

Facteurs limitatifs du rendement de la tomate industrielle en périmètres irrigués au Nord Sénégal

Joël Huat

Centre de coopération internationale
en recherche agronomique
pour le développement (Cirad),
Département Productions fruitières et
horticoles (Flhor),
Unité propre de recherche (UPR) Horticulture,
BP 1304,
97600 Mamoudzou
Mayotte
<huat@cirad.fr>

Résumé

Soixante-huit parcelles ont été suivies pendant 3 ans dans cinq périmètres irrigués au Nord Sénégal pour évaluer les causes de variation du rendement de la tomate industrielle et comparer les pratiques culturales aux recommandations de l'encadrement agricole. Les données collectées *in situ* et traitées par analyses multivariées, concernent l'itinéraire technique, le sol, le peuplement végétal, le parasitisme, l'exploitation. Des écarts importants entre les pratiques paysannes et les recommandations techniques sont observés quant à la densité de plantation, la fréquence des irrigations et des traitements, les apports d'engrais et le dosage des pesticides. Les rendements ont varié de 5 t/ha à 63 t/ha et la capacité d'échange cationique (CEC) du sol en est une variable très discriminante. La densité de plantation, l'état sanitaire de la culture avant la floraison-nouaison et la fréquence d'irrigation ont un bon potentiel explicatif. Le diagnostic étant limité par l'absence d'informations sur le climat et le fonctionnement du couvert végétal, ces résultats seront considérés comme des pistes pour des recherches complémentaires sur l'élaboration du rendement de la tomate en plein champ.

Mots clés : Sénégal ; tomate ; diagnostic ; périmètre irrigué.

Thèmes : productions végétales ; méthodes et outils.

Abstract

Limitative factors of yields in factory-growing tomato fields in Northern Senegal

Sixty-eight factory-growing tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) plots in five irrigated crop sites of the Senegal river valley (North Senegal) were surveyed for 3 years with a view to study yield variation causes and get a better insight into farmers' cropping practices. Cropping data – soil conditions, plant behaviour, current practices, pests and diseases, cropping and farming systems – was collected *in situ* and computed using a multivariate analysis. The results pointed out to important deviations of farmers' practices from technical recommendations on plant density, watering and phytosanitary treatment frequencies, fertiliser supply and pesticide applications. Yields ranged from 5 t/ha to 63 t/ha. The differences in crop production were mainly related to soil property (cationic exchange capacity), and secondary to cropping practices influencing tomato phytosanitary status. Plant density, crop sanitary status before fruit onset, and watering frequency were pretty significant. Yields ranged best in soils with a high cationic exchange capacity and high total available water. A poor phytosanitary status of the crop decreased the yield in plots where soil cationic exchange capacity was already low. However, the relationship between sanitary status and phytosanitary treatments could not be clearly determined, thus proving that chemicals are not properly used for pest control. Technical advice needs to be adapted to sandy soils where cationic exchange capacity and field capacity are low. The diagnosis is limited due to the lack of climatic data and spacewise variability of environmental parameters. These results should therefore be considered as paving the way towards additional research, notably on the elaboration of tomato yield components in farm conditions.

Key words: Senegal; tomatoes; diagnosis; irrigation schemes.

Subjects: vegetal productions; tools and methods.

Tirés à part : J. Huat

Dans la vallée du fleuve Sénégal, la culture de la tomate remonte aux années 1970 avec l'implantation d'une usine de transformation à Savoigne (figure 1). Sur les 65 000 hectares de périmètres irrigués aménagés, notamment pour le riz (30 000 à 35 000 hectares), la tomate industrielle occupe environ 2 500 hectares. Le marché sénégalais est estimé à 12 000 tonnes de double concentré de tomate par an, soit 75 000 tonnes de tomates fraîches, alors que la production nationale fluctue entre 10 000 et 45 000 tonnes. La tomate est cultivée pendant la saison sèche fraîche dans des périmètres de quelques dizaines à plusieurs centaines d'hectares. Tous les agriculteurs appartiennent à un groupement professionnel, ce qui leur donne accès à un financement bancaire et à un contrat avec l'industriel. Le groupement s'occupe de la gestion de l'eau et des intrants, du travail mécanisé du sol et de la livraison des tomates aux usines. L'industriel paye le groupement, qui distribue ensuite les revenus à ses membres au prorata des quantités livrées par chacun. Les rendements ont varié de 8 à 27 t/ha et les surfaces de 300 à 2 500 hectares selon les années sur l'ensemble du bassin de production, mais ces moyennes masquent de fortes disparités [1-3]. Les producteurs expliquent les faibles rendements par la fatigue des sols, la forte pression parasitaire et la mauvaise qualité des pesticides, alors que les techniciens agricoles leur reprochent de ne pas respecter l'itinéraire technique du comité interprofessionnel de la tomate

(tableau 1). Plusieurs enquêtes [2, 3] ont montré que les paysans innovaient dans leurs pratiques culturales. Cependant, ces pratiques et les raisons des écarts par rapport aux recommandations techniques sont mal connues.

Nous avons cherché à caractériser la diversité des pratiques paysannes et à expliquer la variabilité des rendements de la tomate industrielle. Nous formulons l'hypothèse que l'itinéraire technique préconisé n'est pas adapté à toutes les situations de culture eu égard à la diversité du milieu biophysique et à la complexité de l'organisation professionnelle. Notre démarche d'analyse procède d'une critique d'expert et d'une analyse multifactorielle des données d'enquêtes.

