



TRANSFERT DE TECHNOLOGIE EN AGRICULTURE

MADRPM/DERD

• Mai 2005 •

PNNTA

Fertigation de la tomate hors sol

dans la région de Douiet (Maroc)

Introduction

La culture en hors sol est l'une des technologies modernes utilisées aujourd'hui en horticulture pour valoriser les terrains à problèmes, où une meilleure productivité est impossible autrement qu'avec un substrat de culture artificiel.

C'est l'unique solution lorsque le sol naturel souffre de contraintes incorrigibles (terrain rocailloux, hydromorphes, salés,...), alors que tous les autres facteurs (climat, disponibilité et qualité de l'eau, proximité et prix du marché,...) sont favorables.

C'est aussi la solution efficace pour d'anciens périmètres de monoculture surexploités, dont les installations sont encore en bon état pour continuer à produire, tandis que le sol est dans un état de fatigue (nématodes, fusariose vasculaire,...), où la restauration de sa productivité n'est plus possible avec des interventions agronomiques courantes, telle la désinfection.

Dans de nombreux cas, la reconversion plein sol/hors sol peut également s'avérer intéressante, si par rapport à la culture en plein sol, les éléments disponibles montrent que des gains substantiels de productivité, et surtout de rentabilité, en sont attendus.

D'une manière générale, pour tirer un meilleur parti de cette technologie, les principaux facteurs importants mis en jeu sont le substrat, le potentiel variétal, la conduite sous abri (chauffé ou non) et la fertigation.

Le but de ce bulletin est de faire le point sur la fertigation au Domaine Agricole de Douiet, après 18 ans d'expérience sur le sujet.

Contexte général de production

Le projet de tomate hors sol, objet du présent bulletin, a été réalisé en 1987/88 dans la zone de Douiet, sise à environ 10 km à l'Ouest de la ville de Fès, sur la route de Sidi Kacem. Il compte une superficie d'environ 20 ha de tomate indéterminée (**Prisca** au départ, **Daniela** par la suite; densité = 18.500 plants/ha; cycle total de 9 mois; 22 à 24 bouquets/cycle) cultivée en conteneurs, sur pouzzolane locale extraite des carrières de Timahdite. Les premiers semis ont généralement lieu fin juillet/début août en vue d'une production pour l'exportation à partir de fin automne.

Le climat de la zone est de type continental, caractérisé par un hiver froid et pluvieux ($T_{min} < 0^{\circ}C$; $P > 500$ mm/an) et un été sec et très chaud ($P \approx 0$ mm; $T_{max.} > 40^{\circ}C$).

Du fait du froid hivernal, la tomate de primeur dans cette zone est produite sous abris plastiques (en partie de type Delta-9 et en partie multichapelles), chauffés en utilisant l'eau du forage géothermique de Aïn Allah (débit $q = 320$ l/s; $T^{\circ} = 45^{\circ}C$; pression $P = 28$ bars). Compte tenu des minima à respecter en hiver, pour éviter les dégâts sur la tomate, l'étude géothermique a été réalisée avec comme objectif, lors des calculs du nombre de boucles de chauffage/unité de serre, d'avoir un ΔT de $+ 10^{\circ}C$, c'est à dire $+ 6^{\circ}C$ à l'intérieur de la serre, lorsque le thermomètre enregistre $- 4^{\circ}C$ à l'extérieur.

Conduite de la fertigation

Equilibres de base

Faute d'expérience au départ, la fertigation de la tomate a été conduite en reproduisant la méthode Coïc-Lesaint, exactement comme elle a été décrite dans le contexte européen pour les plantes neutrophiles. Ce n'est qu'après un recul de 4 ou 5 ans, qu'il a été possible de commencer à lui apporter des modifications sensibles, afin de l'adapter aux conditions spécifiques de Douiet (Tableau 1).

Hormis les 3 semaines du semis/plantation, où le plant vit sur les réserves de la tourbe, la concentration azotée finale retenue à Douiet, pour une tomate destinée à l'export, est de 12.15 meq/L de l'élevage à la floraison du 2^{ème} bouquet (E1-F2), 13.43 meq/L de la floraison du 2^{ème} bouquet à la floraison du 6^{ème} bouquet (F2-F6), 12.51 meq/L de la floraison du 6^{ème} bouquet à la récolte du 2^{ème} bouquet et enfin 12.98 meq/L de ce dernier stade à la récolte du dernier bouquet.

