), 103p.
- Ife F. J. & Bas K. (2003). La conservation des fruits et des légumes, *Agrodok* 3, 95 p.
- ISO 2173. (2003). Norme ISO 2173 - concernant les produits dérivés des fruits et légumes : détermination du résidu sec réfractométrique, 9 p.
- Ispe L. M. (2004). La qualité en industrie. Application : travail sur la qualité produit au sein d'une industrie agro-alimentaire, Thèse de Doctorat, vétérinaire, Université de Toulouse (France), 147 p.
- Jebrane M. (2009). Fonctionnalisation chimique du bois par, Trans-estérification des esters d'énol. Thèse de Doctorat, Chimie organique, Université Bordeaux 1 (France), 155 p.
- Kotaix A. J. A., Angui P. T. K., Pierre C. Z. K., Diby N. L., Dao D. & Bonfoh B. (2013). Effet de l'engrais organique liquide « dragon 1 », sur le développement de la tomate au sud et au centre-ouest de la Côte d'Ivoire, *Agronomie Africaine*, 25(1) : 37-52.
- Kikuno H., Muamba K., Shiwachi H., Micho O., Asiedu R. & March. (2006). Mini tuber production of white yam (*D. rotundata*) using vines : *Japanese Journal of Tropical Agriculture*, 50(1) : 1-3.
- Koala L. (2012). Fabrication manuelle de briquette de balles de riz et évaluation des performances du foyer amélioré a balle de riz. Mémoire d'ingénieur, *eaux et forêts*. Université Polytechnique de Bobo Dioulasso (Burkina Faso), 103 p.
- Kouamé K. T. (2020). Effets de biofertilisants à base d'Azolla et de composts sur la culture de tomate [*Solanum lycopersicum*, L. (Solanacée) variété Boomerang F1] au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, Agrophysiologie, Université Jean Lorougnon Guédé, 138 p.
- Kouassi S. (2009). Fiche Technico-économique : Culture hydroponique de la tomate Bureau d'étude, de Réalisation et d'Evaluation de projets (BEREP). *GenieAgro*, 11 p.
- Kouassi G. (2012). Evaluation de différents fertilisants sur la croissance et le développement de pépinières de cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) élevées sur différents substrats.

- Mémoire de fin d'étude, Agronomie et Productions Végétales, Institut National Polytechnique Félix Houphouët Boigny (Côte d'Ivoire), 75 p.
- Koffie B. C. Y. & Kra K. S. (2013). La région du Haut-Sassandra dans la distribution des produits vivriers agricoles en Côte d'Ivoire. *Revue de Geographic Tropicale et d'Environnement*, 2 : 9 p.
- Kratz D., Pires P. P., Stuepp C. A. & Wendling I. (2015). Produção de mudas de ervamate por miniestaquia em substratos renováveis. *Floresta Curitiba*, 45(3) : 609-616.
- Lamantia A. (2012). Analyse comparative des processus d'adoption et des impacts du Semis direct sur Couverture Végétale permanente (SCV) sur les exploitations agricoles familiales dans 3 régions tropicales : Madagascar, Cameroun et Laos. Mémoire d'ingénieur, Sciences et productions végétales, Agrocampus Ouest, Rennes (France), 76 p.
- Lambert L. (2018). Carence en calcium Pourriture apicale ou nécrose apicale Blossom-end rot, *MAPAC*, 2 p. [https://www.agrireseau.net/documents/Document\\_98452.pdf](https://www.agrireseau.net/documents/Document_98452.pdf).
- Le Bellec F. (2015). Le Guide Tropical, guide pratique de conception de systèmes tropicaux de culture économes en produits phytosanitaires. Cirad Réunion, fiche technique, 109 p.
- Lebongo S. A. O. (2011). Production de biochar à partir de la balle de riz : de l'étude de la ressource à la valorisation du produit. Mémoire de master, énergies renouvelables, 2IE (Burkina Faso), 50 p.
- Lemieux G. & Larochelle L. (1992). Rapport de mission au Sénégal du 5 au 15 décembre 1992, Québec (Canada), 39 : 35 p. <http://forestgeomat.for.ulaval.ca/brf>.
- Leney A. (2017). Les toilettes sèches, possibilité d'utilisation dans les îles du pacifique. *Pacific Reef Savers Ltd*, 45 p.
- Louissaint A. M. (2012). Évaluation de la répartition spatiale de l'infestation d'une parcelle de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) par la noctuelle *Helicoverpa zea* (Lepidoptera : Noctuidae) en présence d'une bordure de maïs (*Zea mays*). Mémoire de master, Agronomie et Agroalimentaire, Centre international d'études supérieures en sciences agronomiques (SupAgro), Montpellier (France), 40 p.
- Ligban R., Gone L. D., Kamagate B., Saley M. B. & Biemi J. (2009). Processus hydrogéochimique et origine des sources naturelles dans le degré carré de Daloa. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 3(1) : 38 - 47.

- Misra R. V., Roy R. N. & Hiraoka H. (2005). Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole. FAO.  
<https://www.fao.org/documents/card/fr/c/8b09f4f3-113f-596c-8e50-77420f380be7/>
- Masarirambi M. T., Dlamini P., Paul K., Wahome P. K. & Tajudeen O. O. (2012). Effects of chicken manure on growth, yield and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) 'Taina' Under a Lath House in a Semi-Arid Sub-Tropical Environment, *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Science*, 12(3) : 399-406.
- Monnery-Patris S., Marty L., Bayer F., Nicklaus S. & Chambaron S. (2016). Explicit and implicit tasks for assessing hedonic-versus nutrition-based attitudes towards food in French children. *Appetite*, 96 : 580-587.
- Morel P., Poncet L. & Rivière L. M. (2000). Les supports de culture horticoles : les matériaux complémentaires et alternatifs à la tourbe. *INRA Editions*, INRA Un Point Sur..., Paris (France), 87 p.
- Naika S., Lidth de Jeude J. V., De Goffau M., Hilmi M. & Dam B. V. (2005). La culture de la tomate : Production, transformation et commercialisation. *Agromisa*, 10 p.
- Néjji A. (2013). DGPCQPA, Maladies de la tomate d'origine fongique, MONASTIR 2/04/2013.
- Nicolas C. (2022). Agricultures & territoires Chambre d'Agriculture des Pays de la Loire, 3 p.
- Norbert N. K., François K. N., Hauverset A. N., Pierre W. N. & Yao T. (2015). Variations saisonnières des populations de mirides du cacaoyer dans la région du Haut-Sassandra en Côte d'Ivoire. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 25(1) : 3787-3798.
- Ortega Martínez, L. D., Sánchez Olarte, J., Díaz Ruiz, R., & Ocampo Mendoza, J. (2010). Efecto de diferentes sustratos en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* MILL). *Ra Ximhai*, 6(3) : 365-372.
- ONU. (2008). Norme Codex Pour Les Tomates (CODEX STAN 293-2008), 6p.
- ONU. (2020). Spécifications minimales de qualité pour les fruits et légumes frais (CEEONU-SMQ), 5p.
- Ouedraogo R. (2016). Evaluation des effets de la fiente de volaille, du fumier de vache et du fumier de porc sur le flétrissement bactérien de la tomate. Mémoire d'ingénieur du développement rural, Agronomie, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso), 63 p.

- Papadopoulos A. R. (1991). La culture des tomates en serre sur sol et sans sol. Agriculture Canada, Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1991 N° de cat. 53: 865-1991.
- Parent-Morvan C. & Sourdin C. (2013). L'agriculture biologique au pays de la Loire, résultats de recherche, Les variétés de tomates : des variétés lignées pour la diversification, *MARAICHAGE*, 4p.
- Peralta I. E. & Spooner D. (2007). History, origin and early cultivation of tomato (Solanaceae). Genetic improvement of Solanaceous crops. Enfield (NH). *Science Publisher*, 2 : 1-24.
- Philouze J. & Hedde J. L. (1995). The tomato. *Scientific American*, 59 : 85-146.
- Pitrat M. & Foury C. (2003). Histoires de légumes, des origines à l'orée du XXI<sup>e</sup> siècle, *Éditions Quae*, 1<sup>ère</sup> édition, Paris (France), 428 p.
- RAP. (2018). Le réseau d'avertissements phytosanitaires, fendillement sur fruit (concentrique ou radiale), 2p.
- RAP. (2021). Le réseau d'avertissements phytosanitaires, fiche technique, solanacées. Le chancre bactérien de la tomate de champ, biologie et symptômes, 5 p.
- RECA. (2022). Réseau National des Chambres d'Agriculture du Niger, Les informations mises en ligne sur la page Facebook RECA Phyto (n°5), 6 p.
- Reid K. (2007). Echantillonnage et analyse de sol dans le cadre de la gestion des éléments nutritifs. Fiche technique, Ontario, Ordre n° 06-031, 8 p.
- RADHORT (2012). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Techniques de production de semences de tomate au Sénégal. FAO, GCP/SEN/033/BEL, 22 p.
- Ranc N. (2010). Analyse du polymorphisme moléculaire de gènes de composantes de la qualité des fruits dans les ressources génétiques sauvages et cultivées de tomate ; recherche d'associations gènes/QTL. Thèse de Doctorat, Formation doctorale EERPG, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier (France), 217p
- Raoulisoa R. O. A. (2014). Les vertus du son de riz par ses potentialités nutritionnelles et antioxydantes. Mémoire pour l'obtention du diplôme d'études approfondies, Sciences de la vie. Université d'Antananarivo (Madagascar), 77 p.
- Rekibi F. (2015). Analyse compétitive de la filière tomate sous serre. Cas de la Wilaya de Biskra. Mémoire de magister en Sciences Agronomiques, Option Agriculture et Environnement dans les Régions Arides, Faculté des sciences exactes, Université Mohamed Khider Biskra (Algérie), 145 p.

- Renaud V. (2006). Les tomates qui ont du goût. *Eugen Ulmer*, Paris (France), 95 p.
- Richer de Forges A., Feller C., Jamagne M. & Arrouays D. (2008). Perdus dans le triangle des textures. *Etude et gestion des sols*, 15(2) : 97-111.
- Rozier J., Carlier V. & Bolnot F. (1985). Bases microbiologiques de l'hygiène des aliments; Ecole Nationale Vétérinaire de Maisons-Alfort, Paris, France. 230p.
- Sangaré A., Koffi E., Akamou F. & Fall C. A. (2009). Etat des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture. Ministère de l'agriculture-République de Côte d'Ivoire. Deuxième rapport national, 65 p.
- Sani Y. (2015). Les énergies alternatives : Cas de la balle de riz comme combustible de substitution au bois énergie au Niger. Atelier Réseau Climat et Développement, Netherlands Development Organisation, Paris (France), 8 p.
- Satter M. A., Ara H., Jabin S. A., Abedin N., Azad A., Abul Hossain A. & Ara U. (2014). Nutritional composition and stabilization of local variety Rice Bran BRRI-28. *International Journal of Science and Technology*, 3(5) : 306-3313.
- Sharif M. K. (2013). Rice Bran: A Novel Functional Ingredient. *Revue critiques en science alimentaire et nutrition*, 54(6) : 807-816.
- Sigg P., Gilli C., Ahmed O. & Gillioz J-M. Fumure de la tomate en culture hors sol sans adjonction d'acide, *Viticulture arboriculture horticulture*. 38(4) : 257-261.
- Silva E. de B., Santos A. A., De Mattos A. M., Braga N. A. M., Da Cruz M. C. M., Moreira R. A., De Andrade J. V. C., Gonçalves E. D. & De Oliveira L. F. (2017). Symptômes visuels de carences en nutriments chez *Physalis peruviana* L. *Bioscience Journal*, 33(1) : 105-112.
- Simon S. & Minatchy J. (2009). Guide de la tomate hors sol à la Réunion. CIRAD, 186 p.
- Soro S., Doumbia M., Dao D., Andres T. & Girardin O. (2007). Performance de six cultivars de tomates *Lycopersicon esculentum* Mills. Contre la jaunisse en cuillère des feuilles, le flétrissement bactérien et les nématodes à galles. *Sciences & Nature*, 4(2), 123-130.
- Soro S., Doumbouya M. & Koné D. (2008). Potentiel infectieux des sols de cultures de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) sous abri et incidence de l'âge de repiquage sur la vigueur des plants vis-à-vis de *Pythium* sp. À Songon-Dabou en Côte d'Ivoire *Tropicultura*, 26(3) : 173-178.

- Soro D., Ayolié K., Bakayoko S., Dao D., Kouadio Y. J. & Gnakri D. (2014). Can Kponan yam (*Dioscorea cayenensis*) full season tuber sprout if planted? *Journal of Agricultural Science and Technology*, 4(4) : 312-320.
- Testud F. (2015). Engrais minéraux. *EMC - Toxicologie-Pathologie*, 1(1) : 21-28.
- Tessier M. (2005)., quelques notions de fertilisation. Conseil pour l'agriculture au Québec, Longueuil, Québec (Canada), 50 p.
- Texier W. (2020). L'hydroponie pour tous, tout sur l'horticulture à la maison. Paris : Mama Editions, 347 p.
- Thybo A. K., Edelenbos M., Christensen L. P., Sorensen J. & Thorup-Kristensen K. (2006). Effect of organic growing systems on sensory quality and chemical composition of tomatoes. *LWT - Food Science and Technology*, 39 : 835-843.
- Toléba S., Aki Y., Dahouda M., Uma M. & Ga M. (2009). Identification et valeurs nutritionnelles des aliments utilisés en élevage d'aulacodes (*Thryonomys swinderianus*) dans les villes de Cotonou et Porto- Novo au Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, 64 : 1-10.
- Top A. (2014). Évolution des systèmes de production agricole dans un contexte de changement climatique et de migration et effet de genre dans les trois zones éco-géographiques de la région de Matam au Sénégal. Thèse de Doctorat, ED TESC Sociologie, Université de Toulouse (France), 556 p.
- Touckia G. I., Yongo O. D., Abotsi E. K., Francois W. & Kouami K. (2015). Essai de germination et de croissance au stade juvénile des souches locales de *jatropha curcas* l. en république centrafricaine, *European Scientific Journal*, 11(15) : 1857 – 7881.
- Turcotte G. (2005). Tableau de compilation et de rayonnement solaire global, *Tom'pousse*, 28 (40) : 6 p.
- Turcotte G., Larouche R., Carrier A. & Lambert L. (2015). Production de la tomate de serre au Québec. *Agrisys consultants inc.* 297 p.
- Uleanu F. & Giosanu D. (2019). Comparative study of the substrate influence on the germination and development of rila tomato seedlings. *Current Trends in Natural Sciences*, 8(16) : 87-95.
- UE (2019). Règlement. *Journal officiel de l'Union européenne*, Actes non législatifs, 58 p.
- UNEP. (2021). Environmental and health impacts of pesticides and fertilizers and ways of minimizing them, *Envisioning a Chemical-safe World*, Synthesis Report, 72 p.

- Varela A. M., Seif A. & Lohr B. (2003). A guide to IPM (Integrated pest management) in tomato production in Eastern and Southern Africa, *ICIPE Science Press*, 128 p.
- Veit-Kohler U., Krumbein A. & Kosegarten H. (1999). Effect of different water supply on plant growth and fruit quality of *Lycopersicon esculentum*. *Journal of Plant Nutrition and Soil*, 162(6) : 583-588.
- Vitre A. (2003). Fondements & principes du hors-sol, Doc V 3.1 HRS 12 Ind A, 10 p.
- Walkley A. & Black I. A. (1934). Un examen de la méthode Degtjareff pour la détermination de la matière organique du sol et proposition de modification de la méthode de titrage de l'acide. *Science du sol*, 37 : 29-38.
- Yah N. M., N'Douba A. P., Koffi A. M. H., Soro S., Kante D. & Koffi N. B. C. (2022). Contrôle des maladies de la tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) en culture avec trois extraits de plantes à Daloa (Cote D'Ivoire), *European Scientific Journal*, 18(17) : 111.
- Zro F. G. B., Guéi A. M., Nangah Y. K., Soro D. & Bakayoko S. (2016). Statistical approach to the analysis of the variability and fertility of vegetable soils of Daloa (Côte d'Ivoire). *African Journal of Soil Science*, 4(4) : pp. 328-338.