Matériel et méthode

Sites d'étude

Pour privilégier la variabilité des situations de culture, 68 parcelles ont été suivies dans cinq périmètres irrigués de la rive gauche du fleuve Sénégal (figure 1, tableau 2) d'octobre à avril 1998-1999, 1999-2000 et 2000-2001. La pluviométrie moyenne annuelle est de 200 mm environ, avec une seule saison pluvieuse, de juillet à septembre. La température chute à 13-15 °C en décembre/janvier et remonte à 38-40 °C en mai. L'irrigation se fait à la raie et l'eau est pompée dans le fleuve. Les sols sont surtout argileux et ceux qui sont trop filtrants et de texture grossière, impropres à la riziculture, sont

réservés généralement aux cultures de diversification (tomate, oignon...). Le site 1 se situe à Guédé, les sites 2, 3, 4 et 5 à Boxhol, Dagana, Gaé et Thiago, le site 6 à Thilène.

Enquêtes agronomiques

Les agriculteurs ont été interrogés sur leurs pratiques culturales et la production récoltée. Des observations ont été réalisées sur trois placettes de 9 m² réparties au hasard dans la parcelle :

- taux de recouvrement du billon par les plantes à 20, 40, 60 et 90 jours après la plantation ;
- taux d'enherbement de la parcelle tous les 15 jours ;
- densité de plantation 8 jours après la plantation et avant la récolte ;
- taux d'infestation de la parcelle tous les 15 jours. Les principaux parasites sont l'alternariose (*Alternaria solani*), l'oïdium (*Leveillula taurica*), la virose de l'enroulement (TYLCV), les noctuelles (*Helicoverpa armigera*), les acariens (*Aculops lycopersici*, *Tetranychus evansi*, *Tetranychus urticae*). Nous estimons que le potentiel de production est fortement perturbé quand au moins 25 % des plantes sont parasitées (stade M2) ;
- dates de floraison vraie (100 % des plantes ayant au moins une fleur), de nouaison (100 % des plantes avec au moins un fruit vert), et de chaque récolte. Des analyses de sols (couche 0-25 cm) ont été réalisées par le laboratoire de la Compagnie sucrière du Sénégal (pH, N_{tot}, C, P₂O₅, capacité d'échange cationique (CEC), bases échangeables, granulométrie) et l'Institut de recherche et de développement à Dakar (courbes pF).

Enquêtes socio-économiques

Elles ont porté sur la structure de l'exploitation (surfaces cultivées, composition de la famille, main-d'œuvre...), la conduite culturale, les charges et recettes de production (prix bord de champ de 40 F CFA/kg¹ en 2000). La main-d'œuvre d'exploitation a été comptabilisée pour estimer la productivité du travail.

Analyse des données

Les données d'enquêtes ont été analysées selon une démarche adaptée de celle utilisée pour le diagnostic des systèmes

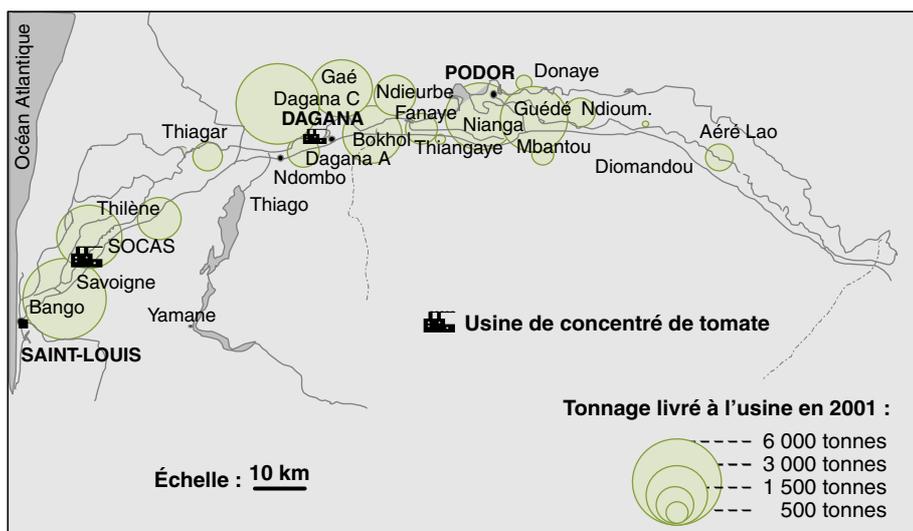


Figure 1. Zones de production de la tomate industrielle au Sénégal.

Figure 1. Industrial tomato production areas in Senegal.

¹ 1 euro = 655,96 F CFA.

Tableau 1. Itinéraire technique recommandé pour la production de tomate industrielle au Sénégal.

Table 1. Technical itinerary recommended for the production of industrial tomato in Senegal.