Tableau 1: Solutions type Coïc-Lesaint adaptées à la tomate indéterminée dans le contexte de Douiet (Maroc)

Stade	Azote (meq/L)	NH ₄ /N (%)	K/(Ca+Mg)	K/N	H ₂ PO ₄ ⁻ (meq)	SO ₄ ⁻ (meq)
E1 - F2	12.15	9	0.42	0.41	1.38	4.41
F2 - F6	13.43	10	0.59	0.48	1.58	4.06
F6 - R2	12.51	11	0.70	0.56	1.62	4.10
R2 - Fin.	12.98	10	0.86	0.62	1.90	3.85

SOMMAIRE

n° 128

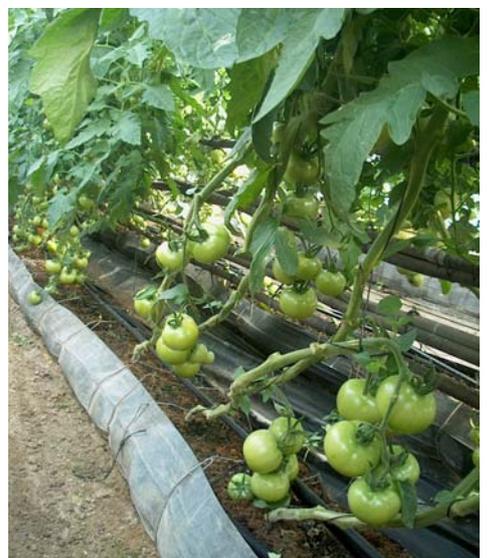
Hors sol

- Conduite de la fertigation..... p.1
- Préparation des solutions-mères..... p.2
- Consommation d'engrais et prix de revient. p.3
- Productivité de la tomate hors sol..... p.3
- Impacts sur la qualité et l'environnement... p.4

La part de l'ammonium, dans le but de stabiliser le pH, est de 9 à 11 % selon les stades. L'équilibre K/(Ca+Mg) est également fonction du stade végétatif. Plus faible au départ, il est ensuite revu à la hausse à chaque stade de référence pour atteindre une valeur de 0.86 à la récolte du 2^{ème} bouquet, où il sera ensuite maintenu constant jusqu'à la fin du cycle.

A Douiet, bien qu'aucune carence en phosphore n'a jamais été notée sur la culture, la concentration en P adoptée est sensiblement plus confortable que la teneur recommandée par la version d'origine Coïc-Lesaint, soit 1.1 meq de H₂PO₄⁻ ou 2.2 meq de HPO₄⁻. Enfin pour les sulfates, les concentrations adoptées sont plutôt voisines de celles proposées par la variante rapportée par Jeannequin [1985], qui tolère jusqu'à 6 meq/L contre 1.5 meq/L pour Verdure.

En ce qui concerne les oligo-éléments, les concentrations adoptées ont été également portées au double des doses conventionnelles, ce qui donne 1.2 mg/L pour Fe, 1mg/L pour Mn et pour Zn, 0.50 mg/L pour B, 0.12 pour Cu et 0.05 pour Mo.



Méthode de calcul des solutions

Comme dans tout système de ce genre, la solution nutritive est calculée en tenant compte de l'eau d'arrosage utilisée (Tab. 2). Avec une conductivité électrique de 0.65 mmhos/cm, l'eau de Douiet est d'une très bonne qualité chimique.

Une solution nutritive peut être obtenue par différentes combinaisons d'acides et d'engrais. Pour ramener le pH de 7.4 à 5.8 (valeur de référence pour la tomate), en neutralisant les bicarbonates (soit 4.70 meq/L), il faut un mélange de 2.17 meq/L d'acide sulfurique (d = 1.83), 1.05 meq d'acide nitrique (d = 1.41), et 0.69 meq d'acide phosphorique (d = 1.70).

La colonne n°7 du tableau 2 donne la quantité de nitrate de calcium $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, de nitrate de potasse KNO_3 et d'ammonitrate, nécessaire pour apporter les 12.04 meq/L de nitrates, compte tenu de l'équilibre NH_4/NO_3 et $\text{K}/(\text{Ca}+\text{Mg})$.