# **ANNEXES**

Annexes



Annexe 1 : Collecte des balles de riz brutes

## Annexes



Annexe 2 : Exemple d'association de deux substrats homogènes avant mélange

## Annexes



Annexe 3 : Mesure de la hauteur des plants en pépinière

Annexes

Grilles à l'intérieur de l'étuve

Réceptier en aluminium contenant

Morceaux de fruits de tomate



Annexe 4 : Morceau de fruits de tomate mis à l'étuve pour la détermination de la teneur en eau

Annexes

|  |                          |                          |                          |                          |                          |                          |                          |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <b>Genre :</b>   |                          |                          |                          |                          |                          |                          |                          |
| <b>Formulation :</b>   |                          |                          |                          |                          |                          |                          |                          |
| <b>Percevez-vous l'une de ces variables pour le fruit testé ? aimez-vous cette couleur</b> |                          |                          |                          |                          |                          |                          |                          |
|  | <b>Odeur</b>             | <b>Arome</b>             | <b>Amer</b>              | <b>Arrière-goût</b>      | <b>Sucre</b>             | <b>Acidité</b>           | <b>Couleur</b>           |
| <b>Oui :</b>   | <input type="checkbox"/> |
| <b>Non :</b>   | <input type="checkbox"/> |
| <b>Appréciez-vous ce paramètre</b>   |                          |                          |                          |                          |                          |                          |                          |
| <b>Oui :</b>   | <input type="checkbox"/> |
| <b>Non :</b>   | <input type="checkbox"/> |

Annexe 5 : Fiche de renseignement pour les analyses organoleptiques

Annexes

Fruits en bon état



Annexe 6 : Début du test de conservation

Annexes

Fruits en bon état intermédiaire

Fruits en bon état



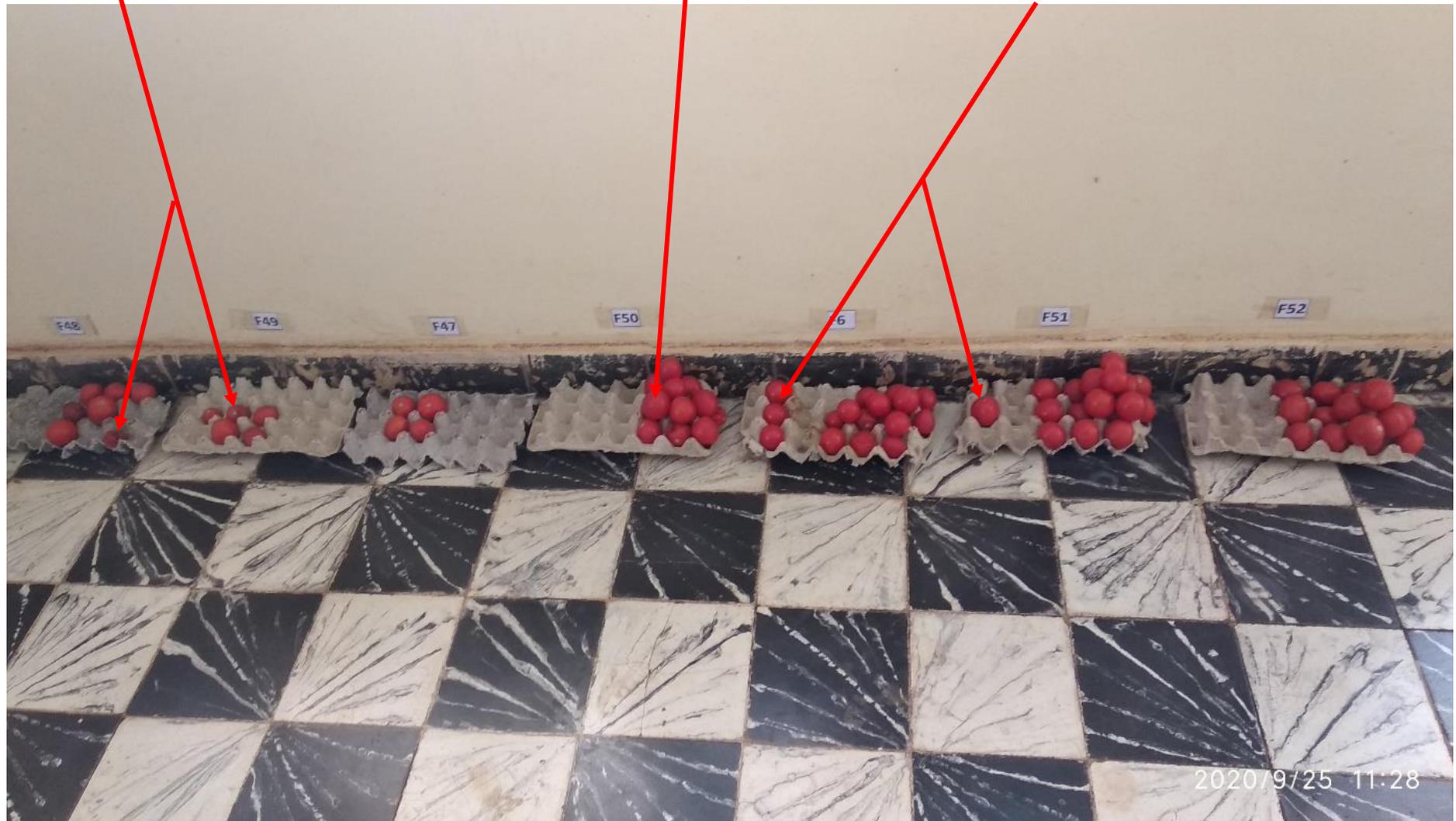
Annexe 7 : Après deux semaines de conservation

Annexes

Fruits pourris

Fruits dans un état intermédiaire

Fruits en bon état



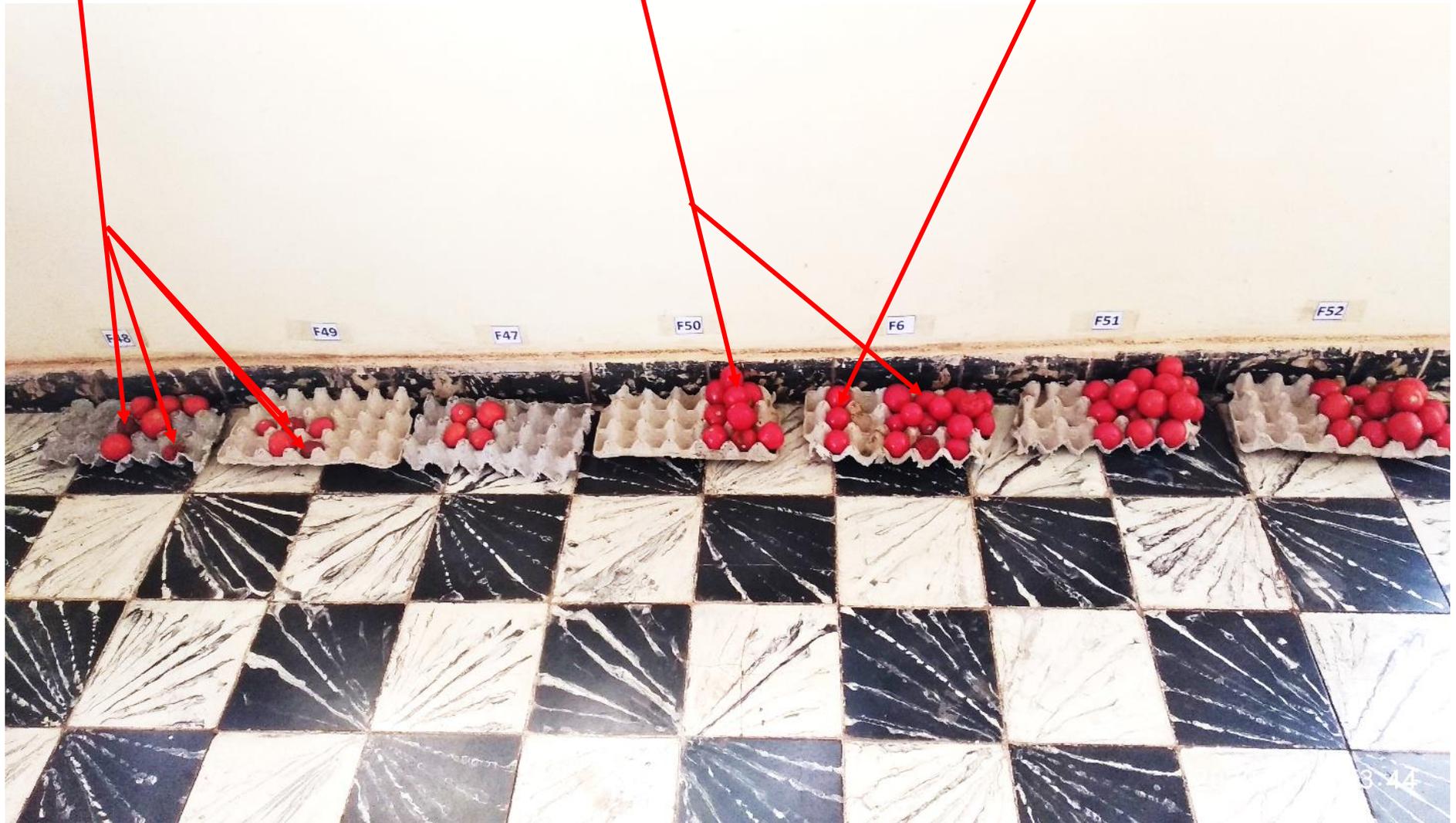
Annexe 8 : Après quatre semaines de conservation

Annexes

Fruits pourris

Fruits dans un état intermédiaire

Fruits en bon état



Annexe 9 : Après cinq semaines de conservation

# **PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES**

Aka B. J. K., Boye M. A-D. & N’Gonian K. S. (2021). Optimisation de la croissance en pépinière de *Solanum Lycopersicon* par l’utilisation de substrat biologique. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 57 (2) : 103-116.

Aka B. J. K., Boye M. A-D. & N’Gonian K. S. (2022). Essai de germination et de croissance de la tomate sur la sciure de bois, le son de riz et les balles de riz. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science (IOSR-JAVS)*. Volume 15, Issue 8 Ser. I : 46-56.

## Optimisation de la croissance en pépinière de *Solanum Lycopersicon* par l'utilisation de substrat biologique

### [ Optimization of nursery growth of *Solanum Lycopersicon* by the use of biological substrate ]

*Aka Borel Junior Kevin, Boye Mambé Auguste-Denise, and N'Gonian Kouadio Serge*

Département d'Agroforesterie, Laboratoire d'Amélioration de la Production Agricole, Université Jean Lorougnon Guédé,  
BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

Copyright © 2021 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** The tomato (*Lycopersicon esculentum*) is one of the most important vegetable crops in the world. However, in Côte d'Ivoire, there is a general decline in yield and quality of production compared to the capacity of the cultivars). The general objective of this study is to contribute to improve the growth of tomato in nursery using organic substrate. Specifically, the germination rate and speed, stem height and number of leaves were determined for each of the formulations in order to determine the ideal substrate formulation in the nursery. The plant material was tomato seed of the variety Cobra 26. The substrates used are soil and carbonized rice husks. The technical equipment consisted of honeycombed plates, a graduated ruler and a mini sprayer. The results obtained show a significant variation of the germination speed according to the formulations. During the growth of the plants in the nursery, the average height of the stems and the average number of leaves, the color of the leaves and the sanitary state of the plants for each formulation were determined and the analysis of the results showed a significant variation of these four variables in relation to the formulations. Formulations including  $\frac{1}{4}$  charred rice husk and  $\frac{3}{4}$  soil gave the best results overall.

**KEYWORDS:** trial, tomato, improvement, development, carbonized husk.

**RESUME:** La tomate (*Lycopersicon esculentum*) compte parmi les cultures légumières les plus importantes du monde. Cependant, en Côte d'Ivoire, On observe généralement une baisse du rendement et de la qualité de la production par rapport aux capacités des cultivars.). L'objectif général de cette étude est de contribuer à améliorer la croissance de la tomate en pépinière à l'aide de substrat organique. Spécifiquement, il a été question de déterminer le taux et la vitesse de germination, la hauteur des tiges et le nombre de feuilles pour chacune des formulations afin de déterminer la formulation de substrat idéale en pépinière. Le matériel végétal est constitué de semence de tomate de la variété Cobra 26. Les substrats utilisés sont à base de terre et de balles de riz carbonisées. Le matériel technique est constitué de plaquettes alvéolées, règle graduée et d'un mini pulvérisateur. Les résultats obtenus montrent une variation significative de la vitesse de germination en fonction des formulations. Lors de la croissance des plantes en pépinière, la hauteur moyenne des tiges et le nombre moyen de feuilles, la couleur des feuilles et l'état sanitaire des plantes pour chaque formulation ont été déterminés et l'analyse des résultats a montré une variation significative de ces quatre variables par rapport aux formulations. Les formulations comprenant  $\frac{1}{4}$  de balle de riz carbonisée et  $\frac{3}{4}$  de terre a donné dans l'ensemble les meilleurs résultats.

**MOTS-CLEFS:** essai, tomate, amélioration, développement, balle carbonisée.

## **1 INTRODUCTION**

La tomate (*Solanum lycopersicon*) compte parmi les cultures légumières les plus importantes du monde [1]. Il existe plus de 4000 variétés de semences de tomate dont les plants produisent des fruits de diverses tailles [2]. Selon le Fond des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), la tomate occupe la deuxième place dans la production maraîchère et est cultivée dans plus de 170 pays [3]. Au niveau mondial, sa production était estimée à 126, 2 millions de tonne, avec un rendement moyen de 27,3 T / ha en 2007 [4]. En Côte d'Ivoire, la production moyenne de tomate était de 34734 T en 2013 [5]. A l'instar de la production, la consommation de tomate augmente régulièrement tous les ans [6]. Cette augmentation de la consommation de tomate est due d'une part à sa richesse en protéines, en vitamine A, C et en lycopène [7]. C'est une plante très importante pour l'économie de bon nombre de pays comme la Côte d'Ivoire. En effet, la culture de tomate constitue une activité lucrative pour de nombreux producteurs à cause de son cycle végétatif court et de son haut rendement [1]. Sous les tropiques cependant, la culture de la tomate est confrontée à de nombreuses difficultés. On observe généralement une baisse du rendement et de la qualité de la production par rapport aux capacités des cultivars. Cela est favorisé par un mauvais développement des plantes dû à la pauvreté des sols, à la forte pression parasitaire et à la sensibilité aux climats chauds et humides [8]. Dès lors de nombreuses études ont été menées pour tenter de résoudre ces problèmes inhérents à bon nombre de cultures maraichères. C'est en cela que les nouvelles techniques culturales comme la culture hors sol ont été introduites. Néanmoins, le cout des fertilisants utilisés dans ce type de culture reste relativement élevé pour les populations rurales qui sont en majorité des populations pauvres [9]. De plus, le marché des produits biologiques qui a atteint plus de 7 milliards d'euros en 2016 en France, progresse de plus de 500 millions d'euros au cours du premier semestre 2017 par rapport à la même période en 2016 [10]. Cela donne une indication importante quant à l'engouement des consommateurs pour ce type de produits [11]. De ce fait, transparait la grande nécessité de passer d'une agriculture conventionnelle à une agriculture biologique. C'est en cela que l'utilisation de fertilisants biologiques représente une étape importante pour satisfaire les exigences des consommateurs, réduire les coûts de production et protéger l'environnement à travers une agriculture visant le développement durable dans un siècle bouleversé par le changement climatique. C'est dans cette optique que s'inscrivent ces travaux qui visent à contribuer à l'amélioration de la quantité et de la qualité des tomates produites par l'utilisation en culture hors sol de substrats et de fertilisants biologiques dans la ville de Daloa (Côte d'Ivoire). L'objectif général de cette étude est de contribuer à l'amélioration de la croissance en pépinière de la tomate à l'aide d'un substrat biologique. Les objectifs spécifiques de cette étude ont été de:

- Caractériser les paramètres de germination;
- Caractériser les paramètres de croissance en pépinière;
- Identifier parmi les formulations réalisées, la meilleure pour la pépinière de tomate.