Opération culturale	Date	Intrants (pour 1 hectare)	Quantité (pour 1 hectare)	Modalités
Préparation du sol	Avant plantation			Passage croisé de charrue à disques, précédé ou non d'un labour, suivi d'un billonnage
Semis	5 septembre au 30 octobre	Variétés : Rio Fuego, Rio Grande, Orbit	300 à 500 g pour 100 m ² de pépinière	25 à 30 jours de pépinière
Transplantation	1 ^{er} octobre au 30 novembre		En ligne simple, sur le tiers supérieur du flanc du billon Densité : 33 000 plants/ha (0,25 m sur la ligne x 1,2 m entre les lignes)	
Fertilisation				114 N-115 P ₂ O ₅ -150 K ₂ O
- fond	Avant billonnage	Engrais 9-23-30	250 kg/ha	Épandage à la volée
- entretien	A1 : 30 JAP	9-23-30 + urée	100 + 75 kg/ha	Épandage le long des lignes de plantation
	A2 : 45 JAP	9-23-30 + urée	100 + 75 kg/ha	
	A3 : 90 JAP	9-23-30	50 kg/ha	
Irrigation	Tous les 8 jours jusqu'à la floraison, puis 10 jours			Irrigation à la raie Mise en eau le jour de plantation.
Protection phytosanitaire	Pépinière :			Quantités pour traiter une pépinière de 100 m ²
	T1 à 7 JAS	Orthène (<i>acéphate</i>)	2 g/L	
	T2 à 14 JAS	Orthène + Rovral	2 g/L + 2 g/L	
	T3 à 21 JAS	Orthène + Cuprosan	2 g/L + 3 g/L	
	Plein champ :			Volume de bouillie : 500 à 1 000 L/ha
	T1 à 7 JAP	Soufre	2,5 kg/ha	
	T2 à 14 JAP	Soufre	2,5 kg/ha	
	T3 à 21 JAP	Thimul (<i>endosulfan</i>)	2 L/ha	
	T4 à 28 JAP	Dicofol + Dithane M45 (<i>mancozèbe</i>)	1 L/ha + 3 g/ha	
	T5 à 35 JAP	Diméthoate 400	1 L/ha	
	T6 à 42 JAP	Dicofol + Dithane	1 L/ha + 3 g/ha	
	T7 à 49 JAP	Cypercal (<i>cyperméthrine</i>)	1 L/ha	
	T8 à 56 JAP	Soufre	2,5 kg/ha	
	T9 à 63 JAP	Cypercal	1 L/ha	
Récolte	Stade tomate rouge			Récolte manuelle. Stockage en caisses de récolte ajourées.

JAS = jours après semis ; JAP = jours après plantation ; *en italique* : nom de la matière active ; A = apport.

de culture au Cameroun et en Martinique [4, 5].

Les variables liées aux pratiques culturales et au développement de la culture ont été réparties selon trois grandes phases culturales correspondant globalement à des étapes de mise en place des composantes du rendement : plantation-floraison (installation du nombre de plants/ha et du nombre de fruits/plant), floraison-première récolte (nombre de

fruits/plant, poids moyen du fruit), première à dernière récolte.

Pour expliquer la variabilité des rendements, une critique des données à dire d'expert a été réalisée, puis celles-ci ont été traitées par analyses multivariées avec les logiciels Winstat2.0 et Cart4.0 (tableau 3). Pour ces analyses statistiques, les données ont été transformées en variables qualitatives et réparties en classes d'effectif homogène [5].

Résultats et discussion

Des rendements variables

Les rendements ont varié de 5 t/ha à 63 t/ha avec une moyenne de 24,3 t/ha (± 12,4) en 1999, 36,9 t/ha (± 12,4) en 2000 et 46 t/ha (± 11,4) en 2001. Les plus faibles rendements ont surtout été observés dans le village de Thiago et les plus élevés à Thilène (figure 2).

Tableau 2. Caractéristiques des sites étudiés.

Table 2. Characteristics of investigated sites.

Saison de production	Site	Surface cultivée en tomate (hectares)	Ancienneté dans la culture de la tomate (ans)	Agriculteurs enquêtés	Sols dominants cultivés en tomate	Distance de Saint-Louis (ville côtière)
1998-1999	Boxhol	84	24	12	Argilo-limoneux	120 km
	Guédé	113	22	10	Argileux	200 km
	Thiago	116	17	8	Sableux	80 km
1999-2000	Boxhol	92	25	10	Argilo-limoneux	120 km
	Gaé	112	25	10	Argilo-limoneux	120 km
	Dagana C	151	1	10	Limono-argileux	120 km
2000-2001	Thilène	61	7	8	Argilo-limoneux	35 km

Des pratiques diversifiées

Les pratiques les plus discriminatives des conduites techniques concernent la densité de plantation, la fertilisation, l'irrigation et la protection phytosanitaire (tableau 4). Les autres pratiques se rapprochent du modèle technique du comité. En moyenne, les agriculteurs plantent 27 000 plants/ha et apportent plus d'engrais NPK et d'urée que ne le préconise le comité, irriguent tous les 10 jours, et traitent avec un faible volume de bouillie (240 litres).

Nous avons comparé les variables d'états du milieu et les pratiques culturales du groupe des agriculteurs aux rendements les plus élevés (> 50 t/ha) et du groupe

aux rendements les plus faibles (< 15 t/ha) (tableau 5).

Le groupe 1 (G1) se caractérise par de faibles rendements (9,6 t/ha) avec une production de 0,38 kg/plant. En se référant aux écarts type des variables de production et de peuplement, on constate que c'est moins la densité de plantation que la production par plant qui joue sur le rendement.