L'ammonium étant apporté en partie par le phosphate mono-ammonique MAP (qui apporte en même temps le complément de P) et en partie par l'ammonitrate NH_4NO_3 , et le complément de magnésium en utilisant du sulfate de magnésium MgSO_4 .

Acides et engrais utilisés

Au Maroc, il y a tout ce qu'il faut sur le marché comme acides et engrais pour préparer n'importe quel type de solution (acide nitrique, acide phosphorique, acide sulfurique, MAP, DAP, ammonitrate, sulfate d'ammoniaque, sulfate de magnésium, nitrate de magnésium, sulfate de zinc, sulfate de manganèse, sulfate de cuivre, fer sous forme EDTA, DTPA, H-EDTA, EDDHA,...). Par conséquent, plusieurs produits et préparations ont été testés (solution à base d'un seul acide et de mélange de plusieurs engrais, mélange d'acides + mélange d'engrais, engrais d'importation solides prêts pour l'emploi,...).

Avec l'apparition sur le marché du sulfate de potasse "Qualité A" (propre et très soluble), durant les années 1993 à 1995 en particulier, l'effort a porté surtout sur la réduction du taux de KNO_3 au profit du sulfate, en montant parfois jusqu'à 6 meq/L de SO_4^{2-} total dans la solution. En 1992, il y a eu importation directe d'engrais pulvérulent prêt pour l'emploi sur tomate, mais le résultat a été plutôt décevant, malgré le strict respect des prescriptions du fabricant. D'une part, la solution donnait du feuillage de couleur pâle témoignant d'une insuffisance azotée, d'autre part, pour obtenir une EC correcte au départ, il a fallu multiplier la concentration par un facteur de 3 et par conséquent le prix de revient de

la solution. Si bien qu'on a été obligé d'en interrompre le programme et de revenir aux produits simples, avant même d'avoir consommé le premier lot importé.

Finalement, le seul cocktail offrant le double avantage à la fois du prix et de la facilité d'emploi, est celui préparé à partir de mélanges d'acides à dominante acide sulfurique (tab. 2) et de mélanges d'engrais divers à dominante nitrate de calcium et nitrate de potasse. L'ammonitrate, le MAP, le sulfate de magnésium, ne sont en général utilisés que comme appoints dans un souci de respect de l'équilibre choisi.

D'une manière générale, les oligo-éléments sont apportés sous forme de sulfates pour le manganèse, le zinc, le cuivre, de Fe-DTPA ou H-EDTA pour le fer (EDDHA durant les premières années), de pentaborate de soude pour le bore et de molybdate pour le molybdène.

Préparation des solutions-mères

C'est le niveau de concentration adopté (lui même fonction du taux d'injection) et l'autonomie recherchée, qui fixent la quantité de solution-mère à préparer, et par conséquent le volume des cuves de mélange correspondant.

A Douiet, le taux d'injection pour la tomate est maintenu constant et égal à 5 ‰ durant tout le cycle de la culture (3 ‰ pour le pêcher, melon et autres légumes). L'ajustement des besoins en fonction des stades est obtenu en augmentant la fréquence d'injection des solutions et non par une modification de la concentration de celles-ci dans l'eau d'arrosage.

Le renouvellement de la solution a en général lieu tous les 10/12 jours, selon le nombre d'ha dominés par chaque station. L'expérience a montré qu'un plus long séjour se traduit par une perte de solubilité des produits (dépôt de fond de cuve) en fin d'utilisation, en particulier par temps froids.

Les stations de fertigation sont constituées de batteries de bacs noirs en PVC de 2 x 5000L, dont l'un est affecté à la solution A et l'autre à la solution B, en plus d'une cuve d'acide pour la rectification continue du pH. L'injection est assurée par des pompes doseuses de type électrique double corps au début, hydraulique mono-corps par la suite.

Le tableau 3 donne les quantités d'acides et d'engrais nécessaires pour préparer une tonne de solution-mère pour la phase de culture F2-F6, en tenant compte du poids de l'équivalent de chaque produit et du taux d'injection.