## **2 MATERIEL ET METHODES**

### **2.1 ZONE D'ETUDE**

Le site de notre étude est localisé à l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa. La ville de Daloa se situe en Côte d'Ivoire dans la région du Haut Sassandra, précisément à 6°53 de latitude nord et 6°27 de longitude ouest. Cette région a une superficie de 15 200 km<sup>2</sup> pour une population estimée à 1.430.960 habitants [12]. La parcelle expérimentale est située au sein de l'Université, précisément à 6°54'32" de latitude nord et 6°26'14" de longitude ouest.

### **2.2 MATERIEL**

#### **2.2.1 MATERIEL TECHNIQUE**

Le matériel technique est constitué de plusieurs éléments, à savoir:

- Des plaquettes alvéolées;
- Une table qui a servi de support aux plaquettes alvéolées;
- Un mini pulvérisateur pour l'arrosage;
- Un filet pour la protection des plants.

## 2.2.2 MATERIEL D'ETUDE

### 2.2.2.1 MATERIEL VEGETAL

Le matériel végétal est représenté par des semences de *Lycopersicon esculentum*, précisément de la variété COBRA 26 produite par la société Technisem.

### 2.2.2.2 SUBSTRATS UTILISES

Les substrats qui seront utilisés sont la terre et les balles de riz (substrat biologique). Les balles de riz pour obtenir un produit dénommé balles de riz carbonisé qui sera notre véritable substrat biologique.

## 2.3 METHODES

### 2.3.1 COLLECTE DU SUBSTRAT

Le substrat biologique (balle de riz) a été collecté dans un moulin de la ville de Daloa.

### 2.3.2 CARBONISATION DU SUBSTRAT

Le processus de carbonisation des balles de riz brutes consiste à brûler les balles de riz de sorte à obtenir du charbon de balles de riz également appelé balles de riz carbonisées. La carbonisation se déroule en trois étapes [13] présentées dans la figure ci-dessous.



**Fig. 1. Processus de carbonisation d'un substrat**

#### Etape n°1: Mise en flamme à l'air

Cette étape consiste à mettre en place un brûleur. Il est réalisé à l'aide de bois disposés de façon conique (Fig. 1A). Le brûleur sera la source de chaleur qui permettra la carbonisation des balles de riz.

#### Etape n°2: Combustion à l'étouffée

Il s'agira de couvrir les bois en combustion avec le carboniseur puis tasser autour de ce dernier la matière à carboniser (balle de riz) et laisser la carbonisation se faire (Fig.1B). Il faudra veiller à retourner régulièrement la matière à carboniser pour que celle-ci soit totalement carbonisée et éviter ainsi l'obtention de cendres, un léger ajout d'eau est réalisé en cas d'apparition de flammes. Cette étape peut durer généralement 2h à 2h 30 min / sac de balle.

#### Etape n°3: Refroidissement

En fin de combustion, éteindre le feu par aspersion d'eau et laisser refroidir 20 à 30 minutes avant de collecter le composant carbonisé dans des sacs. Le taux de carbonisation varie selon la matière. Il est d'environ 50 % pour le riz (Fig. 1C).

### 2.3.3 CONFECTION DES DIFFERENTES FORMULATIONS DE SUBSTRATS

Les différentes formulations sont présentées dans le tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1. Composition des différentes formulations

| Codes | Formulation correspondante | Codes | Formulation correspondante |
|-------|----------------------------|-------|----------------------------|
| F1    | 100% te                    | F48   | ½ bac +1/2 te              |
| F5    | 100% bac                   | F49   | ¼ bac + ¾ te               |
| F47   | ¾ bac +1/4 te              |       |                            |

Te: terre; bac: balles de riz carbonisées

Les différents substrats seront utilisés deux à deux aux proportions de ¾ et ¼; ½ et ½; ¼ et ¾. Cependant, il y a aussi des formulations qui seront composés d'un seul type de substrat. Nous avons au total cinq formulations que sont F1, F5, F47, F48 et F49.

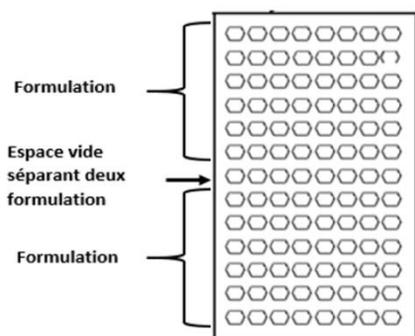
### 2.4 PREPARATION DE LA PARCELLE

La préparation de la parcelle s'est faite en plusieurs étapes:

- Défrichage qui a consisté au nettoyage de la parcelle à la machette puis à la daba;
- Etiquetage et remplissage des alvéoles qui a permis de reconnaître les formulations présentent dans chaque plaquette alvéolée.

### 2.5 DISPOSITIF EXPERIMENTAL

La figure 2 ci-dessous présente la disposition de deux formulations dans une plaquette alvéolée.



Disposition de deux formulations dans une plaquette alvéolée

Fig. 2A



Disposition des plaquettes alvéolée sur une table

Fig. 2B

Fig. 2. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental utilisé lors des trois essais est présenté dans la figure 2. Deux formulations différentes sont regroupées sur une même plaquette alvéolée (Fig. 2A). En tout, cinq plaquettes alvéolées ont été utilisées par expérience, chacune des cinq formulations est donc répétée deux fois. Ces cinq plaquettes alvéolées sont posées sur une table recouverte d'un plastique pour éviter tout contact entre les formulations et le bois de la table (Fig. 2B). Pour chaque formulation, des graines de tomate (Cobra 26) ont été semées dans 48 alvéoles à raison de deux graines par alvéole.

## 2.6 SEMIS

Le semis se fera dans des alvéoles contenant chacune une formulation de substrat. Il faudra semer 2 graines par alvéole dans le substrat à une profondeur de 1 à 2 cm. Nous aurons 96 graines par substrat pour chacune des 3 répétitions. Le démariage à un plant a eu lieu 10 jours après le semis.

## 2.7 ENTRETIEN

Les mesures prises pour l'entretien des plants de tomate sont présentées à la figure 3.



Plants de tomate évoluant dans des alvéoles sous un filet

Fig. 3A



Ombrière des plants de tomate

Fig. 3B

**Fig. 3. Entretien des plants de tomate**

Les plants de tomate (Fig. 3A) sont protégés contre les insectes et autres ravageurs à l'aide de filets. Les plants seront disposés sous une combrière jusqu'à ce qu'ils soient assez forts pour résister à l'ensoleillement. On enlèvera progressivement l'ombrage pour permettre aux plants de s'adapter au soleil avant le repiquage. Pendant la période de pépinière (3 semaines), les plants seront arrosés tous les matins (Fig. 3B).

## 2.8 COLLECTE DE DONNEES

Le taux et la vitesse de germination ont été déterminés à partir des 10 premiers jours après le semis. Quant aux autres paramètres, ils ont été déterminés chaque trois jours à partir du douzième jour après le semis jusqu'au vingt et unième jour après le semis.

### 2.8.1 TAUX DE GERMINATION

Il exprime en pourcentage le rapport entre le nombre de graines germées (Nbg) sur nombre total de graines (Nbtg), [14].

$$Tg = (Nbg/Nbtg) \times 100$$

### 2.8.2 VITESSE DE GERMINATION

La vitesse de germination (ViGe) exprimée en plantules par jour est la somme des rapports entre le nombre ( $n_i$ ) de graines germées au jour ( $i$ ) et le nombre de jours ( $j_i$ ) écoulés depuis le semis,  $k$  étant le nombre total de jours d'expérimentation [14].

$$ViGe = \sum_{i=1}^k \frac{n_i}{j_i}$$

### 2.8.3 NOMBRE DE FEUILLES DES PLANTS

Le nombre moyen de feuilles par plant ( $Nmf$ ) est égal à la somme des nombres de feuilles de tous les plants ( $\Sigma Nf$ ) divisée par le nombre total de plants ( $Np$ ) pour chaque formulation.

$$Nmf = \frac{\Sigma Nf}{Np}$$

### 2.8.4 HAUTEUR DES PLANTS

La hauteur moyenne ( $Hmp$ ) des plants est égale à la somme des hauteurs des plants ( $\Sigma Hp$ ) divisée par le nombre de plants ( $Np$ ) pour chaque formulation.

$$Hmp = \frac{\Sigma Hp}{Np}$$

### 2.8.5 COULEUR DES FEUILLES

La couleur des feuilles a été appréciée à travers une échelle faisant correspondre les principales couleurs de la plante à un nombre variant de 1 à 5 (tableau 2).

Tableau 2. Codage de la couleur des feuilles de tomate

| Coloration de la feuille   | Appréciation visuelle de la couleur   | Code d'identification de la couleur |
|----------------------------|---|-------------------------------------|
| Jaune                      |   | 1                                   |
| Verte et moyennement jaune |  | 2                                   |
| Verte et légèrement jaune  |  | 3                                   |
| Vert clair                 |  | 4                                   |
| Verte foncé                |  | 5                                   |

Le tableau 2 présente une méthode de codage des couleurs utilisées dans le cas de notre étude. Il faut noter que la couleur des feuilles varie énormément d'une plante à une autre mais renseigne quelque peu sur les conditions du milieu.

## 2.8.6 ETAT SANITAIRE DES PLANTULES

L'état sanitaire des plantules est perçu sur les feuilles et les tiges et les racines. Dans notre étude, l'on choisira d'apprécier l'état sanitaire au niveau des feuilles et des tiges. L'état sanitaire des plantules sera déterminé par l'état sain ou l'état malade, sans tenir compte de la gravité des symptômes. L'état sain correspond à un plant sans aucune marque ou brûlure sur les feuilles et la tige. Quant à l'état malade, il correspond à la présence de brûlures, de taches blanches, de perforations sur les feuilles et potentiellement sur les tiges.

## 3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

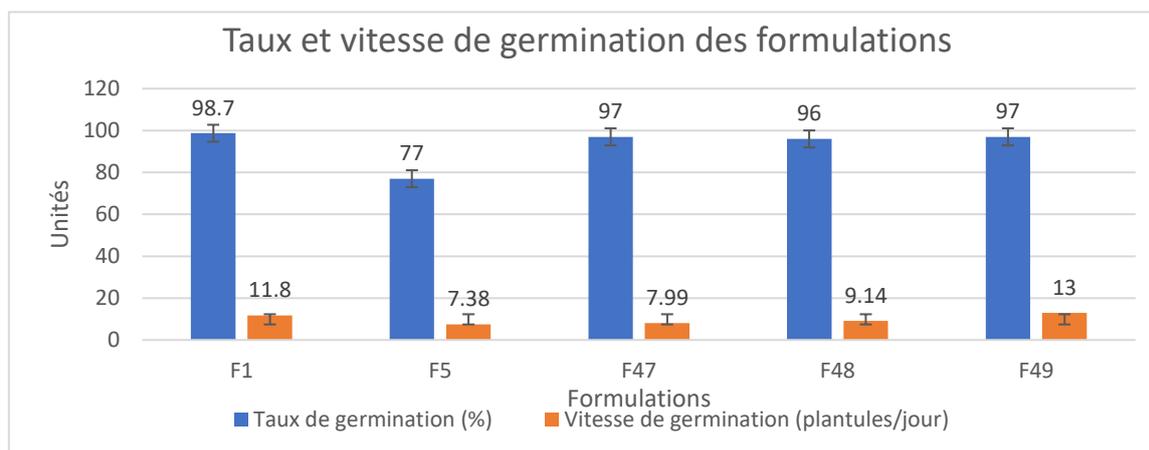
### 3.1 RESULTATS

#### 3.1.1 TAUX ET VITESSE DE GERMINATION

##### 3.1.1.1 ÉVOLUTION DU TAUX ET DE LA VITESSE DE GERMINATION

- **Description**

La figure 4 présente l'évolution du taux et de la vitesse de germination au niveau des 5 formulations de substrats (F1, F5, F47, F48 et F49).



**Fig. 4. Taux et vitesse de germination des formulations**

*F: formulation; sc: sciure de bois; te: terre; bac: balle de riz carbonisée; F 1: 100 % te; F3: 100 % sc; F5: 100 % bac; F 47:  $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te; F 48:  $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te; F 49:  $\frac{1}{4}$  bac +  $\frac{3}{4}$  te; Tg: taux de germination; ViGe: vitesse de germination;*

A l'analyse de la figure 4, nous constatons en ce qui concerne le taux de germination que les formulations F1, F47, F49 et F48 qui ont les meilleurs taux de germinations avec respectivement 98,7%, 97%, 97% et 96%. Le plus faible taux de germinations pour l'ensemble des essais est observé au niveau de la formulation F5 et est de 77%. La vitesse (plantules/jour) de germination donne une indication du nombre de graines ayant germé en une journée. La vitesse la plus élevée est observée au niveau de la formulation F 49 et est de 13 plantules/jour. Elle est suivie par les formulations F1, F48 et F47 qui ont respectivement pour vitesse de germination 11,82  $\approx$  12; 9,14  $\approx$  9 et 7,98  $\approx$  8 plantules/jour. La plus petite vitesse de germination a été observée chez la formulation F5 et est de 7,38  $\approx$  7 plantules/jour.

- **Distribution**

Les résultats du test de Shapiro-Wilk concernant le taux et la vitesse de germination sont présentés dans le tableau 3 ci-dessous.

**Tableau 3. Test de normalité des paramètres de germination**

| Formulations | Taux de germination (%) | Vitesse de germination (plants/jours) |
|--------------|-------------------------|---------------------------------------|
| F1           | < 0,0001                | 1,000                                 |
| F5           | 0,363                   | 1,000                                 |
| F47          | < 0,0001                | 0,939                                 |
| F48          | 0,363                   | 0,599                                 |
| F49          | 0,363                   | 1,000                                 |

La probabilité du test de Shapiro-Wilk au niveau des taux de germination pour les formulations F1 et F49 est de 0,0001 < 0,05 (tableau 3), d'où la distribution du taux de germination ne suit pas une loi normale pour l'ensemble des formulations. Par contre la loi de distribution de la vitesse de germination donne une probabilité supérieure à 0,05 pour chacune des formulations de substrat, donc la distribution de la vitesse de germination suit la loi normale.

La distribution de la variance concernant la vitesse de germination est présentée dans le tableau 4.

**Tableau 4. Test d'égalité de variance pour la vitesse de germination**

| Variable\Test                        | Bartlett |
|--------------------------------------|----------|
| Vitesse de germination (plants/jour) | 0,234    |

L'analyse de ce tableau a distribution de la vitesse de germination suit la loi normale, nous avons donc réalisé un test d'égalité des variances au niveau de la vitesse de germination. La probabilité obtenue (0,291) montre que les variances des vitesses de germination sont égales, il convient alors d'utiliser des tests paramétriques de comparaison des moyennes au niveau de la vitesse de germination et des tests non paramétriques dans le cas du taux de germination.