La densité (26 133 plants/ha) est également inférieure dans G1. On y trouve surtout des producteurs de Thiago où les sols sont sableux avec de faibles CEC (8,35 meq/100 g), réserve utile (RU) (44 mm) et teneur en azote (0,44 pour mille). La croissance des plantes est limi-

tée : 30 jours après plantation et à la récolte, la tomate couvre peu le billon, respectivement moins de 10 % et 52 %.

Dans le second groupe (G2), les plantes se développent et se ramifient bien : en début de floraison, la couverture du sol est de 50 %, et de 100 % à la récolte, exprimant un bon potentiel de production. Ce développement serait indirectement lié aux pratiques de fertilisation et d'irrigation. En effet, dans ce groupe, les apports d'engrais et les irrigations sont plus importants (en fréquence et quantité).

La première fertilisation était effectuée 21 jours après plantation, dans des sols plutôt argileux avec une bonne CEC (19 meq/100 g). Cependant, aucune rela-

Tableau 3. Liste et codes des principales variables.

Table 3. List and codes of main variables.

Types de variables à expliquer	Code	Variable
Intermédiaires	Rendt	Rendement
	CouvMax	Couverture du billon par les plantes à la récolte
	NJPM2	Nombre de jours pour atteindre le stade sanitaire critique M2
Explicatives	NbFRM2	Nombre de jours de mauvais stade sanitaire M2 entre le 45 ^e jour et la 1 ^{ère} récolte
	NbTotIr	Nombre total d'irrigations de plantation à dernière récolte
	NbIrPF	Nombre d'irrigations de plantation à floraison
	NbIrFR	Nombre d'irrigations de floraison à 1 ^{ère} récolte
	NbIrRR	Nombre d'irrigations de 1 ^{ère} à dernière récolte
	QNT	Quantité totale d'azote apportée (kg/ha)
	QKtot	Quantité de K ₂ O apportée pendant la culture (kg/ha)
	CEC	Capacité d'échange cationique du sol (meq/100 g)
	Txt	Texture du sol – A : argileux ; B : limono-argileux ; C : limoneux à limono-sableux ; D : sableux
	PC	Précédent cultural
	APC	Anté-précédent cultural
WSol	Travail du sol	

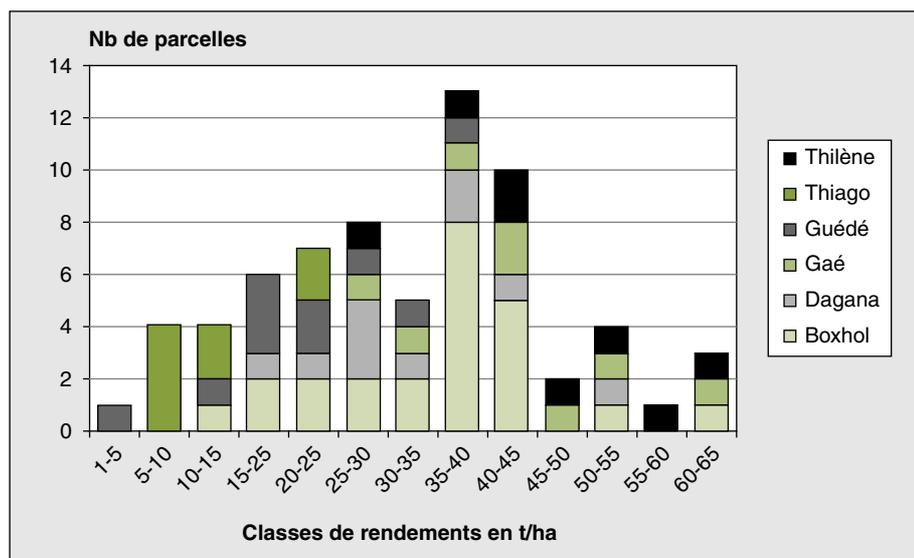


Figure 2. Distribution des classes de rendements (t/ha) sur les 3 années par village.

Figure 2. Histogram of the yields (t/ha) on 68 investigated plots.

tion n'a été observée entre les quantités d'engrais appliquées et le rendement, probablement en raison de la grande variabilité dans la capacité du sol à fournir les éléments nutritifs à la plante.

Pendant la phase sensible d'installation du système racinaire et de floraison où s'établit la composante *nombre de fruits par plant* [6], la fréquence moyenne d'irrigation était de 15 jours chez G1 et de 10 jours chez G2. Pendant les phases de floraison-récolte et de récolte, elles étaient respectivement de 13 et 14 jours et

de 8 et 23 jours pour G1 et G2. Cette pratique révèle des périodes de stress hydrique dans les parcelles de G1 au cours des phases de floraison et de grossissement des fruits, alors que les besoins en eau sont les plus élevés. L'accumulation de matière sèche diminue avec un déficit hydrique [6, 7]. L'Agence japonaise de coopération internationale (Jica) [8] a montré l'effet positif d'irrigations rapprochées dans les sols sableux de Thiago : les rendements de tomate de 63 t/ha pour un intervalle d'irrigation de 3 jours, pas-

saient à 55 t/ha pour 5 jours, et à 29 t/ha pour 7 jours. La ressource en eau n'est pas limitée dans la vallée, mais la gestion de l'irrigation, collective dans les périmètres, nécessite une organisation technique, sociale et financière performante. Ce facteur pourrait expliquer pourquoi les producteurs n'irriguent pas au moment où ils le souhaiteraient.