Les précautions d'usage, pour obtenir une solution efficace et garantir en même temps la sécurité aussi bien des personnes que des installations, sont les mêmes que celles utilisées en hors sol partout ailleurs:

- Calcul juste des concentrations à partir des produits choisis;
- Respect impératif du coefficient de conversion de la solution fille en solution mère (ici $K = 200$ fois);
- Utilisation de deux bacs séparés afin d'éviter les précipités et les pertes de solubilité par contact en milieu concentré, entre le calcium d'une part, les sulfates et les phosphates d'autre part;
- Répartition du KNO_3 moitié/moitié entre les deux bacs A et B;
- Affectation du fer chélaté à la cuve B pour éviter sa précipitation;
- Toujours verser l'eau la première puis l'acide ensuite;
- S'assurer du réglage des injecteurs et en vérifier régulièrement le fonctionnement.

Tableau 3: Besoins en acides et en engrais pour préparer la solution-mère (stades F2-F6)

Produit	Poids de l'eq (gr)	(kg/1000L)	Bac A (5000L)	Bac B (5000L)
Acide nitrique d = 1,41	91.10	19.12	95.64	0.480
Acide sulfurique d = 1,83	25.62	11.12	55.60	--
Acide phosphor. d=1,70	115.6	15.95	79.76	--
MAP	115	20.5	102.5	--
Nitrate de calcium 15.5%	98	78.8	--	394.0
Nitrate de potasse	101	131.30	328.25	328.25
Sulfate de magnésium 16%	123	38.40	192.0	--
Ammonitrate 33.5	80	7.85	39.20	--
Oligo-éléments		besoins	Mn, Zn,	Fe chélaté



Modalités d'injection

Sur le plan nutritionnel, une tomate hors sol est totalement dépendante de l'apport de la solution nutritive pour assurer sa croissance. Le délai de réponse de la culture est d'ailleurs très court et ne dépasse pas quelques jours en cas de solution pauvre ou déséquilibrée, en particulier sur substrat peu tamponné.

C'est le besoin en eau de la journée (lui même fonction du stade végétatif et de l'ETP de la saison), qui détermine le volume et le nombre d'apports de solutions à réaliser.

Comme dans une culture conventionnelle, en hors sol, les périodes de plus faible consommation de solutions nutritives (300 à 500 CC/plant/j), correspondent tout naturellement au début du cycle (septembre à novembre) où le plant est encore jeune, et aux périodes froides et de forte hygrométrie, alors que les moments de forte consommation (1 à 1.5L/plant/j) correspondent aux périodes de pleine croissance par temps chaud, qui s'étalent de mars à juin.

Tableau 2: Exemple de tableau de détermination des solutions nutritives type Coïc-Lesaint (phase F2-F6)

	Solution fille (meq/L)								
	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	NH ₄ ⁺	H ₃ O ⁺	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	HPO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻
Eau	0.02	2.99	2.44	---	---	---	---	---	0.33
HNO ₃					1.05	1.05			
H ₂ SO ₄					2.17				2.17
H ₃ PO ₄					0.69		0.69		
NH ₄ H ₂ PO ₄				0.89			0.89		
Nit. de Ca		4.02				4.02			
KNO ₃	6.5					6.5			
MgSO ₄			1.56						1.56
NH ₄ NO ₃				0.49		0.49			
Σ ions	6.52	7.0	4.0	1.38	3.91	12.06	1.58		4.06

L'injection est étalée sur toute la journée et s'arrête généralement la nuit. Le déclenchement du premier apport a lieu en début de matinée. Il est ensuite suivi d'un second en fin de matinée, d'un 3^{ème}, 4^{ème}, 5^{ème}, 6^{ème}, voire 7^{ème} l'après midi. Par contre, les périodes d'injection à éviter sont surtout le milieu de la journée par temps chaud où les stomates sont fermés, ce qui réduit la consommation en fertilisants et favorise les pertes inutiles de minéraux dans le drainage.

L'injection ne commence qu'une fois la pression stabilisée à un bar en tête du goutteur (obtenue après 2 à 3 min). Elle dure 7 minutes et peut être prolongée parfois en été avec de l'eau acidulée pour prévenir les risques de bouchage chimique.

Puisqu'on est en présence d'un système de fertigation avec solution perdue, c'est le contrôle du drainage dans les lysimètres, aménagés dans les serres à raison de 2 micro-puits par ha, qui guide l'injection.

Contrôles des solutions et du drainage

A Douiet, le vibreur, la loupe, le pH mètre et le conductimètre portables font partie de la trousse obligatoire du technicien affecté à l'hors sol. Le contrôle du pH et de l'EC est de type préventif, effectué selon le besoin, à la sortie des bacs, sous le goutteur et sur le drainage, même en l'absence de tout problème.

