

Formation des formateurs sur les bonnes pratiques agricoles (BPA) du Chou de qualité

1. CONTEXTE / JUSTIFICATION

La culture du chou est très pratiquée dans la zone des Niayes notamment par les producteurs de l'AUMN qui ont assuré une production de 14 490 tonnes lors de la campagne 2007/2008. Cependant, La production de chou est cependant confrontée à plusieurs contraintes telles que la forte pression des parasites, principalement la teigne et le borer du chou mais également les champignons. En conséquence, les producteurs enregistrent des pertes qui peuvent atteindre 80 % de la production (source ISRA). De cette production décimée, seulement 50% des choux sont généralement de qualité exportable à cause du non respect des normes sanitaires et phytosanitaires selon la même source. En outre, les producteurs de chou dans les Niayes sont confrontés à un problème de saisonnalité de la production, ce qui influe fortement, mais également à la conservation qui est difficile.

Pour apporter des solutions à ces nombreuses contraintes, les producteurs abusent des produits chimiques, ce qui engendre des conséquences néfastes sur eux d'abord et puis sur les consommateurs du chou et sur l'environnement. Des études faites par l'ISRA en 2011 dans le cadre du projet de réduction des risques liés à l'utilisation des produits phytosanitaires en cultures maraichères dans la zone des Niayes ont montré que :

- le chou constitue la deuxième spéculation produite dans les zones Sud et centre des Niayes, après l'oignon et avec 20,7 % des emblavures;
- les principaux produits chimiques utilisés par les producteurs sur le chou (telles que le tamaron, le diméthoate, le lannate et le conquest) sont très dangereux (classe OMS1b) et ne sont plus autorisés par le Comité Sahélien des Pesticides ;
- des herbicides (Arsenal, Blast) quoique peu dangereux, sont utilisés pour le contrôle des insectes et maladies ;
- les traitements phytosanitaires appliqués ne sont pas souvent appropriés pour lutter contre des ravageurs bien identifiés, avec des symptômes manifestent;
- les producteurs méconnaissent les techniques de protection des cultures et les normes d'utilisation sécurisée des pesticides ;
- la gestion des ravageurs dans les Niayes serait ainsi essentiellement basée sur une approche de traitement prophylactique individuel et non sur une approche intégrée à l'échelle zonale où l'usage des produits constituerait un dernier recours indispensable.

L'importance de la culture du chou et des problèmes sanitaires et phytosanitaires liés à sa production nécessite un renforcement des capacités des producteurs, pour une meilleure atteinte des objectifs poursuivis par le projet. C'est ce qui justifie cette formation des formateurs sur les bonnes pratiques agricoles (BPA) du Chou de qualité.

Type de formation : Théorique qui sera suivi de séances de démonstrations sur le terrain des séances de démultiplications

Date : 08/juillet au 13 juillet

Durée : 06 jours

Lieu : Thiès

Formateur : ANCAR Thiès

2. OBJECTIFS

2.1 Objectif global

Cette formation a pour objectif de contribuer aux renforcements des capacités techniques des techniciens de l'AUMN sur l'itinéraire technique du chou, sur la fertigation en micro-irrigation et les BPA pour la production du chou de qualité dans la zone Niayes

2.2. Objectifs spécifiques de la formation

Les objectifs spécifiques poursuivis lors de la formation des formateurs étaient : Il s'agit plus spécifiquement de renforcer les capacités des techniciens sur :

- une meilleure maîtrise des itinéraires techniques du chou
- une amélioration des connaissances sur la micro-irrigation et la fertigation du chou ;
- une bonne maîtrise de la protection phytosanitaire et l'usage sécurisé des pesticides ;
- augmentation des compétences sur les opérations de récolte et post-récoltes du chou.

3. METHODOLOGIE

La formation a été théorique avec des présentations sur les thèmes abordés suivi de contribution et de discussion. Un tableau padex et des marqueurs et un vidéo projecteur ont été utilisés comme matériel. Elle s'est tenue pendant six jours à Thiès

Le budget global de formation est de 3 100 000 F CFA. L'origine du financement est de l'AUMN qui était demandeur de cette formation pour renforcer la capacité des ces techniciens

3. RESULTATS

Les résultats suivants ont été obtenus à la fin de la formation :

- les capacités des techniciens sur les itinéraires techniques, la micro irrigation et la fertigation du chou sont renforcées ;
- les capacités des techniciens en protection phytosanitaire du chou et en usage sécurisé des pesticides sont renforcées ;
- les techniciens sont sensibilisée sur la gestion intégrée des ravageurs du chou comme une approche globale ;