Le nombre de traitements phytosanitaires est plus élevé chez G1 (13), mais le seuil M2 est atteint plus tôt que chez G2 (61 jours contre 78). Cette situation traduit une protection phytosanitaire inadaptée ou mal contrôlée. G1 a tendance à sous-doser les pesticides alors que G2 fait plutôt l'inverse, la tendance générale étant néanmoins au sous-dosage. Chez G1, la protection contre l'oïdium et les acariens se limite à une utilisation modérée de soufre, insuffisante pour lutter contre ces parasites très présents pendant la phase de grossissement des fruits et responsables du dessèchement rapide du feuillage. Le volume moyen de bouillie est de 240 L/ha, alors que 300 à 500 L/ha sont un minimum pour bien mouiller le feuillage. Si certains producteurs traitent à 1 000 L/ha, d'autres emploient moins de 100 L/ha, et l'on peut douter de l'efficacité des traitements sous-dosés en matière active et à faible volume de bouillie, surtout par forte pression parasitaire.

Le travail : un facteur à ne pas négliger

Chez G2, la quantité de travail estimée par hectare est de 106 jours en moyenne contre 71 jours chez G1, et les surfaces moyennes cultivées en tomate, de 0,39 hectare contre 0,59 hectare. La productivité moyenne du travail (marge brute/quantité totale de travail en jours) est négative pour G1 (476 F CFA/jour) et de 20 827 F/jour pour G2. Le coût de production moyen (hors main-d'œuvre), tous producteurs confondus, est de 360 500 F CFA/ha, les engrais représentant 42 % des dépenses et les pesticides 19 % (tableau 6).

L'augmentation du rendement ne paraît pas liée à l'intensification du capital. Par exemple, des rendements proches de 40 t/ha sont atteints avec des budgets variant de 250 000 à 500 000 F CFA/ha. Le rendement tend à diminuer avec l'augmentation de la superficie des parcelles, laissant supposer que la rentabilité de la culture dépendrait de la quantité et qualité du travail fournies sur la parcelle. La même tendance a été observée en riziculture irriguée au Sénégal [9].

Tableau 4. Principales techniques à l'origine de la diversité des conduites techniques.

Table 4. Main practices leading to diverse technical itineraries.

Opérations culturales	Modèle du Comité tomate	Pratiques paysannes	
		Moyenne	Coef. variation (%)
Plantation - densité	33 000 plants/ha	27 008 plants/ha	20
Plantation - écartements	1,20 m x 0,25 m	1,19 x 0,27 m	7 x 23
Fertilisation NPK (9-23-30)	450 kg/ha	627 kg/ha	45
Fertilisation azotée (urée)	150 kg/ha	235 kg/ha	57
Date du 1 ^{er} apport	30 JAP	26 JAP	55
Irrigation - nombre total		13,4	16
Irrigation - fréquence	tous les 10 jours	10,3 jours	22
Traitements phytosanitaires :			
- nombre total	11	11	26
- volume de bouillie	500 à 1 000 litres	240 litres	57
Désherbage		2	38

Tableau 5. Variables discriminatives des faibles et hauts rendements.

Table 5. Discriminative variables of min and max yields.

Variables	Groupe 1 (< 15 t/ha) Moyenne (E.T.)	Groupe 2 (> 50 t/ha) Moyenne (E.T.)
Rendement (t/ha)	9,6 (3)	56,9 (4,4)
Production par pied (kg)	0,4 (0,1)	2,1 (0,5)
Densité de peuplement par ha	26 133 (4 659)	28 325 (5 800)
CEC (meq/100 g)	8,3 (7,4)	19 (6,6)
Azote total (pour mille)	0,4 (0,3)	0,6 (0,3)
Textures de sol plus fréquemment rencontrées	sableux	argileux et limono-argileux
Nombre de JAP pour atteindre note sanitaire M2	61 (6)	78 (13)
Couv1 (couverture du sol par la tomate 30 JAP)	Note 1 (1)	Note 3 (1)
CouvMax % (couverture du sol à la récolte)	52 (5)	94 (7)
Nombre d'apports d'engrais	2 (0,7)	2,6 (0,7)
Quantité d'azote apportée (kg/ha)	0,4 (0,3)	0,64 (0,3)
Date du 1 ^{er} apport en jours après plantation (JAP)	38 (13)	21 (16)
Fréquence moyenne d'irrigation (jours)	12 (2)	9 (2)
Fréquence moyenne d'irrigation plantation à floraison	15 (5)	10 (2)
Fréquence moyenne d'irrigation floraison à récolte	13 (5)	8 (2)
Fréquence moyenne d'irrigation pendant phase récolte	14 (8)	23 (17)
Nombre de traitements phytosanitaires	13 (4)	10 (3)
Dosage du soufre (%) par rapport aux recommandations (%)	51 (16)	94 (40)
Dosage du dicofol (%) par rapport aux recommandations (%)	82 (51)	111 (33)
Dosage du diméthoate (%) par rapport aux recommandations (%)	140 (97)	59 (48)
Marge brute par hectare (F CFA)	- 4 600 (128 883)	1 926 872 (173 047)
Quantité de travail (jours/ha)	71 (37)	106 (41)
Surface cultivée en tomate (ha)	0,6 (0,3)	0,39 (0,2)

Note 1 (1) : moins de 10 % du billon couvert par le feuillage ; note 3 (1) : 30 à 50 % du billon couvert par le feuillage.
1 euro = 655,96 F CFA.