Dans la pratique, il est difficile de parler de pH ou de EC zéro variation avec le temps, par rapport aux valeurs prévues. Même en cas d'eau à composition en bicarbonates invariable dans le temps, d'injecteur bien réglé, de calcul parfait de quantité d'acide, on sait que le pH est sujet à des évolutions, ne serait-ce qu'à cause des échanges entre le système racinaire et la solution. L'acidification se produit en général à basse température quand la croissance est réduite, tandis que l'alcalinisation apparaît quand la croissance est vigoureuse, notamment en raison de l'enrichissement du milieu par des OH⁻ produits par une forte réduction du nitrate. D'autre part, des variations sensibles de pH peuvent également avoir en partie comme origine, des variations d'équilibres cations/anions.

Sauf erreur flagrante sur la quantité d'acide injecté (rare dans la pratique), à Douiet la tendance est le plus souvent à l'augmentation du pH, vraisemblablement surtout en raison de la présence du CaCO₃ dans le substrat (tab. 4).

D'une manière générale, le pH à la sortie du goutteur est considéré bon pour toute mesure qui se situe dans l'intervalle 5.8-6.2. L'intervention en vue d'une correction n'a lieu qu'au delà de cette dernière valeur.

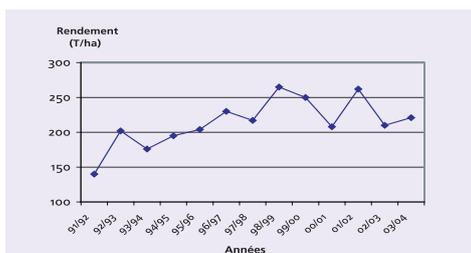


Figure 1: Rendement de la tomate ronde sur pouzzolane à Douiet en fonction des années

Du fait, encore une fois, qu'en est en présence d'un système avec solution perdue, pour éviter les effets pervers des à-coup de salinité, le type de gestion de la solution est celui du 'filet de drainage permanent' où il n'y a pas besoin d'attendre des valeurs d'EC exagérées dans le substrat, pour intervenir.

D'une manière générale, la gamme d'EC de travail adoptée pour la tomate se situe entre 1.8 et 2.6 mmhos/cm. Des EC exceptionnelles plus fortes (> 3 mmhos/cm) n'interviennent que lorsqu'on cherche à freiner un plant qui file trop par temps chaud ou à améliorer la fermeté des fruits afin qu'ils résistent mieux durant le transport. De même que la tomate n'est arrosée avec de l'eau acidulée seule que dans le cas particulier où les mesures dans le drainage montrent une montée anormale de l'EC du substrat.

Consommations totales et prix de revient des solutions

Pour un rendement de l'ordre de 220-250 t/ha, la consommation en fertilisants et en acides, y compris les pertes par drainage, est de 800-1000 U/ha de N, 350-400 U/ha de P₂O₅, 1700-2000 U/ha de K₂O, 280-350 U/ha de CaO, 120-160 U/ha de MgO, en plus des oligo-éléments. De tels chiffres correspondent à env. 4 U/t pour l'azote, 1.5 U pour le phosphore, 8U pour la potasse, 1.5 pour le CaO et 0.6 pour le MgO.

En équivalent produits, ces chiffres correspondent à env. 2T/ha d'acides (soit 23 %) et 7T/ha d'engrais (soit 77 % dont 59-62 % de nitrate de potasse, 22-24 % de nitrate de calcium, 9-10 % de phosphate mono-ammonique, 6-8 % d'oligo-éléments et de sulfates).

C'est le prix des produits sur le marché local qui détermine le coût de la solution, lui-même fonction du marché mondial. Au cours du dollar à la date de la rédaction de ce bulletin, sur le marché marocain, l'acide phosphorique (d = 1.70) coûte 1.112 \$/t, l'acide sulfurique (d = 1.83) 226 \$/t, l'acide nitrique (d = 1.41) 425 \$/t. En ce qui concerne les principaux engrais solides utilisés, le nitrate de potasse coûte 462 \$/t, le nitrate de calcium 364 \$/t, le MAP 242 \$/t, l'ammonitrate HD 148 \$/t, le sulfate de potasse 367 \$/t et le sulfate de magnésie 360 \$/t.