### 3.1.1.2 EFFET DES FORMULATIONS SUR LE TAUX ET LA VITESSE DE GERMINATION

Le test de normalité ayant entraîné le rejet de l'hypothèse de normalité, nous avons utilisé le test non paramétrique de Kruskal-Wallis qui utilise la somme des rangs afin de déterminer l'influence des formulations sur le taux de germination. Dans le cas des vitesses de germination, une analyse de variance (ANOVA) a été réalisée. Les résultats sont présentés dans le tableau 5.

**Tableau 5. Effet des formulations sur le taux et de la vitesse de germination**

| Formulations | Taux de germination (%) | Vitesses de germination (plants/jour) |
|--------------|-------------------------|---------------------------------------|
| F1           | 98,700 ± 0,006a         | 11,82 ± 1,00ab                        |
| F5           | 77,00 ± 2,65a           | 7,38 ± 1,20c                          |
| F47          | 97,00 ± 2,65a           | 7,99 ± 0,18c                          |
| F48          | 96,00 ± 5,29a           | 9,14 ± 1,33bc                         |
| F49          | 97,00 ± 3,97a           | 13,00 ± 0,50a                         |
| P            | 0,057                   | 0,0000                                |

Les moyennes de la même colonne suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % ( $p < 0,05$ )

La probabilité pour le taux de germination est  $P = 0,057$  (tableau 5). Cette probabilité est supérieure à 0,05. Le taux de germination ne varie donc pas significativement d'une formulation à l'autre. L'effets des formulations sur la vitesse de germination a été déterminés par une ANOVA à un facteur, suivi d'une comparaison multiple à l'aide du test de Bonferroni. Le test ANOVA a donné une probabilité de de 0,0000 < 0,05; la vitesse de germination est significativement influencée par les formulations de substrat.

### 3.1.2 HAUTEUR, NOMBRE DE FEUILLES, COULEUR DES FEUILLES ET D’ÉTAT SANITAIRE DES PLANTS

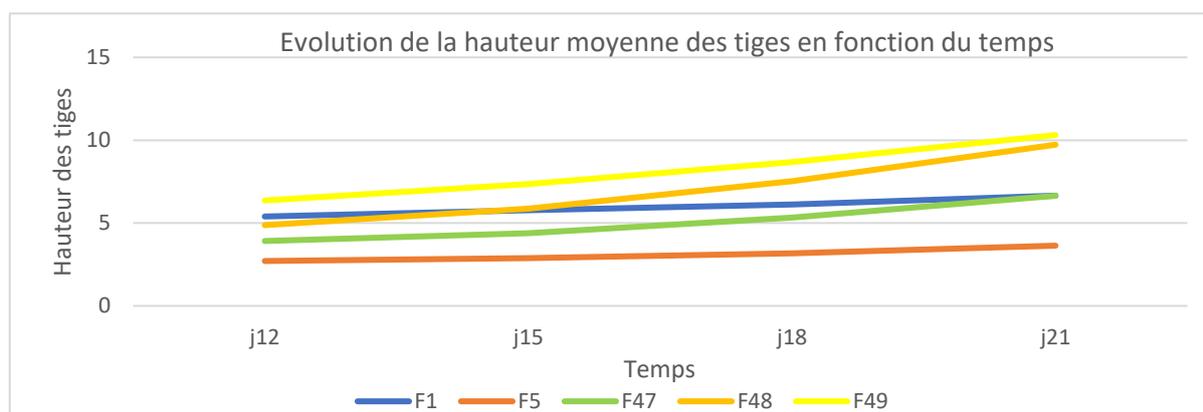
#### 3.1.2.1 ÉVOLUTION DE LA HAUTEUR, DU NOMBRE DE FEUILLES, DE LA COULEUR DES FEUILLES ET DE L’ÉTAT SANITAIRE DES PLANTS

- **Description**

La description de la hauteur, du nombre de feuilles, de la couleur des feuilles et de l’état sanitaire des plants nous présente des différences entre les formulations.

- ✓ **Hauteur des tiges**

La figure 5 ci-dessous présente l’évolution de la hauteur des tiges des plants de tomate de chaque formulation au cours du temps.



**Fig. 5.** *Évolution de la hauteur moyenne des tiges en fonction du temps*

*J12, j15, j18, j21 correspondent respectivement à 12; 15, 18, 21 jours après le semis jours après le semis*

Les courbes d’évolution de la hauteur des tiges principales en fonction du temps (Fig. 5) présentent une croissance de moins 1cm pour les formulations F47, F1 ET F5. Seules les formulations F49 et F48 présentent des tiges avec une croissance d’environ 2 cm du 12em au 21em jour. Les formulations F49 et F48 ont les tiges les plus hautes avec près de 10 cm au 21em jour. Les formulations F5 et F47 ont des tiges de hauteurs casi identiques atteignant les 6 cm. Les tiges les moins hautes sont observées au niveau de la formulations F5 avec une hauteur d’environ 4 cm.

- ✓ **Nombre de feuilles des plants**

L’évolution du nombre moyen de feuille au cours du temps montre une réelle variation du 12em jour au 21em jour est présenté sur la figure 6.

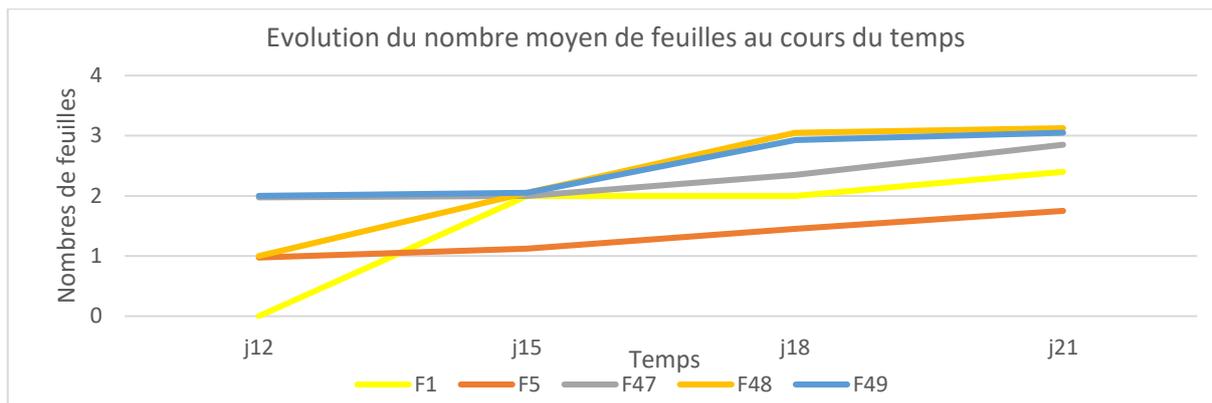


Fig. 6. Évolution du nombre moyen de feuilles des plants des formulations en fonction du temps

J12, j15, j18, j21 correspondent respectivement à 12; 15, 18, 21 jours après le semis jours après le semis

Les courbes (Fig. 6) nous montre que le plus grand nombre de feuilles est observée au niveau des formulations F48, F49 et F47 qui ont environ 3 feuilles au 21em jour. Les formulations F48 et F1 ont connu une augmentation de 2 feuilles en 9 jours. Les formulations F49, F47 et F1 quant à elles ont obtenu une seule feuille en 9 jours. Les plus faibles nombres de feuilles sont observé au niveau des formulations F5 et F1 avec des plantules possédant environ 2 feuilles.

✓ État sanitaire des plants et couleur des feuilles

L'état sanitaire et la couleur des feuilles au cours du temps ont été appréciés à travers les différentes modalités qui les composent (Fig. 7).

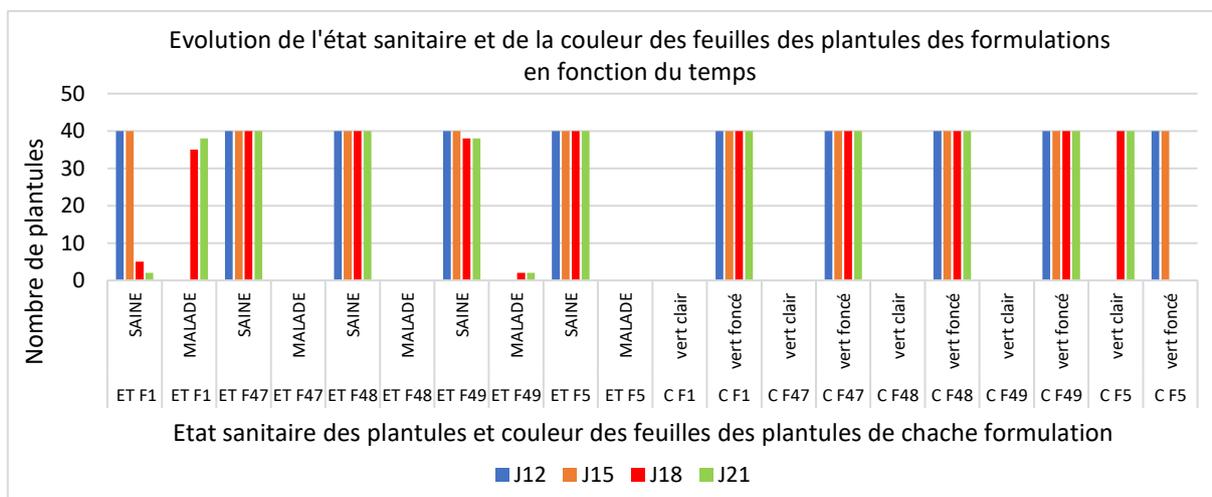


Fig. 7. Evolution de l'état sanitaire et de la couleur des feuilles des plantules des formulations en fonction du temps

J12, j15, j18, j21 correspondent respectivement à 12; 15, 18, 21 jours après le semis jours après le semis

Ainsi donc, à partir de la figure 7, nous avons constaté au niveau des 40 plants pris en compte pour chaque formulation que tous les plants étaient saines et de couleur vert-foncé au 12em et au 15em jour après le repiquage. C'est à partir du 18em jour qu'on observe une variation au niveau de l'état sanitaire des plants mais la couleur des feuilles reste vert-foncé durant toute la phase pépinière. Au 18em jour, la formulation F1 présente 35 plants malades contre 5 plants saines. L'attaque se propageant à partir de ce moment, le nombre de plants malades passe de 35 à 38 au 21em jour. Concernant la formulation F49, l'apparition de maladies s'est faite au 18em jour et 5 plants ont été atteint. Cependant pour F49, au 21em jour, il n'y a pas eu d'augmentation du nombre de plants malades.

- **Distribution de la hauteur, du nombre de feuilles, de la couleur des feuilles et de l'état sanitaire des plants**

La distribution des différents paramètres de croissance en pépinière a été étudiée à l'aide des données recueillies le dernier jour de la pépinière (21<sup>em</sup> jour)

- ✓ **Distribution de la hauteur et du nombre de feuilles des plants**

La loi de distribution de la hauteur des tiges et du nombre de feuilles a été étudiée à partir du test de Shapiro et Wilk. Pour ces trois paramètres, la probabilité P est inférieure à 0,05 pour l'ensemble des paramètres ce qui a tendance à nous conduire à dire que la distribution de ces paramètres ne suit pas la loi normale, ce serait une erreur. D'après la théorie des grand nombre, toute loi de distribution se résume à la loi normale pour  $n > 30$  (nombre d'individu par traitement). Les paramètres étudiés suivent donc la loi normale.

La distribution de la vitesse de la hauteur de la tige et du nombre de feuilles suit la loi normale, nous avons donc réalisé un test d'égalité des variances.

**Tableau 6. Test d'égalité des variances pour la hauteur des tiges et le nombre de feuilles**

| Variable\Test      | Bartlett |
|--------------------|----------|
| Hauteur de la tige | < 0,0001 |
| Nombre de feuilles | 0,901    |

Les résultats du tableau 6 montre que la probabilité obtenue au niveau de la hauteur des tiges (0,0001) montre que les variances des hauteurs de tiges des différentes formulations ne sont pas identiques. Un test non paramétrique sera donc utilisé pour déterminer l'effet des formulations sur la hauteur des tiges. En ce qui concerne le nombre de feuilles, nous avons une probabilité  $p = 0,901 > 0,05$ ; les variances des nombres de feuilles des différentes formulations sont identiques. Nous utiliserons dans ce dernier cas des tests paramétriques de comparaison des moyennes.

- ✓ **Distribution de l'état sanitaire des plants et de la couleur des feuilles**

La variation de l'état sanitaire des plants et celle de la couleur des feuilles par rapport aux formulations de substrats a été mise en évidence à travers un tableau de proportion (tableau 7).

**Tableau 7. Tableau de proportion de l'état sanitaire en fonction de la couleur des feuilles**

| Etat sanitaire \ Couleur | Couleur    |            | Total |
|--------------------------|------------|------------|-------|
|                          | Vert clair | Vert foncé |       |
| Malade                   | 0,000      | 0,250      | 0,200 |
| Saine                    | 1,000      | 0,750      | 0,800 |
| Total                    | 1,000      | 1,000      | 1,000 |

*Les moyennes de la même colonne suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % ( $p < 0,05$ )*

Le tableau 7 de permet de voir la répartition des proportions de plants malades en fonction de la couleur des feuilles au dernier jour de la pépinière. Nous constatons que seulement 25% des plantes malades ont la couleur vert-foncé alors que 75% des plants saines ont une couleur vert-fonce. Nous constatons également que tous les plants avec des feuilles de couleur vert-clair sont saines.

### 3.1.2.2 EFFET DES FORMULATIONS SUR LA HAUTEUR, LE NOMBRE DE FEUILLES, LA COULEUR DES FEUILLES ET L'ETAT SANITAIRE DES PLANTS

L'effet des formulations sur la hauteur, le nombre de feuilles, la couleur des feuilles et l'état sanitaire des plants a été réalisée à l'aide des données recueilli le dernier jour de la pépinière afin de déterminer s'il existe des différences significatives entre les plants des différentes formulations.

• **Effet des formulations sur la hauteur et du nombre de feuilles des plants**

La détermination de l'effet des formulations sur la hauteur des feuilles a été déterminée par un test de Kruskal Wallis suivi d'une comparaison multiple par le test de dunn et l'effet des formulations sur le nombre de feuilles a été mis en évidence à partir d'une ANOVA (analyse de variance) suivi d'une comparaison par le test de Bonferroni (tableau 8).

**Tableau 8. Effet des formulations sur la hauteur des tiges et le nombre de feuilles**

| Formulations | Hauteur des tiges (cm) | Nombre de feuilles (feuilles) |
|--------------|------------------------|-------------------------------|
| F1           | 5,345 ± 0,745b         | 2,400 ± 0,496b                |
| F5           | 2,948 ± 0,428c         | 1,750 ± 0,439c                |
| F47          | 4,895 ± 0,769b         | 2,850 ± 0,427a                |
| F48          | 7,317 ± 1,287b         | 3,125 ± 0,463a                |
| F49          | 8,063 ± 1,332a         | 3,050 ± 0,450a                |
| P            | 0,00                   | 0,00                          |

Les moyennes de la même colonne suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % ( $p < 0,05$ )

Nous relevons du tableau 8 que le nombre moyen de feuilles et la hauteur moyenne des tiges ont une probabilité  $P = 0,00 < 0,05$ . Le nombre moyen de feuilles et la hauteur moyenne des tiges sont significativement influencés par les formulations de substrats. La formulation F49 possède à la fois la plus grande hauteur de tige (8,063 cm) et le plus grand nombre de feuilles (3 feuilles) parmi les formulations réalisées. La formulation F5 présente la plus faible hauteur de tige (2,948 cm) et environ deux feuilles. Les autres formulations possèdent des plants avec des caractéristiques se situant entre celles de F5 et celle de F49.

• **Effet des formulations sur l'état sanitaire des plants**

L'effet des formulations sur l'état sanitaire des plants a été déterminé à partir d'un test de Khi2 (tableau 9).