Tableau 6. Coûts de production de la tomate par site.

Table 6. Economics of tomato production per site.

Poste	Guédé	Dagana C	Boxhol 1	Boxhol 2	Gaé	Thiago	Thilène	Moyenne
Travail du sol	48 000	66 000	60 000	60 000	63 000	91 000	66 000	64 857
Semences	12 000	12 000	12 000	12 000	12 000	12 000	12 000	12 000
Fertilisation	149 205	123 200	132 038	114 392	148 733	143 675	264 075	153 617
Pesticides	61 793	58 276	76 284	58 539	70 847	102 980	62 849	70 224
Irrigation	60 000	60 000	60 000	60 000	60 000	60 000	60 000	60 000
Coût total F CFA / ha	330 998	319 476	340 321	304 930	354 580	409 655	464 924	360 698
Chiffre d'affaires / ha	878 800	1 313 200	1 379 333	1 599 111	1 505 600	484 850	1 841 000	1 285 985
Marge en F CFA / ha	547 802	993 724	1 008 012	1 288 181	1 148 020	75 195	1 376 076	919 573
Marge / exploitation	80 507	430 107	352 772	492 476	476 547	19 562	713 289	366 466
Qté travail (j /ha)	158	118	133	133	127	53	67	113
Productivité (F CFA/j)	3 467,1	8 421,4	7 579,0	9 685,6	9 039,5	1 418,8	20 538,5	8 158,4

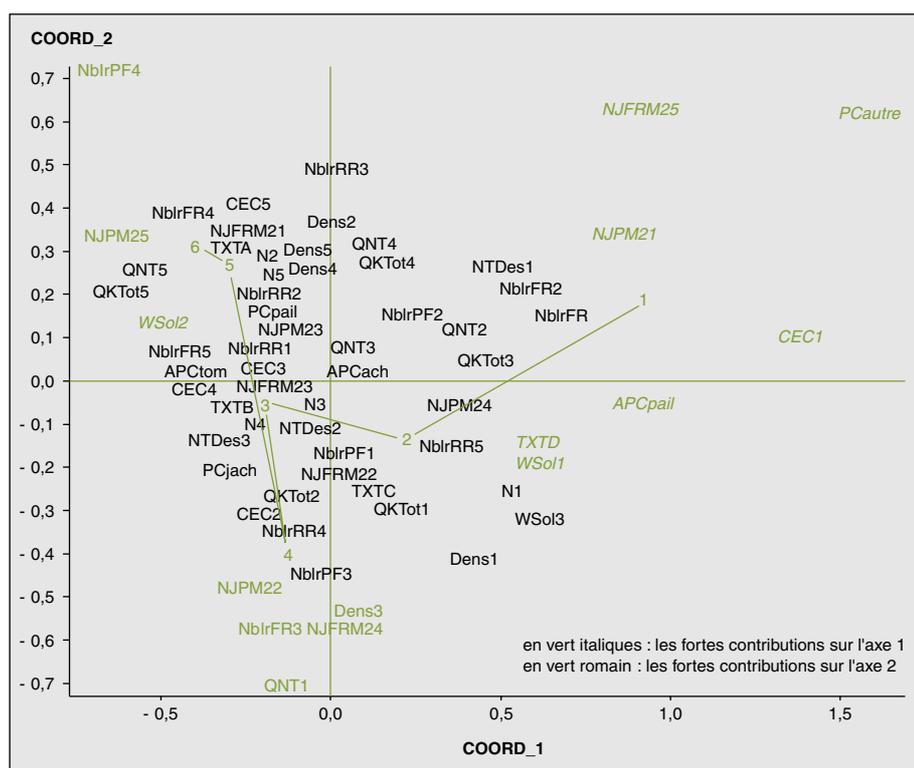


Figure 3. Analyse factorielle des correspondances (AFC) croisant les classes de rendements et les classes des variables.

Figure 3. Factorial correspondence analysis crossing yield and variable classes.

Déterminants multifactoriels du rendement

Nous n'avons pas trouvé de relation causale forte d'un seul facteur technique ou d'état du milieu sur le rendement, ce qui nous a conduits à une analyse multifactorielle.

Les déterminants du rendement sont exprimés par une analyse factorielle des correspondances (AFC) sur tableau croisant les classes de rendements et les classes des variables (figure 3). Le premier plan factoriel oppose, le long de l'axe 1, les faibles rendements à droite aux rendements moyens à bons à gauche. L'axe 2 sépare ce groupe de rendements assez bons en bas (Rdt4 : 35 à 40 t/ha) et forts en haut (Rdt5 : 40 à 50 t/ha et Rdt6 > 50 t/ha). Les mauvais rendements (Rdt1 < 15 t/ha) sont liés à une CEC de 2,6 à 8 meq/100 g, des précédents de tomate, coton ou arachide, un mauvais état sanitaire (moins de 61 jours pour atteindre le stade critique M2), une faible irrigation pendant la période floraison-récolte (irrigation tous les 13-15 jours),

des sols sableux. Les meilleurs rendements correspondent à des sols à forte CEC (22 à 30 meq/100 g), des irrigations rapprochées entre plantation-floraison et floraison-récolte (tous les 8-10 jours), un bon état sanitaire, des apports de N (> 250 kg/ha) et K₂O (> 260 kg/ha) élevés, des précédents de céréales (riz, maïs). À l'opposé, les rendements sont moyens avec des CEC de 8 à 12,5 meq/100 g, des irrigations moyennes, un état sanitaire moyen, des fertilisations faibles, des précédents de jachère. Les mauvais rendements sont surtout localisés dans le périmètre de Thiago et les bons dans ceux de Boxhol, Gaé et Dagana.