Dans le contexte de production et de consommation de Douiet, le prix de revient de la solution varie de 51.700 à 65.800 Dh (5170 à 6580 \$/ha) selon les années, soit 8 à 10 % du prix de revient de la tomate.

Productivité obtenue

Sur ce plan, la courbe des rendements (Fig.1) montre deux périodes caractéristiques:

- la période 1, qui s'étale de la mise en place du projet en 88 jusqu'à 1998, avec un rendement en progression continue, grâce à l'introduction de nouvelles techniques;
- la période 2 après 1998, avec une variation en dents de scie et une tendance nette à l'absence de progrès supplémentaire sur la productivité.

L'interprétation des résultats sous le seul angle de la fertigation est loin d'être suffisante, même si entre temps, il y a eu de réels progrès sur cette technique. Voici la liste des principa-

les innovations ayant contribué à l'augmentation du rendement, depuis la création du projet, sans qu'il soit possible de faire la part de chacune dans le progrès global constaté:

- Introduction de l'hybride **Daniela** à potentiel plus important pour remplacer **Prisca**;
- Introduction du bourdon pour améliorer la nouaison;
- Amélioration de l'efficacité du système d'irrigation en remplaçant le capillaire par le goutteur (meilleur coefficient d'uniformité) et en réduisant la longueur de la rampe porte/goutteurs afin d'éviter l'hydromorphie en fin de gouttière dans certains secteurs;
- Introduction des serres multichapelles;
- Amélioration de la fertigation;
- Amélioration de la conduite technique.

Ce ne sont là que les techniques intégrées définitivement au processus de production. La liste exhaustive est en fait plus longue et comprend d'autres innovations pour la plupart abandonnées au stade expérimental (production sur laine de roche, sur tourbe blonde, ...) ou retirées peu de temps après, en raison de leur coût exorbitant (chauffage d'appoint à air pulsé, production sur perlite, greffage de plants, ...).

Toutes choses égales, c'est avec le greffage qu'un progrès spectaculaire sur la productivité avait été démontré à Douiet (pic de 300t/ha). Malheureusement, l'investissement requis pour un projet de pépinière sur place n'est pas rentable, en raison de la superficie limitée en tomate dans la région.

La tomate est une espèce originaire des régions chaudes, avec des besoins assez élevés en température pour sa croissance. Tout compte fait, c'est le bilan énergétique qui limite la marge de progrès sur le rendement dans le site de culture. Pour la période concernée par la production de tomate de primeur en vue de l'exportation (novembre à avril), ce bilan est loin d'être favorable même avec le chauffage géothermique. Le nombre de bouquets produits par an est beaucoup plus faible par rapport à d'autres zones comme Dakhla (24 contre 28) à bilan énergétique naturellement très positif du fait d'une température oscillant constamment entre 14 et 28°C, l'hiver comme l'été.

D'une manière générale, les meilleurs rendements notés correspondent aux années climatiques favorables à hiver moins froid, bien ensoleillées et avec moins de problèmes phytosanitaires.

Impact sur la qualité

En ce qui concerne cet aspect, il vaudrait mieux parler de défauts apparents attribuables à la mauvaise nutrition (insuffisance, déséquilibre) ou à l'interaction de la mauvaise nutrition avec d'autres facteurs aggravants tels que l'amplitude thermique, les basses températures nocturnes, la sensibilité variétale, ... que de la qualité au sens de Stevens et du Citfl qui est un concept beaucoup plus large.

Il n'y a jamais eu d'études sur la valeur gustative spécifique de la tomate de Douiet. Mais des études abondantes existent déjà par ailleurs sur le sujet et montrent que sur ce point, les résultats sont plutôt contradictoires et dépendent plus de la variété et de la saison que du mode de culture lui-même. Ils sont tantôt en faveur du plein sol et tantôt à l'avantage de la culture sur substrat.

pH	Granulométrie mm	Calcaire ‰	Ca.éch. meq/kg	CEC meq/kg	Capacité de rétention %	MO ‰	EC mmhos/cm
8.3	3-14	9	304	420	10.4	9	0.10

Par contre, l'apport indéniable à mettre à l'actif de Douiet sur le plan qualitatif est celui du progrès considérable réalisé en matière de lutte intégrée afin de produire pour le consommateur, des tomates faisant appel à très peu de pesticides, sinon sans résidus de pesticides. En 18 ans, on a eu l'occasion de noter toute sorte de défauts qualitatifs signalés sur la tomate: fruit cordiforme, côtelé, collet vert, fissurations, éclatement, ...