**Tableau 9. Effet des formulations sur l'état sanitaire des plants**

| Formulations | MALADE | SAINE | Total |
|--------------|--------|-------|-------|
| F1           | 19%    | 1%    | 20%   |
| F47          | 0%     | 20%   | 20%   |
| F48          | 0%     | 20%   | 20%   |
| F49          | 1%     | 19%   | 20%   |
| F5           | 0%     | 20%   | 20%   |
| Total        | 20%    | 80%   | 100%  |
| P            | 0,0001 |       |       |

Les moyennes de la même colonne suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % ( $p < 0,05$ )

En ce qui concerne l'état phytosanitaire des plants (tableau 9), on observe que la probabilité pour qu'un plant soit malade est de 0,2. Cependant la probabilité qu'un plant appartenant à F1 soit malade est de 95% et cette probabilité chute à 5% pour F49 et à 0,00% pour les autres formulations. Le test de Khi2 a donné au niveau de l'état sanitaire des plants une probabilité  $P = 0,0001 < 0,05$ . L'état sanitaire des plants varie donc en fonction des formulations de substrat.

• **Couleur des plants**

L'effet des formulations sur l'état sanitaire des plants a été déterminé à partir d'un test de Khi2 (tableau 10).

Tableau 10. Effet des formulations sur la couleur des feuilles des plants

| Formulations | Vert clair | Vert foncé | Total |
|--------------|------------|------------|-------|
| F1           | 0%         | 20%        | 20%   |
| F47          | 0%         | 20%        | 20%   |
| F48          | 0%         | 20%        | 20%   |
| F49          | 0%         | 20%        | 20%   |
| F5           | 20%        | 0%         | 20%   |
| Total        | 20%        | 80%        | 100%  |
| P            | 0,0001     |            |       |

Les moyennes de la même colonne suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % ( $p < 0,05$ )

Dans le cas de la couleur des feuilles, nous constatons que toutes les feuilles de couleur claires appartiennent à F5. Toutes les autres formulations possèdent donc des feuilles vert-foncé. Le test de Khi2 a été réalisé pour déterminer s’il existe un lien entre les formulations et la couleur des feuilles. Nous avons obtenu une probabilité  $P = 0,0001 < 0,05$  (tableau 10). Il existe donc un lien significatif entre les formulations et la couleur des feuilles.

### 3.2 DISCUSSION

Au niveau des paramètres de germination, nous constatons que le taux de germination reste statistiquement identique tandis qu’une variation significative est observée au niveau de la vitesse de germination. Cette variation est au plus marquée entre la formulation F49 ( $\frac{3}{4}$  terre +  $\frac{1}{4}$  balle carbonisée) et la formulation F5 qui est constituée uniquement de balles de riz carbonisée et est de l’ordre d’environ 6 plants/jour. Notons malgré l’absence de différence significative entre les formulations en ce qui concerne le taux de germination, ce dernier est plus élevé au niveau des formulations F1, F47, F48 et F49. Ces variations s’expliquent par les bonnes caractéristiques de germination de la formulation composée de terre et celles composées de terre et de balle de riz carbonisée. En effet, on observe une variation plus importante du taux et de la vitesse de germination entre les formulations constituées uniquement de balle de riz carbonisée et le reste des formulations. De ce qui précède, nous pouvons dire que la terre favorise la germination des graines car elle favorise la rétention de l’eau indispensable à la germination. Les formulations composées uniquement ou majoritairement de balles de riz carbonisées ont des taux de germination plus faibles du fait de la structure particulière des balles qui ne retenant pas suffisamment l’eau. Cependant, ce dernier se présente comme un facteur déterminant pour la germination des graines sous nos tropiques. [15] ont un point de vue similaire en affirmant que des trois facteurs de germination les plus importants que sont la température, l’humidité et la lumière; l’humidité se révèle être le facteur le plus important sous les tropiques. Associées à la terre dans les proportions ne dépassant pas 50%, les balles de riz carbonisées permettent de rendre la terre plus perméable à l’eau lorsque celle-ci comporte une grande quantité d’argile et accélère ainsi la germination des graines. Le fait que la terre favorise lors de la culture hors sol une meilleure germination des plantes est un indicateur de la qualité de l’environnement où la terre a été prélevée. Cela est en accord avec les travaux de [16] qui ont mis en évidence que la baisse des capacités de germination des graines de 3 espèces (*D. innoxia*, *Z. mays* et *L. perenne*) sur des sols pollués.

Concernant les paramètres de croissances en pépinière, il a été observé une variation de la hauteur des tiges et du nombre de feuilles, de l’état sanitaire et de la couleur des feuilles en fonction des formulations. Pour l’ensemble de ces paramètres, les meilleures formulations de ce groupe sont les formulations F49 ( $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te) et F48 ( $\frac{1}{2}$  bac +  $\frac{1}{2}$  te). Ces formulations possèdent au plus  $\frac{1}{2}$  de balle carbonisée. De ce qui précède il ressort qu’en pépinière, les balles de riz carbonisées utilisées comme composant partiel des formulations de substrats favorise la croissance des plants lorsqu’elles représentent au plus la moitié du substrat. En effet, Les balles de riz sont riches en silice avec cependant de faible quantité d’éléments nutritifs. La carbonisation permet dans un premier temps une meilleure libération de ces éléments nutritifs dans le milieu et en second lieu, elle améliore la croissance racinaire des plantes et donc leur nutrition tant qu’elle ne dépasse pas les 50% du substrat. Des résultats similaires ont été publiés par [17] à la suite d’une étude sur l’utilisation en riziculture d’un compost à base de cendres de balles de riz. De même, [18] ont affirmé que l’utilisation des balles de riz carbonisées en pépinière, augmente le nombre de racines, la longueur des nouvelles pousses ainsi que leurs nombres de feuilles. Cependant, lorsque plus de la moitié du substrat de pépinière est composée de balle de riz carbonisée, on assiste à un ralentissement dans la croissance des plants du fait de la faible rétention d’eau entraînée par cet excès, c’est le cas des formulations F47 ( $\frac{3}{4}$  bac +  $\frac{1}{4}$  te) et F5 (100% bac).

## 4 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Au terme de cette étude, il ressort que les sous-produits issus de l'agriculture peuvent être valorisés comme substrat de culture pour cette même Agriculture. Ils pourraient ainsi contribuer à la baisse du coût de production. Parmi toutes les formulations réalisées, nous avons constaté que les formulations constituées de balles de riz carbonisées et de terre (F 48, F49) possèdent les meilleures caractéristiques en prenant en compte à la fois les paramètres de germination et les paramètres de croissance. Ces formulations favorisent une bonne germination des graines et une meilleure croissance des plants de tomate. Au nombre de ces formulations, c'est la formulation 49 qui se révèle être la meilleure formulation en ce qui concerne la pépinière de la tomate.

Pour la suite des études, des analyses biochimiques pourraient être réalisées sur ces formulations pour en déterminer la composition. Tester la capacité de ces formulations à supporter tout le cycle végétatif de la tomate pourrait éclairer d'avantage sur l'utilisation des balles de riz carbonisée en culture hors sol. Il serait également souhaitable d'approfondir cette étude en cherchant à améliorer les formulations réalisées à l'aide de fertilisants biologiques.

## REMERCIEMENT

Nous remercions le laboratoire d'amélioration des productions agricoles et mon encadreur tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail.

## REFERENCES

- [1] N. Shankara, V. L. Joep, G. Marja, H. Martin and V. D. Barbara. La culture de la tomate production, transformation et commercialisation, PROTA, (2005).
- [2] C. M. Rick, "El tomate", *Investigation in Ciencia*, vol. 25, pp. 44-57, 1978.
- [3] Louissaint A. M. (2012). Évaluation de la répartition spatiale de l'infestation d'une parcelle de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) par la noctuelle *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) en présence d'une bordure de maïs (*Zea mays*), Mémoire de Master Agronomie et Agroalimentaire, 2012.
- [4] M. Ahishakiye and M. Aitamour, Transformation industrielle de tomates; extraction et caractérisation de l'huile de graines de tomates, 4 p, 2010.
- [5] Anonyme 1, Production alimentaire: tomates (tonnes), Côte d'Ivoire Perspective monde, FAO-ONU Carte du monde pour cette statistique, 8 Août 2018.
- [6] Dossou, J., Soulé, I., and Montcho, M., Analyse économique de la production de purée de tomate à petite échelle au Bénin, *Tropicultura*, vol. 24, no. 4, pp 239-246, 2006.
- [7] Hanson, P., Chen J. T., Kuo, C. G., Morris R., and Open, R.T., Suggestions sur les pratiques culturelles de la tomate, Learning center, pp. 1 – 9, 2001.
- [8] F. Chen, H. Nonogaki and K. J. Bradford, "A gibberellin-regulated xyloglucan endotransglycosylase gene is expressed in the endosperm cap during tomato seed germination". *Journal of Experimental Botany* 53, pp. 215-223, 2002.
- [9] A. J. A. Kotaix, P. T. K. Angui, C. Z. K. Pierre, N. L. Diby, D. Dao, and B. Bonfoh, "Effet de l'engrais organique liquide « dragon 1", sur le développement de la tomate au sud et au centre-ouest de la côte d'ivoire, UFR Sciences et Gestion de l'Environnement, Université Nangui – Abrogoua", *Agronomie Africaine*, vol 25, no. 1, pp 37 – 52, 2013.
- [10] Agence bio, l'agriculture bio séduit de plus en plus de consommateurs et doit relever le défi de la croissance, 2017.
- [11] Fafard, la culture maraichère bio hors sol, c'est possible, 2018. <http://www.filièrebio.qc.ca/> (16 mai 2018).
- [12] Principaux résultats préliminaires du Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH). <http://www.rgph.org>, mai, 2015.
- [13] S. Kist, P. Gerusa, Antoniulli, I. Zaida, S. Bemfica, Ricardo, Bellé, and Rogério, "húmus de esterco bovino e casca de arroz carbonizada como substratos para a produção de mudas de boca-de-leão *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*", núm. 2, pp. 345- 357, 2010.
- [14] A. Y. Al-Maskri, M. M. han, I. A. han, and K. Al -Habsi, "Effect of accelerated ageing on viability, vigor (RGR), lipid peroxidation and leakage in carrot (*Daucus carota* L.) seeds", *International Journal of Agriculture & Biology*, vol. 5, no. 4, pp. 80-84, 2003.
- [15] M. L. Lebanc, D. C. Cloutier, G.D. Leroux, and C. Hamel, "Facteurs impliqués dans la levée des mauvaises herbes au champ", Vol. 79, no. 3, 1998.
- [16] P. Vernay, A. Austruy, C. Gauthier-Moussard, and A. Hitmi, Germination et fonctionnement du système photosynthétique des végétaux comme bioindicateurs de pollution des sols, Laboratoire de Physiologie et de Biotechnologies Végétales, IUT de Clermont-Ferrand, Université d'Auvergne, 100, rue de l'Égalité, 15000 Aurillac – [France, 2009.
- [17] N. Ouedraogo, "De la cendre de balle de riz pour fertiliser les rizières, Union Signassigui- Bama, Burkina Faso", *FENOP Info*, Numéro Spécial, Septembre 2015.
- [18] H. Kikuno, K. Muamba, H. Shiwachi, O. Micho, and R. Asiedu, "Mini tuber production of white yam (*D. rotundata*) using vines", *Japanese Journal of Tropical Agriculture*, Vol. 50, no. 1, pp. 1-3, March 2006.

## Essai de germination et de croissance de la tomate sur la sciure de bois, le son de riz et les balles de riz

AKA Borel Junior Kevin<sup>1</sup>, BOYE Mambé Auguste-Denise<sup>1</sup>, N'Gonian Kouadio Serge<sup>1</sup>, EBROTTIE Kouassi Florent<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Agriculture et foresterie tropicale, Université Jean Lorougnon Guédé, Côte d'Ivoire

<sup>2</sup>Bioressources et Agronomie, Université Jean Lorougnon Guédé, Côte d'Ivoire

AKA Borel Junior Kevin

---

La tomate (*Solanum lycopersicum* L.) est une plante herbacée appartenant à la famille des Solanacées. Cette étude a eu pour objectif général la contribution à l'amélioration de la croissance juvénile de la tomate par l'utilisation de résidus agricoles. Pour ce faire, plusieurs formulations de substrats ont été réalisées à partir du son de riz, de la sciure de bois, des balles de riz et de la terre. Ensuite, des graines de tomates ont été semées dans les différentes formulations réalisées. Les résultats obtenus nous indiquent que les formulations constituées de balle de riz carbonisée et de terre, supplémentées ou non de fientes de poulets ont dans l'ensemble les meilleures caractéristiques. La formulation 49 est la meilleure formulation avec  $5,00 \pm 2,34$  feuilles/plant ;  $13,780 \pm 1,171$  cm de hauteur et un taux de germination de  $98,00 \pm 0,66$  %. La carbonisation des balles de riz serait responsable des bonnes caractéristiques au niveau de ces formulations. Il serait également souhaitable d'approfondir cette étude en testant la capacité de ces formulations à supporter tout le cycle végétatif de la tomate ainsi que leurs influences sur les qualités organoleptiques des fruits pouvant être produits.

**Mots clés :** Tomate (*Solanum lycopersicon*), Substrats biologiques, résidus agricoles, Pépinière.

### Germination and growth test of tomato on sawdust, rice bran and ricehusks

#### ABSTRACT

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is a herbaceous plant belonging to the family Solanaceae. The general objective of this study was to contribute to the improvement of tomato juvenile growth through the use of agricultural residues. To this end, several formulations of substrates were made from rice bran, sawdust, ricehusks and soil. Then, tomato seeds were sown in the different formulations made. The results obtained indicate that the formulations made of carbonized ricehusk and soil, supplemented or not with chicken droppings, have overall the best characteristics. Formulation 49 is the best formulation with  $5.00 \pm 2.34$  leaves/plant ;  $13.780 \pm 1.171$  cm height and a germination rate of  $98.00 \pm 0.66\%$ . Carbonization of the ricehusks would be responsible for the good characteristics in these formulations. It would also be desirable to further investigate the ability of these formulations to support the entire vegetative cycle of tomato and their influence on the organoleptic qualities of the fruits that can be reproduced.

**Key words:** Tomato (*Solanum lycopersicon*), Organicsubstrates, Agricultural residues, Nursery.

---

Date of Submission: 07-08-2022

Date of Acceptance: 22-08-2022

---

### I. Introduction

La tomate (*Solanum lycopersicum* L.) est une plante herbacée appartenant à la famille des Solanacées, comme le poivron, l'aubergine ou encore la pomme de terre. Elle représente l'espèce légumière la plus cultivée en Afrique puisqu'elle est une composante essentielle de la cuisine africaine (Courchinoux, 2008). Par ailleurs, les cultures maraichères en général et particulièrement la tomate demeurent jusqu'à nos jours une préoccupation majeure du fait de leur contribution à la sécurité alimentaire et à l'accroissement des revenus des producteurs (Bognini, 2010). En effet, les légumes comme la tomate constitue une source importante de protéines végétale pouvant pallier au manque de protéines de source animales pour les populations pauvres (Cishesa, 2016). Cependant les cultures maraichères sont confrontées à beaucoup de difficulté. L'on observe une baisse de la fertilité chimique et physique des sols et un haut niveau d'infestation de ceux-ci, cela pourrait expliquer la baisse observée des rendements par unité de surface (CIRAD, 2019). Les effets combinés des nouvelles contraintes climatiques et des contraintes biotiques et pédologiques ont conduit à l'adoption de nouvelles techniques de production, notamment la culture hors sol et la culture sous serre. Ainsi, dans le souci de participer à l'amélioration des rendements des cultures maraichères par la fourniture de nouveau substrat de culture,

qu'une étude a été réalisée dans la ville de Daloa (Côte d'Ivoire). Cette étude a eu pour objectif général la contribution à l'amélioration de la croissance juvénile de la tomate par l'utilisation de résidus agricoles. Spécifiquement, il a été question de:

- déterminer le taux de germination des graines de tomates sur les formulations réalisées ;
- identifier la formulation idéale de substrat pour une croissance optimale en phase pépinière.