Hierarchisation des facteurs explicatifs du rendement

Les cases (ou nœuds) présentées à chaque arborescence dichotomique de la figure 4 illustrent la variable discriminative du rendement, et précisent le rendement moyen et l'effectif de la sous-population discriminée.

Ainsi, le premier facteur influençant le rendement est la CEC, qui isole à gauche les plus faibles rendements, avec 7 parcelles de Thiago et 3 de Boxhol. Pour ces parcelles de faibles CEC, le facteur dominant est l'état sanitaire en début de culture. Pour la branche de droite, le facteur densité isole un groupe de 8 parcelles (de Guédé) qui concentre de faibles productions avec des densités faibles. En écartant Guédé, le facteur principal suivant est l'anté-précédent cultural, la tomate correspondant aux meilleurs rendements des villages de Thilène, Boxhol et Gaé. Il est probable que cette variable ne fasse que traduire une meilleure technicité des agriculteurs.

Pour les autres précédents, c'est l'état sanitaire avant floraison qui isole les parcelles de Thilène avec un état excellent et de bons rendements. Le facteur suivant est la même variable mais inversée, les meilleurs rendements correspondant au plus mauvais état sanitaire (exprimé par NJPM2 = 58 jours, l'oïdium interne et les acariens étant les principaux parasites). Il s'agit de 5 parcelles de Dagana qui ont une couverture maximale élevée et une bonne densité, compensant probablement le mauvais état sanitaire de la culture. Pour les autres parcelles, le nombre d'irrigations est le facteur le plus explicatif. Si on revient au précédent tomate, les irrigations avant la floraison, la CEC et les irrigations entre la floraison et la récolte sont les facteurs explicatifs du rendement.

Conclusion

Des écarts importants entre les pratiques paysannes et les recommandations techniques ont été mis en évidence pour la densité de plantation, l'irrigation, la fertilisation et les traitements phytosanitaires. Si les recommandations techniques permettent d'obtenir des rendements proches du potentiel (63 t/ha) dans un contexte donné, leur respect ne garantit pas un rendement maximal. Ainsi, l'itinéraire technique recommandé n'est pas adapté aux sols légers, de faibles CEC et RU. Les analyses multidimensionnelles ont permis de révéler les facteurs explicatifs de la diversité des rendements et de proposer une hiérarchisation de ces facteurs. La CEC du sol est une variable très discriminante. La densité de plantation, l'état sanitaire de la culture avant la floraison et la fréquence de l'irrigation ont un

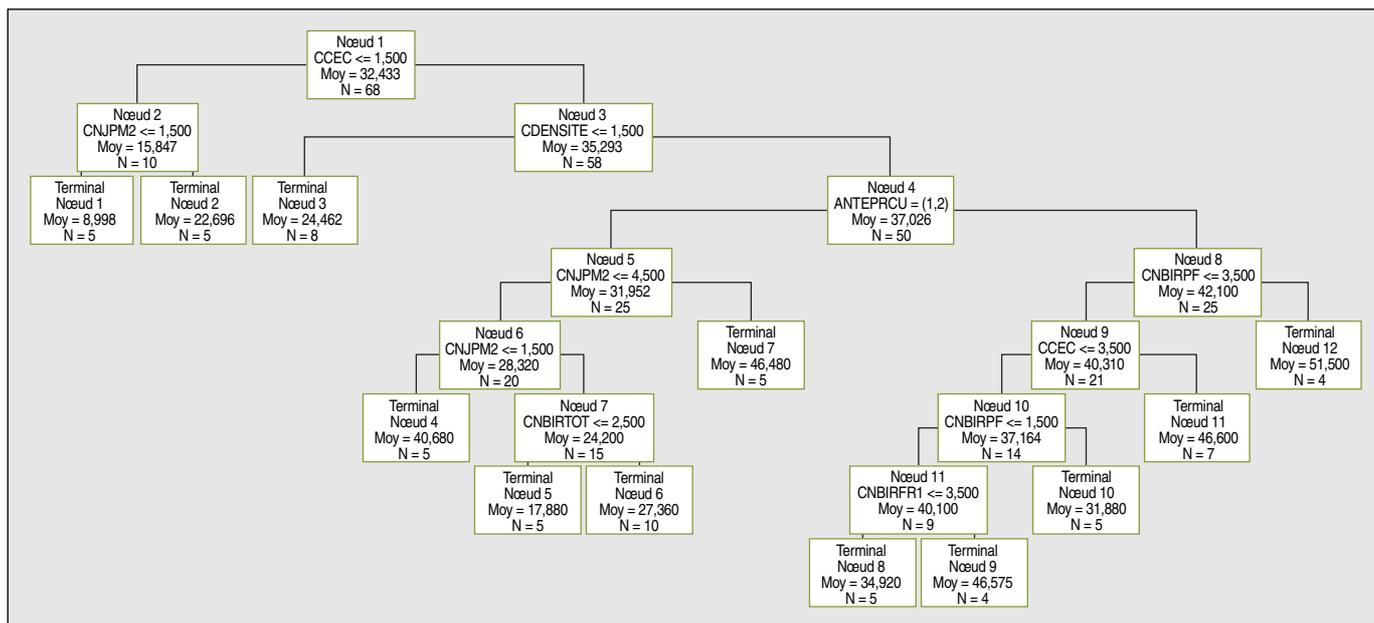


Figure 4. Arbre de régression sur la variable rendement.