Les défauts réels de qualité vécus, parmi ceux qui sont connus pour avoir partiellement comme origine une fertigation inadaptée, sont surtout les problèmes de Blotchy (excès de N, de Ca, insuffisance en K, faible EC,...) au début du cycle, de la tomate creuse (froid couplé à un excès de N, EC faible, K insuffisant, ...), de la tomate molle (EC faible), et très secondairement la nécrose apicale en fin de cycle (EC élevée, insuffisance de Ca, excès de NH₄⁺, de K, de Mg, ..).

Mais dans tous les cas, il n'y a jamais eu de problèmes qualitatifs majeurs à même de compromettre totalement la campagne d'exportation. Souvent, le problème reste passager et lié momentanément au climat de la saison. Sur le plan commercial, la qualité de la tomate produite en hors sol à Douiet a plutôt forgé une bonne réputation à l'étranger et a été même à l'origine de marque devenue très célèbre sur le marché européen.

Impact sur la durabilité du système

La durabilité d'un système hors sol, peut être compromise par l'apparition subite dans la nature, d'agent pathogène dangereux tel que le **Tyloc**. Mais traditionnellement, le risque peut provenir d'une dégradation lente et irréversible du système, notamment des qualités du substrat, même en conditions de conduite normale.

Traitée sous l'angle de la fertigation, la menace sur la durabilité à Douiet, semble surtout liée à une accumulation dangereuse de sel dans la pouzzolane. La réduction de l'espace poral par effritement physique, tassement, accumulation de matière organique racinaire,... a engendré une certaine tendance nette à freiner la bonne circulation des excédents de solution dans les gouttières, d'où d'importants dépôts de sels visibles même à l'œil nu, à la surface du substrat.

La figure 2, donne la réaction de la pouzzolane à la lixiviation de l'excès de sel par lavage à l'eau de Douiet. Le taux de sel du substrat diminue selon un modèle de type puissance. Il faut entre 40 et 60 dm³/mL de gouttière si l'on veut ramener la conductivité, de la valeur atteinte après 17 ans d'accumulation (soit 6.4 mmhos/cm), à la valeur asymptotique de 1.5 mmhos/cm. D'autre part, l'expérimentation montre qu'on n'atteint jamais l'EC de l'eau de lavage (soit 0.65 mmhos/cm) et à plus forte raison celle du substrat à l'état vierge (0.1 mmhos/cm), en procédant à des apports sup-

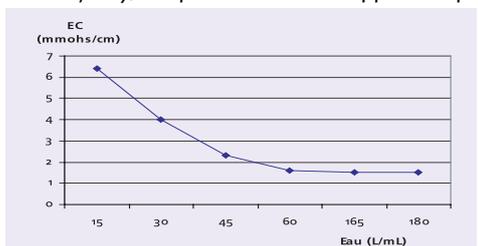


Figure 2: Evolution de la conductivité de la pouzzolane en fonction du volume de lavage à l'eau douce

plémentaires d'eau, vraisemblablement en raison de la valeur élevée de la capacité d'échange cationique (tab. 4).

Au stade actuel, le matériau peut être considéré comme fiable pour une productivité de 220-250 t/ha, à condition de prendre la précaution de rétablir le niveau dans le conteneur en rajoutant chaque année 3 à 5 % pour compenser les pertes sur les côtés et par tassement. Par contre, il est difficile de se prononcer de combien d'années la longévité du système peut être prolongée après ce lavage, quoi que le bon comportement de la tomate laisse présager la possibilité d'en encore utiliser le substrat 4 à 5 années de plus, sans baisse significative de productivité.

La durabilité n'est pas seulement une question de performances agronomiques mais aussi de rentabilité.

Sous cet angle économique de la durabilité, l'enseignement vital à tirer de Douiet pour l'avenir, est la nécessité d'une stratégie à plusieurs scénarios de culture, tous exécutables dans les mêmes installations, mais dont l'un sera réalisé et les autres gardés sous la main, pour faire face aux imprévus du marché. Eu égard au volume des investissements engagés dans ce genre de projet, il ne faudrait surtout pas commettre dans l'avenir, l'aberration du scénario à une seule monoculture et d'attendre de constater l'effondrement des prix, pour commencer à entreprendre la recherche de solutions de rechange.