## II. Matériel Et Methodes

### II.1. Zone d'étude

L'expérience a été réalisée à l'Université de Daloa (figure 1). La parcelle d'expérimentation se trouve précisément à 6°54'32" de latitude nord et 6°26'14" de longitude ouest.

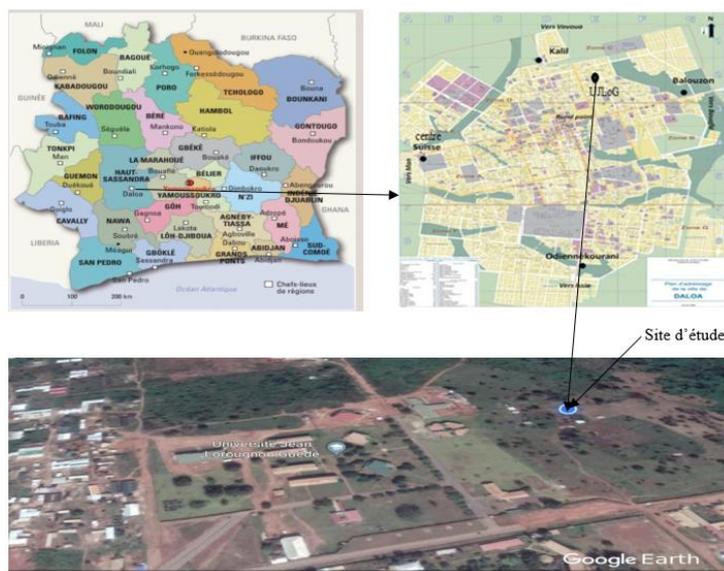


Figure 1: Site d'étude au sein de l'Université Jean Lorougnon Guédé

### II.2. Matériel

#### II.2.1. Matériel végétal

Des semences de tomates (*Lycopersicon esculentum*) de la variété Cobra 26 ont été utilisées pour la réalisation de nos travaux.

#### II.2.2. Résidus agricole utilisés

Quatre résidus agricoles ont été utilisés en plus de la terre. Ces quatre résidus sont les balles de riz brutes (figure 2B), les balles de riz carbonisées (figure 2D), la sciure de bois (bien minéralisée de préférence), (figure 2C) et le son de riz (figure 2A). Ils ont été combinés pour obtenir différentes formulations de substrats de culture.



Figure 2: Substrats de culture (son de riz (A), balles de riz brutes (B), sciure de bois (C) et balles de riz carbonisées (D))

### II.2.3. Fertilisant utilisés

Les différents fertilisant utilisés dans le cadre de notre étude sont les fientes de poulets (figure 3) et l'engrais chimique NPK 10.18.18.



Figure 3 : Fientes de poulets

### II.2.4. Matériel technique

Les outils utilisés dans le cadre de notre étude sont énumérés ci-dessous :

- des plaques alvéolées dans lesquelles ont été semées les graines (figure 4A) ;
- des dabas et machettes pour le défrichage de la parcelle ;
- un pied à coulisse pour la mesure du diamètre
- un carbonisateur ;
- une balance pour les pesées (figure 4B) ;
- un plastique sur lequel est posé les alvéoles et qui les sépare ainsi du sol ;
- un appareil photo numérique, pour les prises de vue ;
- une moustiquaire pour protéger les plants des insectes.



Figure 4 : Quelque matériel technique comprenant des plaquette alvéolées (A) et une balance analytique (B)

## II.2. Méthodes

### II.2.1. Mise en place

#### II.2.1.1. Préparation de la parcelle

La parcelle a d'abord été défrichée à la machette, puis à l'aide de daba pour obtenir une terre totalement nue ou a été posée la table. Le défrichage a permis un meilleur accès à la table pour les travaux réalisés.

#### II.2.1.2. Processus de carbonisation

La carbonisation a consisté à brûler un produit biologique de sorte à obtenir du charbon. Cette combustion se déroule en plusieurs étapes (Aka *et al.*, 2021) ci-dessous énumérées :

➤ **Etape n°1 : Mise en flamme à l'air**

Cette étape consiste à faire un feu à l'aide de bois. Par la suite, un carbonisateur a été posé sur les bois enflammés (Figure 5A).

➤ **Etape n°2 : Combustion à l'étouffée**

Après avoir couvert les bois en combustion avec le carboniseur, la matière à carboniser (balles de riz) a été disposée tout autour du carbonisateur afin d'avoir une combustion sans flamme des balles de riz (Figure 5B). De légères aspersion d'eau peuvent être nécessaires dans le cas de l'apparition de flammes. De plus, la matière à carboniser a été régulièrement retournée pour éviter qu'elle se consume entièrement.

➤ **Etape n°3 : Refroidissement**

En fin de combustion, dégagez le produit carbonisé du carbonisateur, l'étaler sur une surface plus ou moins grande en fonction du volume et y verser de l'eau pour stopper la combustion. Laissez refroidir 20 à 30 minutes avant de collecter le composant carbonisé dans des sacs. Le taux de carbonisation varie selon la matière. Il est d'environ 50 % pour les balles de riz (Figure 5C). Après la collecte du composant carbonisé, retirez les bois du carbonisateur et les éteindre.



**Figure 5 :** Carbonisation d'un substrat, mise en flamme à l'air (A), combustion à l'étouffé (B), refroidissement (C)

**II.2.1.3. Confection des différentes formulations de substrats en pépinière**

Les formulations ont été réalisées avec le son de riz, la sciure de bois, les balles de riz brutes, les balles de riz carbonisées et la terre. Les différents substrats seront utilisés deux à deux aux proportions de ¾ et ¼ ; ½ et ½ ; ¼ et ¾ pour former des formulations hétérogènes (tableau 1). Cependant, il y a aussi des formulations qui seront composés d'un seul type de substrat. A ces différentes formulations, seront associées en deuxième lieu 30g de déjections avicoles (fientes de poulets). Une dernière formulation sera composée de terre simple à laquelle sera ajoutée 5g NPK 10.18.18 (tableau 1).

**Tableau 1 :** Formulations de substrats réalisées

|                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 100 % te = F 1        | 100 % ba = F 2        | 100 % sc = F 3        | 100 % so = F 4        | 100 % bac = F 5       |
| 100 % te + f = F 6    | 100 % ba + f = F 7    | 100 % sc + f = F 8    | 100 % so + f = F 9    | 100 % bac + f = F 10  |
| ¾so + ¼ba = F 11      | ½so + ½ba = F 12      | ¼so + ¾ba = F 13      | ¾so + ¼sc = F 14      | ½so + ½sc = F15       |
| ¼so + ¾sc = F 16      | ¾so + ¼te = F 17      | ½so + ½te = F 18      | ¼so + ¾te = F 19      | ¾so + ¼bac = F20      |
| ½so + ½bac = F 21     | ¼so + ¾bac = F 22     | ¾so + ¼ba + f = F 23  | ½so + ½ba + f = F 24  | ¼so + ¾ba + f = F25   |
| ¾so + ¼sc + f = F 26  | ½so + ½sc + f = F 27  | ¼so + ¾sc + f = F 28  | ¾so + ¼te + f = F 29  | ½so + ½te + f = F30   |
| ¼so + ¾te + f = F 31  | ¾so + ¼bac + f = F 32 | ½so + ½bac + f = F 33 | ¼so + ¾bac + f = F 34 | ¾ba + ¼sc = F35       |
| ½ba + ½sc = F 36      | ¼ba + ¾sc = F 37      | ¾ba + ¼te = F 38      | ½ba + ½te = F 39      | ¼ba + ¾te = F40       |
| ¾ba + ¼sc + f = F 41  | ½ba + ½sc + f = F 42  | ¼ba + ¾sc + f = F 43  | ¾ba + ¼te + f = F 44  | ½ba + ½te + f = F45   |
| ¼ba + ¾te + f = F 46  | ¾bac + ¼te = F 47     | ½bac + ½te = F 48     | ¼bac + ¾te = F 49     | ¾bac + ¼te + f = F 50 |
| ½bac + ½te + f = F 51 | ¼bac + ¾te + f = F 52 | ¾sc + ¼te = F 53      | ½sc + ½te = F 54      | ¼sc + ¾te = F55       |
| ¾sc + ¼bac = F 56     | ½sc + ½bac = F 57     | ¼sc + ¾bac = F 58     | ¾sc + ¼te + f = F 59  | ½sc + ½te + f = F60   |
| ¼sc + ¾te + f = F 61  | ¾sc + ¼bac + f = F 62 | ½sc + ½bac + f = F 63 | ¼sc + ¾bac + f = F 64 | 100% te + NPK = F65   |

sc : sciure de bois ; ba : balle de riz brute ; bac : balle de riz carbonisée ; so : son de riz ; te : terre ; f : fiente de poulet ; F : formulation

### II.2.1.3. Dispositif expérimental

Cette expérience a été effectuée trois fois pour limiter les erreurs. Pour chaque formulation des graines ont été semées dans 16 alvéoles, ce qui correspond à deux lignes consécutives d'alvéole (Figure 6A) à raison des 3 graines par alvéole. L'expérimentation a été réalisée dans 10 plaquettes alvéolées contenant chacune 104 alvéoles (Figure 6B). Les substrats ont été disposés dans un ordre précis (les formulations constituées de substrats identiques en proportion différente sont consécutives).

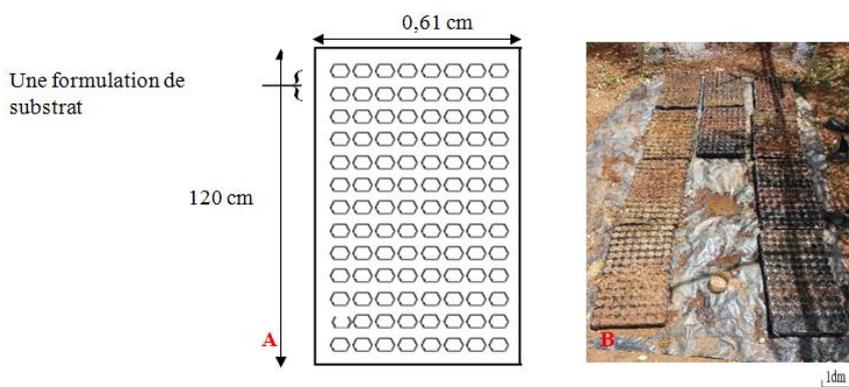


Figure 6 : Disposition des substrats dans les alvéoles (A) et disposition des alvéoles sur la parcelle (B)

## II.2.2. Mise en œuvre de l'expérimentation

### II.2.2.1. Semis

Le semis a été fait dans des alvéoles contenant chacune des formulations de substrat. Une graine a été semée par alvéole dans le substrat à une profondeur de 1 à 2 cm. Nous aurons seize (16) graines par substrat pour une totale de soixante-cinq (65) formulations, d'où mille quarante (1040) graines ont été semées.

### II.2.2.2. Entretien

Les plants (Figure 7A) ont été protégés contre les insectes et autres ravageurs à l'aide de moustiquaire. Il a fallu couvrir les planches de pépinières (ombrière) jusqu'à ce que les plants soient assez forts pour résister à l'ensoleillement (figure 7B). On a progressivement enlevé l'ombrage pour permettre aux plants de s'adapter au soleil avant le repiquage. Durant la durée de l'expérience(3 semaines), les plants ont été arrosés tous les soirs.

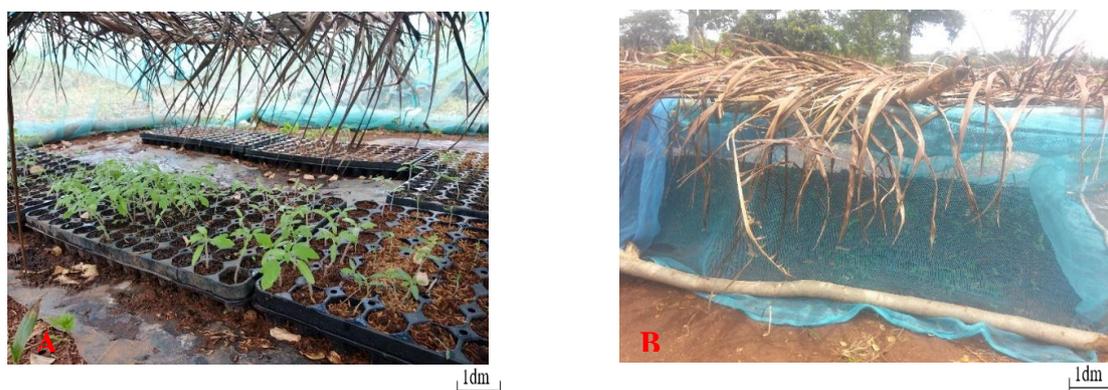


Figure 7 : Plants de tomate (A) couverte à l'aide d'une ombrière (B)

## II.2.3. Collecte de données

### II.2.3.1. Taux de germination

Le taux de germination ( $Tg$ ) constitue le meilleur moyen d'identification des conditions optimale de germination. Il exprime en pourcentage le rapport entre le nombre de graines germées ( $Nbg$ ) sur nombre total de graines ( $Nbtg$ ), (Al-Maskri *et al.*, 2003).

$$Tg = (Nbg/Nbtg) \times 100$$

### II.2.3.2. Hauteur moyenne

La hauteur des plants a été mesurée à l'aide d'une règle. Cette hauteur est comprise entre la base du plant à la dernière feuille sur la tige principale. La hauteur moyenne des plants ( $Hmp$ ) a été déterminée en faisant la somme des hauteurs de tous les plants ( $\Sigma Hp$ ) d'une formulation divisée par le nombre de plants ( $Np$ ) de cette formulation (Al-Maskri *et al.*, 2003).

$$Hmp = \frac{\Sigma Hp}{Np}$$

### II.2.3.3. Nombre moyen de feuilles

Le nombre de feuilles par plant a été déterminé ainsi que la moyenne des nombres de feuilles par plan en fonction des formulations de substrat. Le comptage des feuilles a tenu compte des feuilles cotylédonaire. Le nombre moyen de feuilles par plant ( $Nmf$ ) est égal à la somme des nombres de feuilles de tous les plants ( $\Sigma Nf$ ) d'une formulation divisée par le nombre total de plants ( $Np$ ) composant cette formulation.

$$Nmf = \frac{\Sigma Nf}{Np}$$

### II.2.4. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont porté sur le taux de germination, le nombre moyen de feuilles par plant et la hauteur moyenne des plants. Les données ont été en premier lieu saisies à l'aide du logiciel Excel 2016 puis le traitement statistique a été réalisé avec le logiciel STATISTICA 7.1. Dans un premier temps, la distribution des variables a été étudiées et a permis de réaliser les tests statistiques adaptés pour comparer les formulations les unes aux autres. En cas de différence significative entre les formulations, des tests de comparaison multiple seront réalisés afin de déterminer les formulations qui diffèrent statistiquement l'une de l'autre.

## III. Resultats Et Discussion

### III.1. Résultats

Les résultats obtenus à la suite des expériences réalisées concernent le taux de germination et les paramètres de croissances que sont la hauteur des tiges et le nombre de feuilles des plants.

#### III.1.1. Distribution des variables

Les probabilités du test de Shapiro-Wilk (tableau XVII) obtenues au niveau du taux de germination des graines, de la hauteur des tiges et du nombre de feuilles pour chacune des formulations montrent au moins une formulation ayant une probabilité inférieure à 0,05 ( $P < 0,05$ ). Dès lors, le test de Kruskal-Wallis a été réalisé pour déterminer l'effet des formulations sur le taux de germination des graines, de la hauteur des tiges et du nombre de feuilles.