Figure 4. Regression tree on yield variable.

bon potentiel explicatif. La prédominance du facteur CEC oblige à considérer la gestion de l'irrigation et de la fertilisation en relation avec la CEC, la texture et la RU. Les rendements sont meilleurs dans les sols à CEC et RU élevées. Un mauvais état sanitaire tend à accentuer les chutes de rendement dans les parcelles où la CEC est déjà faible. Cependant, aucune relation nette entre l'état sanitaire et les traitements phytosanitaires réalisés n'a été observée, ce qui tend à prouver leur mauvaise utilisation et la nécessité d'une meilleure formation des agriculteurs et conseillers agricoles.

Le diagnostic présente des limites en l'absence de données sur le climat et le fonctionnement du couvert végétal. Ces résultats sont donc à considérer comme des pistes pour améliorer les systèmes de culture plutôt que comme des résultats bien établis. Des études complémentaires sont nécessaires sur le complexe sol-plante-atmosphère (notamment la nutrition azotée et hydrique de la plante), et sur le complexe milieu-plante-parasite pour paramétrer un modèle d'élaboration du rendement de la tomate de plein champ dans diverses situations écologiques. L'étude a aussi montré que c'est plus par un raisonnement du système de culture et des ajustements de l'itinéraire technique que par une augmentation des quantités d'intrants, que l'on pourrait augmenter et surtout régulariser la production. La prise en compte opérationnelle de ces interac-

tions pour la maîtrise technique de la conduite de la tomate est cependant complexe dans un cadre marqué par de fortes incertitudes et par des contraintes liées au système de production et à l'organisation interprofessionnelle comme cela a été montré par plusieurs auteurs en riziculture irriguée [9-11]. ■

Remerciements

L'auteur remercie le ministère français des Affaires étrangères pour le financement de ces travaux dans le cadre du projet Pôle Systèmes Irrigués (1996-2001), et la structure d'accueil, l'Institut sénégalais de recherches agricoles (Isra), ainsi que Xavier Perrier et Cécile Dubois (du Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, Cirad) pour leur appui en statistiques.

Références

- Huat J. *Diversité des pratiques paysannes en culture de tomate dans les périmètres irrigués du nord Sénégal : conséquences sur la production*. Mémoire de DEA, Ina-PG, Paris, 2002.
- Huat J, David-Benz H. La tomate d'industrie au Sénégal : performances de la production et enjeux pour la filière. In : Legoupil JC, et al., eds. *Pour un développement durable de l'agriculture irriguée*. Dakar : Pôle régional de recherche sur les systèmes irrigués (PSI/Coraf), 2000.

3. Centre pour le développement de l'horticulture (CDH). *Les cultures maraîchères au Sénégal : bilan des activités du CDH de 1972 à 1985*. Dakar : Institut sénégalais de recherches agricoles (isra)/CDH ; Programme des Nations unies pour le développement (pnud)/FAO, 1986.

4. Delvaux B, Perrier X, Guyot P. Diagnostic de la fertilité de systèmes culturaux intensifs en bananeraies à la Martinique. *Fruits* 1990 ; 45 : 223-36.

5. Perrier X, Delvaux B. Une méthodologie de détection et de hiérarchie des facteurs limitant la production à l'échelle régionale : application à la culture bananière. *Fruits* 1991 ; 46 : 213-26.

6. Bezert J, Giovinazzo R, Vallat R. *Guide culturel de la tomate d'industrie*. Avignon (France) : éditions Sonito, 1999.

7. Phill WG, Lambeth VN. Effects of soil water regime and nitrogen form on blossom-end rot, yield relation and elemental composition of tomato. *J Am Soc Hortic Sci* 1980 ; 105 : 730-4.

8. Japan International Cooperation Agency (Jica). *Étude expérimentale du développement agricole : rapport final*. AF1 JR 91-04. Tokyo : Jica, 1991.

9. Poussin JC. Diagnostic sur les systèmes de riziculture irriguée dans la moyenne vallée aval du fleuve Sénégal. In : Biarnes A, ed. *La conduite du champ cultivé : points de vue d'agronomes*. Paris : Orstom éditions, 1998.

10. Le Gal PY. *Gestion collective des systèmes de culture en situation d'incertitude : cas de l'organisation du travail en double culture dans le delta du fleuve Sénégal*. Thèse Ina-Pg, France, 1995.

11. Wopereis MCS, Donovan C, Nebie B, Guindo D, N'diaye MK. Soil fertility management in irrigated rice systems in the Sahel and Savanna regions of West Africa. Part I. Agronomics analysis. *Field Crops Res* 1998 ; 56 : 1-21.