La figure 3, montre à quel point la rentabilité d'un grand projet, pourtant étudiée avec beaucoup de soins, peut être "zéroisée" peu de temps après sa mise en place, en raison de l'effondrement subite et irréversible du prix sur le marché.

Le prix de 5 Dh/kg prévu pour la tomate ronde (produit numéro 1 considéré dans le calcul initial de rentabilité) n'a été réalisé que les deux premières années. Il a ensuite chuté de façon draconienne obligeant dès 1993 à engager un long processus de diversification (introduction de la pêche précoce à haute densité, du raisin précoce,...), afin de continuer à assurer une rentabilité minimum. Tout s'était passé, comme si l'étude du projet avait été réalisée la veille de grands changements dont il n'avait pas été tenu compte.

Impact sur l'environnement

L'une des interrogations majeures du système de fertigation avec solution perdue est son impact sur l'environnement. En agriculture et en fertigation en particulier, c'est surtout l'azote et le phosphore qui sont mis à l'index en cas d'excès. Le préjudice porté à l'environnement peut être la dégradation de la qualité de l'eau si celle-ci est destinée à un usage domestique ou en le phénomène d'eutrophisation aboutissant à la formation de marées vertes, d'eaux colorées,...voire à la dégradation du milieu

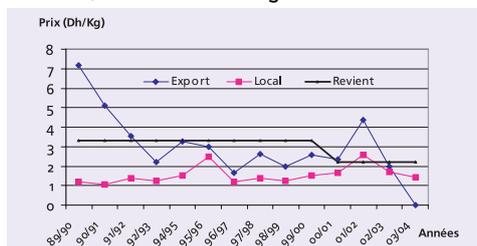


Figure 3: Evolution du prix de la tomate ronde en fonction des années à Douiet

Tableau 5: Concentration en fertilisants des eaux de drainage en provenance des serres (ppm)

Eléments	NO ₃	P	K	Mg	Ca	Na
Concentration (ppm)	650	25	250	45	110	60



aquatique par prolifération algale, désoxygénation et production de toxines.

A Douiet, il ne peut y avoir d'impact significatif dans l'état actuel des choses, du fait qu'on est en présence d'un projet unique parfaitement isolé. Les masses absolues de substances en NO₃ et en P drainées par les caniveaux des serres sont très faibles (soit resp. 0.57 et 0.20 kg/ha/j). Le risque aurait été tout naturellement différent si la région était partout parsemée de ce genre de projets avec rejet systématique de fertilisants dans le réseau hydrographique, sans transit par le lagunage.

D'autre part, il ne faudrait pas oublier que le drainage coïncide avec la période hivernale caractérisée par des vagues de pluie importantes. D'où des concentrations en fin de compte infinitésimales (par effet de dilution), eu égard aux côtes d'alerte décrétées par les divers organismes dont l'OMS (50 ppm de NO₃ pour les sources destinées à l'eau potable).

Dans les puits superficiels limitrophes (<30m), l'analyse réalisée à l'occasion de cette étude, montre des concentrations de l'ordre de 30 mg/L. Mais ce résultat ne peut être interprété comme étant la conséquence des rejets azotés en provenance de l'hors sol. D'une part, en raison de l'absence de témoin d'avant projet et d'autre part, du fait de la présence dans le voisinage d'autres sources de pollution diffuse comme les étables, le maraîchage plein sol, la grande culture ...

Le risque des effluents agricoles n'est réel que si ceux-ci empruntent le cycle habituel de pollution. Douiet est le site type où l'on peut faire de l'hors sol un système risque zéro pollution sur l'environnement en recyclant le drainage pour fertiliser la grande culture dans les pivots à côté. Ce qui suppose un bassin d'accumulation équipé de géomembrane pour empêcher toute entrée directe des sels polluants dans le cycle de pollution et d'eutrophisation ■.

Aït Houssa A¹, Nougla El², Oualili H²,
Chtaibat Y², Chaddad A.²

¹Ecole Nationale d'Agriculture de Meknès
²Domaine Agricole de Douiet

Les auteurs remercient vivement Mme Rajaa Saida, de la Direction des Domaines Agricoles, pour sa collaboration active lors de la rédaction de cet article.