#### III.1.2. Taux de germination

Le taux de germination représente le pourcentage de graine germées par rapport au nombre totale de graine. Le tableau 2 présente les taux de germination au niveau des 64 formulations de substrats. La probabilité au niveau des taux de germination est de  $0,001 < 0,05$ , d'où le taux de germination est significativement influencé par les formulations de substrats. À partir de ces résultats, fort est de constater que les formulations à base de balle de riz carbonisé présentent le plus souvent les meilleurs taux de germination, Ce sont les formulations 48,49 et 64 avec un taux de germination de 98% et les formulations 10 et 23 avec un taux de germination de 99,33%. Contrairement aux formulations précédentes, les formulations 4, 12 et 14 présentent les plus faibles taux de germination qui sont respectivement de 0%, 12% et 12% pour la formulation 4, 12 et 14. Les formulations avec une teneur élevée en son de riz possèdent un taux de germination généralement faible sinon proche de la moyenne, excepté pour les formulations 20 et 21 avec un taux de germination de 98 %. Les formulations contenant un fort taux de balle de riz brute présentent un taux de germination généralement faible. Les autres formulations ont des taux de germination variant entre les plus faibles et les plus fortes valeurs.

**Tableau 2** : Taux de germination en fonction des formulations de substrats

| Formulations | Tg (%)                      | Formulations | Tg (%)                       |
|--------------|-----------------------------|--------------|------------------------------|
| F 1          | 43,50 ± 2,17 <sup>h</sup>   | F 34         | 50,067 ± 2,914 <sup>é</sup>  |
| F 2          | 12,67 ± 0,58 <sup>m</sup>   | F 35         | 37,50 ± 1,39 <sup>i</sup>    |
| F 3          | 98,333 ± 2,887 <sup>a</sup> | F 36         | 56,25 ± 1,56 <sup>f</sup>    |
| F 4          | 0,00 ± 0,00 <sup>n</sup>    | F 37         | 43,733 ± 1,333 <sup>h</sup>  |
| F 5          | 75,00 ± 5,00 <sup>c</sup>   | F 38         | 17,767 ± 1,966 <sup>lm</sup> |

|      |                              |      |                             |
|------|------------------------------|------|-----------------------------|
| F 6  | 75,00 ± 5,00 <sup>c</sup>    | F 39 | 10,416 ± 3,608 <sup>n</sup> |
| F 7  | 68,583 ± 1,507 <sup>d</sup>  | F 40 | 25,00 ± 0,50 <sup>k</sup>   |
| F 8  | 25,00 ± 5,00 <sup>k</sup>    | F 41 | 62,500 ± 0,866 <sup>e</sup> |
| F 9  | 50,00 ± 5,00 <sup>e</sup>    | F 42 | 43,77 ± 2,25 <sup>h</sup>   |
| F 10 | 99,33 ± 31,15 <sup>a</sup>   | F 43 | 68,75 ± 3,25 <sup>d</sup>   |
| F 11 | 37,50 ± 0,50 <sup>i</sup>    | F 44 | 62,5 ± 1,5 <sup>e</sup>     |
| F 12 | 12,50 ± 0,50 <sup>m</sup>    | F 45 | 50,00 ± 1,73 <sup>g</sup>   |
| F 13 | 26,667 ± 7,638 <sup>jk</sup> | F 46 | 37,500 ± 1,803 <sup>i</sup> |
| F 14 | 12,50 ± 1,80 <sup>m</sup>    | F 47 | 50,00 ± 1,93 <sup>g</sup>   |
| F 15 | 75,667 ± 6,028 <sup>c</sup>  | F 48 | 98,00 ± 1,00 <sup>a</sup>   |
| F 16 | 62,37 ± 3,58 <sup>l</sup>    | F 49 | 98,00 ± 0,66 <sup>a</sup>   |
| F 17 | 18,83 ± 2,50 <sup>l</sup>    | F 50 | 37,50 ± 0,50 <sup>i</sup>   |
| F 18 | 18,700 ± 0,819 <sup>ef</sup> | F 51 | 75,00 ± 3,464 <sup>c</sup>  |
| F 19 | 25,333 ± 5,773 <sup>k</sup>  | F 52 | 87,50 ± 2,78 <sup>b</sup>   |
| F 20 | 98,00 ± 2,646 <sup>a</sup>   | F 53 | 68,75 ± 1,639 <sup>d</sup>  |
| F 21 | 98,00 ± 1,00 <sup>a</sup>    | F 54 | 31,250 ± 1,09 <sup>d</sup>  |
| F 22 | 61,610 ± 3,308 <sup>e</sup>  | F 55 | 37,500 ± 2,291 <sup>c</sup> |
| F 23 | 99,33 ± 1,15 <sup>a</sup>    | F 56 | 75,00 ± 4,36 <sup>c</sup>   |
| F 24 | 56,250 ± 1,090 <sup>f</sup>  | F 57 | 31,333 ± 0,907 <sup>j</sup> |
| F 25 | 56,250 ± 2,037 <sup>f</sup>  | F 58 | 37,483 ± 1,295 <sup>i</sup> |
| F 26 | 31,250 ± 1,460 <sup>j</sup>  | F 59 | 68,75 ± 1,09 <sup>a</sup>   |
| F 27 | 56,267 ± 3,444 <sup>f</sup>  | F 60 | 43,75 ± 0,66 <sup>b</sup>   |
| F 28 | 62,50 ± 2,50 <sup>e</sup>    | F 61 | 25,00 ± 2,646 <sup>e</sup>  |
| F 29 | 56,267 ± 1,101 <sup>f</sup>  | F 62 | 87,50 ± 1,32 <sup>b</sup>   |
| F 30 | 50,080 ± 1,698 <sup>g</sup>  | F 63 | 87,50 ± 1,50 <sup>b</sup>   |
| F 31 | 50,00 ± 1,00 <sup>e</sup>    | F 64 | 98,00 ± 1,00 <sup>a</sup>   |
| F 32 | 87,50 ± 1,323 <sup>b</sup>   | F 65 | 75,00 ± 5,33 <sup>c</sup>   |
| F 33 | 56,333 ± 0,577 <sup>f</sup>  |      |                             |
| P    |                              |      | 0,001                       |

**F** : formulation ; **Tg** : taux de germination ; % : pourcentage. **P** : probabilité associée au test. Pour chaque paramètre, les valeurs portant les mêmes lettres sont statistiquement égales ( $P > 0.05$ ) et **F** : F-statistique de Fischer.

### III.1.3. Hauteur moyenne des tiges des plants

La hauteur moyenne des tiges des plantules a donné des résultats (tableau 3) montrant une variation de la hauteur des plantules en fonction des formulations de substrats. L'analyse statistique de ces données fournit une probabilité de 0,001. Cette probabilité est inférieure à 0,005 d'où la hauteur moyenne des plantules est significativement influencée par les différentes formulations de substrats. Les plus grandes tiges sont observées au niveau des formulations 48, 49 et 50. Ces formulations sont constituées en partie de balle de riz carbonisé et possèdent des plantules ayant respectivement des tiges atteignant une hauteur de 14,50 cm au niveau de la formulation 48 ; 13,780 cm pour F49 et de 14,333 cm pour F50. Les tiges les moins grandes sont observées au niveau des formulations 4, 12, 29 et 30, ayant une quantité importante ( $\geq \frac{1}{2}$ ) de son de riz. Elles ne possèdent pas de plantules après 21 jours de culture (0,00 cm de hauteur). Les autres formulations possèdent des tiges ayant des hauteurs très variables mais comprises entre les plus hautes et les plus basses valeurs.

**Tableau 3:** Hauteur moyenne des tiges des formulations

| Formulations | Hmp (cm/plant)                      | Formulations | Hmp (cm/plant)                       |
|--------------|-------------------------------------|--------------|--------------------------------------|
| F 1          | 10,56 ± 2,44 <sup>efg</sup>         | F 34         | 11,750 ± 2,255 <sup>cde</sup>        |
| F 2          | 4,35 ± 1,20 <sup>uvwxyza</sup>      | F 35         | 3,50 ± 1,414 <sup>yzza</sup>         |
| F 3          | 5,37 ± 1,35 <sup>rstuvw</sup>       | F 36         | 3,64 ± 0,477 <sup>yzza</sup>         |
| F 4          | 0,00 ± 0,00 <sup>b</sup>            | F 37         | 4,30 ± 1,138 <sup>vwxyza</sup>       |
| F 5          | 7,34 ± 1,11 <sup>lmnopqs</sup>      | F 38         | 4,633 ± 0,709 <sup>uvwxyz</sup>      |
| F 6          | 7,62 ± 1,54 <sup>ijklmnopq</sup>    | F 39         | 2,00 ± 0,15 <sup>β</sup>             |
| F 7          | 6,66 ± 0,56 <sup>lqrstu</sup>       | F 40         | 7,375 ± 0,479 <sup>klmnopqrs</sup>   |
| F 8          | 5,875 ± 1,25 <sup>qrstuvw</sup>     | F 41         | 6,260 ± 0,850 <sup>pqrstu</sup>      |
| F 9          | 5,375 ± 1,49 <sup>tuvwxyz</sup>     | F 42         | 5,50 ± 0,612 <sup>tuvwxy</sup>       |
| F 10         | 6,66 ± 0,56 <sup>pqrstu</sup>       | F 43         | 7,460 ± 0,356 <sup>lmnopqs</sup>     |
| F 11         | 3,50 ± 0,71 <sup>wxyza</sup>        | F 44         | 7,304 ± 0,669 <sup>lmnopqs</sup>     |
| F 12         | 0,00 ± 0,00 <sup>b</sup>            | F 45         | 8,780 ± 1,059 <sup>hijkm</sup>       |
| F 13         | 6,067 ± 1,692 <sup>pqrstuvw</sup>   | F 46         | 10,10 ± 1,25 <sup>efgh</sup>         |
| F 14         | 3,333 ± 0,577 <sup>yzza</sup>       | F 47         | 12,560 ± 2,777 <sup>bcd</sup>        |
| F 15         | 8,70 ± 1,04 <sup>hijkm</sup>        | F 48         | 14,50 ± 0,83 <sup>a</sup>            |
| F 16         | 6,56 ± 1,94 <sup>pqrstu</sup>       | F 49         | 13,780 ± 1,171 <sup>ab</sup>         |
| F 17         | 5,00 ± 1,00 <sup>pqrstuvwxyza</sup> | F 50         | 14,333 ± 1,128 <sup>ab</sup>         |
| F 18         | 3,50 ± 0,71 <sup>wxyza</sup>        | F 51         | 12,74 ± 2,59 <sup>abc</sup>          |
| F 19         | 9,00 ± 2,83 <sup>ghijklmno</sup>    | F 52         | 12,84 ± 1,16 <sup>abc</sup>          |
| F 20         | 6,30 ± 0,84 <sup>pqrstu</sup>       | F 53         | 5,900 ± 0,997 <sup>qrstuv</sup>      |
| F 21         | 3,50 ± 1,32 <sup>xyza</sup>         | F 54         | 2,667 ± 0,577 <sup>za</sup>          |
| F 22         | 6,90 ± 0,65 <sup>lnopqrst</sup>     | F 55         | 3,900 ± 0,265 <sup>xyza</sup>        |
| F 23         | 9,480 ± 2,315 <sup>ghij</sup>       | F 56         | 7,90 ± 2,17 <sup>ijklmnop</sup>      |
| F 24         | 3,333 ± 0,577 <sup>yzza</sup>       | F 57         | 3,467 ± 0,503 <sup>opqrstu</sup>     |
| F 25         | 7,50 ± 1,118 <sup>klmnopqs</sup>    | F 58         | 8,76 ± 2,64 <sup>hijkm</sup>         |
| F 26         | 3,833 ± 0,764 <sup>wxyza</sup>      | F 59         | 10,88 ± 2,529 <sup>def</sup>         |
| F 27         | 5,780 ± 1,454 <sup>rstuvw</sup>     | F 60         | 8,50 ± 1,541 <sup>hijkmno</sup>      |
| F 28         | 7,660 ± 1,493 <sup>klmnopq</sup>    | F 61         | 7,50 ± 1,802 <sup>ijklmnopqrst</sup> |
| F 29         | 0,00 ± 0,00 <sup>b</sup>            | F 62         | 9,900 ± 1,149 <sup>efgh</sup>        |
| F 30         | 2,00 ± 0,00 <sup>ab</sup>           | F 63         | 9,260 ± 1,959 <sup>ghijk</sup>       |
| F 31         | 4,320 ± 1,921 <sup>vwxyza</sup>     | F 64         | 9,280 ± 1,751 <sup>ghij</sup>        |
| F 32         | 8,600 ± 1,294 <sup>hijkmn</sup>     | F 65         | 12,52 ± 0,78 <sup>abc</sup>          |
| F 33         | 8,980 ± 1,076 <sup>ghijkm</sup>     |              |                                      |
| P            |                                     |              | 0,001                                |

**Hmp** ; hauteur moyenne des plants ; **cm** : centimètre ; % : pourcentage. **P** : probabilité associée au test. Pour chaque paramètre, les valeurs portant les mêmes lettres sont statistiquement égales ( $P \geq 0,05$ ),  $a > b > c \dots > z > \alpha > \beta$ .

### III.1.4. Nombre moyen de feuilles

Le nombre moyen de feuilles correspond au nombre de feuilles par plant pour chaque plantule. Le tableau 4 présente les résultats du nombre moyen de feuilles par plantule en fonction des différentes formulations de substrats. La probabilité au niveau de ce paramètre et de 0,001 et est inférieure à 0,05. Le nombre moyen de feuilles par plantule est significativement influencé par les différentes formulations. Les meilleurs nombres moyens de feuilles par plant en fonction des formulations de substrat ont été observés au niveau des formulations contenant des balles de riz carbonisées. Parmi ces formulations, F49 et F50 présentent un nombre élevé de feuilles par plantule, respectivement 5 et 5,3 feuilles/plant. Les plus faibles nombres de feuilles par

formulation sont observés au niveau des formulations contenant une teneur plus u moins importante de son de riz. Les formulations possédant les plus faibles nombres de feuilles sont les formulations 4, 12 et 29 qui n'ont plus de plants après 21 jours de culture (aucune feuille). Les autres formulations de substrats possèdent des plants avec des nombres moyens de feuilles par plantule assez différents mais souvent très inférieurs à 16 feuilles / plant.

**Tableau 4** : Nombre moyen de feuilles des plants en fonction des formulations

| Formulations | Nmf                            | Formulations | Nmf                           |
|--------------|--------------------------------|--------------|-------------------------------|
| F1           | 3,80± 1,8 <sup>abcdef</sup>    | F34          | 3,50± 0,96 <sup>abcdefg</sup> |
| F2           | 2,00±1,41 <sup>defgh</sup>     | F35          | 1,80± 1,80 <sup>defgh</sup>   |
| F3           | 2,80±1,64 <sup>abcdefg</sup>   | F36          | 1,80±0,44 <sup>defgh</sup>    |
| F4           | 0,00± 0,00 <sup>h</sup>        | F37          | 1,80± 1,30 <sup>defgh</sup>   |
| F5           | 2,80± 1,58 <sup>abcdefg</sup>  | F38          | 2,00± 1,73 <sup>defgh</sup>   |
| F6           | 4,00± 1,54 <sup>abcdef</sup>   | F39          | 1,00±0,50 <sup>gh</sup>       |
| F7           | 2,20±1,48 <sup>cdefgh</sup>    | F40          | 2,50± 1,00 <sup>bcdefgh</sup> |
| F8           | 2,20±1,06 <sup>cdefgh</sup>    | F41          | 1,60±1,00 <sup>efgh</sup>     |
| F9           | 2,10± 1,87 <sup>cdefgh</sup>   | F42          | 2,00± 1,23 <sup>defgh</sup>   |
| F10          | 2,40± 1,48 <sup>bcdefgh</sup>  | F43          | 2,10± 1,87 <sup>cdefgh</sup>  |
| F11          | 2,00± 1,41 <sup>defgh</sup>    | F44          | 2,40± 1,07 <sup>bcdefgh</sup> |
| F12          | 0,00± 0,00 <sup>h</sup>        | F45          | 3,10± 1,48 <sup>abcdefg</sup> |
| F13          | 2,600±1,65 <sup>abcdefgh</sup> | F46          | 3,10± 1,35 <sup>abcdefg</sup> |
| F14          | 1,60± 1,10 <sup>efgh</sup>     | F47          | 4,50± 1,49 <sup>abcd</sup>    |
| F15          | 3,10± 1,30 <sup>abcdefg</sup>  | F48          | 4,80±2,19 <sup>abc</sup>      |
| F16          | 2,60± 1,82 <sup>abcdefgh</sup> | F49          | 5,00±2,34 <sup>ab</sup>       |
| F17          | 4,00± 2,10 <sup>abcdef</sup>   | F50          | 5,300±2,21 <sup>a</sup>       |
| F18          | 1,50± 2,12 <sup>fgh</sup>      | F51          | 4,00±1,52 <sup>abcdef</sup>   |
| F19          | 3,00± 1,41 <sup>abcdefg</sup>  | F52          | 4,30±1,79 <sup>abcde</sup>    |
| F20          | 2,40± 0,84 <sup>bcdefgh</sup>  | F53          | 2,20± 0,45 <sup>cdefgh</sup>  |
| F21          | 2,00±1,65 <sup>defgh</sup>     | F54          | 1,60±0,58 <sup>efgh</sup>     |
| F22          | 2,50±1,49 <sup>bcdefgh</sup>   | F55          | 2,000± 1,23 <sup>defgh</sup>  |
| F23          | 3,60±1,70 <sup>abcdefg</sup>   | F56          | 1,80±1,67 <sup>defgh</sup>    |
| F24          | 1,00± 1,73 <sup>gh</sup>       | F57          | 2,00± 1,65 <sup>defgh</sup>   |
| F25          | 3,00± 0,00 <sup>abcdefg</sup>  | F58          | 2,50± 1,52 <sup>bcdefgh</sup> |
| F26          | 1,60± 1,52 <sup>efgh</sup>     | F59          | 3,10± 1,58 <sup>abcdefg</sup> |
| F27          | 2,40±1,28 <sup>bcdefgh</sup>   | F60          | 2,60± 1,35 <sup>bcdefgh</sup> |
| F28          | 3,20± 1,09 <sup>abcdefg</sup>  | F61          | 2,60±1,88 <sup>bcdefgh</sup>  |
| F29          | 0,00± 0,00 <sup>h</sup>        | F62          | 3,00±1,23 <sup>abcdefg</sup>  |
| F30          | 1,00± 0,64 <sup>gh</sup>       | F63          | 2,70± 1,17 <sup>bcdefgh</sup> |
| F31          | 1,80±1,64 <sup>defgh</sup>     | F64          | 3,20± 1,30 <sup>abcdefg</sup> |
| F32          | 3,60±1,67 <sup>abcdefg</sup>   | F65          | 4,20± 1,55 <sup>abcdef</sup>  |
| F33          | 2,80± 1,92 <sup>abcdefg</sup>  |              |                               |
| P            |                                |              | 0,001                         |

*Nmf* : nombre moyen de feuilles *P* : probabilité associée au test. Pour chaque paramètre, les valeurs portant les mêmes lettres sont statistiquement égales ( $P \geq 0,05$ ),  $a > b > c \dots > z > \alpha > \beta$ .

### III.2. Discussion

Le taux de germination des graines varie significativement en fonction des formulations étudiées. Touckiaet *al.* (2015) corrobore cette idée en soutenant que les paramètres de germination varient en fonction des substrats utilisés. Il a été constaté que les formulations composées en partie de son de riz et/ou de sciure de bois présentent un taux important de germination. Au niveau du son de riz, cela est dû à la chaleur présente dans les

formulations qui en contiennent (F 20, F 21, F 12, ...) du fait de l'activité des micro-organismes qui y sont présents. Ce constat est en conformité avec le fait que la germination des graines est optimale pour des températures comprises entre 18 et 24°C. Cependant, le zéro de germination est de 12°C (Anonyme 1, 2018). Quant à la sciure de bois, elle peut être utilisée pour la germination des graines en culture hors sol du fait de sa bonne rétention d'eau et de sa perméabilité. En effet, le CNRA (2012) avait fait germer des plants de *Garcinia kola* sur de la sciure de bois. Contrairement aux substrats précédemment cités, la balle de riz sous sa forme brute (F2) ne favorise pas la germination des graines de tomates. Ce phénomène a été observé par Lemieux et Laroche (1992). Pour ces auteurs, c'est la présence des produits hydrosolubles initialement présents dans les balles de riz brutes qui empêchent la germination des graines. Toutefois, la balle de riz carbonisée présente des caractéristiques de germination nettement élevées que la balle de riz brute. Cela pourrait s'expliquer par les essais de germination de Lemieux et Laroche (1992) sur les balles de riz compostées. En effet, ils ont observé une augmentation de près de 50 % du taux de germination des graines de tomate sur les balles de riz compostées. La carbonisation étant également une technique de dégradation du substrat naturel pourrait favoriser tout comme le compostage l'augmentation du taux de germination observés au niveau des balles de riz carbonisées.

En ce qui concerne la hauteur des tiges et le nombre de feuilles des plants, ils varient significativement en fonction des formulations de substrat. Cela est en accord avec les résultats des travaux du CNRA sur *Garcinia kola* en 2012 qui ont constaté une variation des paramètres de croissance en fonction du substrat. En prenant en compte l'ensemble des formulations, on observe que généralement les formulations présentant les meilleures hauteurs de tige et les plus grands nombres de feuilles par rapport aux témoins (F1) sont celles qui contiennent une proportion de balle de riz carbonisé avec ou sans fientes de poulets (F 47, F 48, F 49, F 50, F 51, ...). Un constat similaire a été fait par Kikuno *et al.* (2006) qui ont affirmé que l'utilisation des balles de riz carbonisées comme substrat de culture en pépinière, augmente le nombre de racines ainsi que le nombre et la longueur des nouvelles pousses. Au niveau des fientes de poulets, les bonnes caractéristiques de croissance des plants issus des formulations qui en contiennent sont dues au fait que ces déjections avicoles améliorent les qualités physiques, chimiques et biologiques des substrats auxquelles elles sont ajoutées. Cela est confirmé par Chabalier *et al.* (2007) qui ajoutent que les volailles rejettent 70 % de l'azote et du phosphore consommés dans les déjections. Les plants issus des formulations avec un fort taux de son de riz, sciure de bois et de balle de riz brute (non carbonisée) présentent le plus souvent des caractéristiques défavorables au repiquage et plus faibles que celles des témoins (F 1). En ce qui concerne le son de riz, on assiste à une compaction plus ou moins importante selon sa proportion dans les formulations le contenant (surtout en présence de terre), empêchant ainsi le bon développement (asphyxie) des racines et rend l'eau indisponible pour la plante (l'eau s'écoule aussitôt après arrosage). Cette compaction s'explique par sa richesse en amidon qui est insoluble à l'eau froide. En effet, le son de riz contient près de 76 % d'amidon (Kaeffer, 2016). La balle de riz brute est très perméable, l'eau n'est donc pas disponible pour permettre la nutrition de la plante. Ces résultats sont conformes à ceux de Lemieux et Laroche (1992) qui attribuent quant à eux la mauvaise croissance des plants de tomate sur les balles de riz à l'action phytotoxique des balles brutes dû à un rapport C/N très élevé.

#### IV. Conclusion

Au terme de ses tests préliminaires, il ressort que les sous-produits issus de l'agriculture peuvent être valorisés comme substrat de culture en agronomie. Parmi toutes les formulations réalisées, certaines formulations présentent de bonnes caractéristiques de germination mais des caractéristiques moyennes ou faibles pour une bonne croissance des plantules et inversement. Cependant, les formulations constituées de balles de riz carbonisées et de terre (F 48, F49), souvent supplémentées de fientes de poulets (F51, F52) présentent les meilleures caractéristiques en prenant en compte à la fois les paramètres de germination et les paramètres de croissance. Ces formulations favorisent une bonne germination des graines et une croissance optimale des plantules de tomate. Dans la suite de cette étude, les formulations composées de terre et de balles de riz carbonisées (avec et sans fientes) seront sélectionnées pour réaliser la culture de la tomate en hors sol (pépinière et champ) afin de déterminer leur capacité à supporter tout le cycle végétatif des plantes de tomate et à donner une production quantitativement et qualitativement appréciable. Des analyses biochimiques seront réalisées sur les fruits qui y sont produits pour en déterminer la composition.

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. Al-Maskri, AY, Khan MM, Khan IA et Al-Habsi K (2003). Effect of accelerated ageing on viability, vigor (RGR), lipid peroxidation and leakage in carrot (*Daucus carota* L.) seeds. *International Journal of Agriculture & Biology* 5 (4): 80-84.
- [2]. Anonyme 1, (2016). Protection de la tomate sous abri - novembre 2016 - avril
- [3]. Aka BJK, Boye MAD et N'Gonian KS (2021). Optimisation de la croissance en pépinière de *Solanum Lycopersicon* par l'utilisation de substrat biologique.
- [4]. Bognini S (2010). Cultures maraichères et sécurité alimentaire en milieu rural. Ouagadougou, p. 1-13.
- [5]. Chabalier PF, Kerchove de VV et Macary HS (2007). Guide de la fertilisation organique à la Réunion. Co-éd. CIRAD, Chambre d'agriculture de la Réunion, 2007.

- [6]. CIRAD (2019). Etude d'identification et analyse des contraintes à la production maraîchère selon les grandes zones agro-climatiques de la Côte d'Ivoire PS n°009/FIRCA/DCARA/PRO2M/2018.
- [7]. Cishesa TH (2016). Production de la tomate, contraintes et opportunités en territoire de Walungu, Sud-Kivu à l'Est de la RD Congo.
- [8]. Courchinoux JP (2008). La culture de la tomate, Fiche technique Tomate.
- [9]. Kaeffer C. (2016). Technique d'élevage, Amidon dans les aliments pour chevaux... parlons chiffres, Alpha et Omega, 19 septembre 2016.
- [10]. Kikuno H, Muamba K, Shiwachi H, MichoOnjo, Asiedu R et March (2006). Mini tuber production of white yam (*D. rotundata*) using vines. Japanese Journal of Tropical Agriculture 50 extra issue, 1, 1-3.
- [11]. Lemieux G et Laroche L (1992). Rapport de mission au Sénégal du 5 au 15 décembre 1992 Université Laval, Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux sous le comma, Rapport de mission au Sénégal du 5 au 15 décembre 1992.
- [12]. Touckia GI, Yongo OD, Abotsi EK, Francois W et Kouami K (2015). Essai de germination et de croissance au stade juvénile des souches locales de *Jatropha curcas* L. en république centrafricaine, European Scientific, May 2015 edition vol.11.

#### **REMERCIEMENT**

Je remercie particulièrement M. NIABA Koffi Pierre Valery, Maître de Conférences, à l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa pour aide dans la réalisation de ce travail.

Je remercie Messieurs KOFFI Kablan Bernard, AKA Kouadio Charles, EKA Jules, GNONO Yves, YAO Affoué Sonia Anabelle, GOORÉ Bi Malah Désire, ASMAR Adam pour leur aide dans la réalisation de ce travail.

AKA Borel Junior Kevin, et. al. " Essai de germination et de croissance de la tomate sur la sciure de bois, le son de riz et les balles de riz." *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science (IOSR-JAVS)*, 15(08), 2022, pp. 46-56.

## RESUME

En Côte d'Ivoire la production de tomate s'élevait à 40000 tonnes en 2018. Cette faible production serait due à la baisse de la fertilité des sols, à l'insuffisance des engrais minéraux, puis à la forte pression parasitaire. De plus, les exigences de la production industrielle de masse ont entraîné une perte de certaines qualités organoleptiques de la tomate. C'est dans ce contexte que cette étude a été réalisée en vue de contribuer à l'amélioration de la production et de la qualité des fruits de tomate (*Solanum lycopersicum*) par l'utilisation en culture hors sol de formulation de substrats biologiques. Plus spécifiquement, il a été question déterminer les meilleures formulations de substrat biologique à partir de tests préliminaires, d'évaluer l'effet des formulations sur tout le cycle végétatif de la tomate et de caractériser quelques paramètres de qualité des fruits de tomate en fonction des formulations. Les résidus agricoles que sont la sciure de bois, le son de riz, la balle de riz brute et la balle de riz carbonisée ont été utilisés pour la réalisation de plusieurs formulations de substrat sur lesquelles les graines de tomate ont été semées. La fiente de poulet et le NPK ont été utilisés comme fertilisants. Les résultats ont montré que les formulations constituées de balle de riz carbonisée et de terre, supplémentées de fiente de poulets donnent les meilleurs rendements. La formulation 51 (F51) s'est avérée être la meilleure formulation qui donne en pépinière un taux de germination de  $97,576 \pm 2,503\%$ , des plants de  $17,500 \pm 3,648$  cm de hauteur et  $4,259 \pm 0,585$  feuilles. En culture hors sol, 70 jours après le repiquage, les plantes de F51 avaient moyennement  $65,073 \pm 9,689$  cm de hauteur ;  $8,977 \pm 1,426$  mm de diamètre ;  $20,450 \pm 8,596$  feuilles et un rendement de  $842,65 \pm 118,17$  g de fruits/plant. La carbonisation des balles de riz et de fiente de poulets sont responsables des bonnes caractéristiques de cette formulation. En outre, les fruits de F51 ont présenté un goût plus apprécié sans amertume et arrière-goût. De ce fait, la vulgarisation de ce substrat (F51) pourrait contribuer à aider les cultivateurs à améliorer leur production.

**Mots clés :** Tomate, Substrat, Balles de riz carbonisées, fiente de poulets

## ABSTRACT

In Côte d'Ivoire, tomato production stood at 40,000 tonnes in 2018. This low output is due to declining soil fertility, insufficient mineral fertilizers and heavy pest pressure. In addition, the demands of industrial mass production have led to a loss of certain organoleptic qualities in tomatoes. It is in this context that this study was carried out with a view to contributing to the improvement of tomato (*Solanum lycopersicum*) fruit production and quality through the use of organic substrate formulations in soil-less cultivation. More specifically, the aim was to determine the best biological substrate formulations on the basis of preliminary tests, to evaluate the effect of the formulations over the entire tomato vegetative cycle and to characterize some tomato fruit quality parameters as a function of the formulations. Agricultural residues such as sawdust, rice bran, raw rice husk and carbonized rice husk were used to produce several substrate formulations on which tomato seeds were sown. Chicken droppings and NPK were used as fertilizers. Results showed that formulations made from carbonized rice husk and soil, supplemented with chicken droppings, gave the best yields. Formulation 51 (F51) proved to be the best formulation, giving a germination rate in the nursery of  $97.576 \pm 2.503\%$ , seedling heights of  $17.500 \pm 3.648$  cm and  $4.259 \pm 0.585$  leaves. In soilless culture, 70 days after transplanting, F51 plants averaged  $65.073 \pm 9.689$  cm in height;  $8.977 \pm 1.426$  mm in diameter;  $20.450 \pm 8.596$  leaves and a yield of  $842.65 \pm 118.17$  g fruit/plant. Carbonization of rice husks and chicken droppings are responsible for the good characteristics of this formulation. In addition, the fruits of F51 presented a more appreciated taste without bitterness and aftertaste. As a result, popularizing this substrate (F51) could help growers improve their production.

**Keywords :** Tomato, Substrate, Carbonised rice husks, Chicken droppings