- les capacités des techniciens sur les techniques de récoltes et post récoltes sont renforcées.
- La démultiplication sera effectuée par les techniciens renforcés

CONTENU DE LA FORMATION

- ✓ Généralités sur le maraîchage
- ✓ Généralités sur le chou
- ✓ Itinéraires technique du chou (fiche technique revisitée)
- ✓ La gestion des ravageurs du chou en milieu paysan
- ✓ Les bonnes pratiques agricoles en maraîchage en particulier sur le chou
- ✓ l'Usage sécurisé des pesticides
- ✓ Généralités sur la micro-irrigation
- ✓ La gestion et le pilotage du Goutte à goutte
- ✓ Le calcul des besoins en eaux

DIFFICULTES RENCONTREES

Rien à signaler

APPRECIATIONS GENERALES

Satisfaction des bénéficiaires et des formateurs.
Beaucoup d'échanges fructueux

Annexes

ANNEXES 1

PROTCOLE D'EXCECUTION DU PROJET TCP MICROIRRIGATION A BASSE PRESSION.

-----000-----

OBJECTIF : optimiser les productions agricoles dans des conditions de faibles ressources en eaux.

Après l'installation des grands kits et des petits kits d'irrigation, il est souhaité avec l'appui des techniciens des différentes zones d'étudier (grand et petit kit) les paramètres suivants :

- ❖ 1 Détermination de la largeur réel du font d'humectation dans les 2 systèmes (grand et petit kit).
- ❖ 2 Identifier en collaboration avec les bénéficiaires et par ordre chronologique les spéculations maraîchères envisagées pour cette présente campagne : les 2 de contre saison fraîche et celle d'hivernage
- ❖ 3 Retenir une densité de plantation ou de semis (suivant que l'espaces est semée en pépinière ou en semis direct) qui doit être la même pour la partie du kit et du témoin. Pour cela une densité à titre indicatif est mentionnée dans le tableau 2.
- ❖ 4 Semer les pépinières en tenant compte de la période d'installation du kit des quantités de semence préconisées par le tableau 1 des prévisions et de la superficie cumulée du kit et du témoin de même surface.
- ❖ 5 Déterminer les dimensions et le nombre des planches de la parcelle témoin.
- ❖ 6 Préparer le témoin pour la comparaison des traitements ; noter que hormis l'irrigation, tous les autres paramètres devront être les mêmes (densité de semis ou de plantation ; date de repiquage, traitements phytosanitaires préventifs, nombre d'unités fertilisantes, amendement organique...).
- ❖ 7 L'engrais 10 - 10 - 20 sera utilisé dans les parcelles témoin ; dans les kits ce seront le DAP(en fond) et le nitrate de Potasse(en fertigation de couverture) qui seront de règle. (les quantités correspondantes sont mentionnées dans les tableaux 1 et 2 de prévisions en intrants ci dessous).Noter que le nombre d'unités fertilisantes est le même dans les 2 parcelles.
La raison c'est que dans les kits seuls les engrais solubles peuvent être utilisés en fertigation ; le 10- 10- 20 étant la fumure minérale vulgarisée par la recherche.
- ❖ 8 Des documents de suivi quotidien des itinéraires techniques (dates de semis, repiquage, traitements, etc...) seront déposés au niveau de chaque bénéficiaire; et les

techniciens veilleront au respect du bon remplissage de ces documents(cahiers ou journaux techniques). Ceci sera déterminant pour la synthèse des résultats du projet.

- ❖ 9 Mettre si possible de la matière organique dans les mêmes proportions dans les 2 parcelles.
- ❖ 10 Déterminer les doses d'irrigation pratiquées par les bénéficiaires dans les parcelles témoin, de même que les fréquences et le temps d'arrosage. (nombre d'arrosoirs de 10litres/ planche etc..).
- ❖ 11 Noter dans les documents de suivi les différents types de maladies ou ravageurs présents sur les parcelles, et les traitements éventuels effectués.
- ❖ 12 Observer et noter également les dates d'apparition des critères phénologiques ci après en comparaison dans les 2 parcelles :
Noter que ces critères technique doivent être notés par les techniciens avec la complicité des paysans bénéficiaires.
 - % de reprise après repiquage (après une semaine)
 - Hauteur des plants à 2 mois après semis ou repiquage
 - Date de floraison
 - Date début récolte
 - Vigueur de l'ensemble des plants suivant un indice de 1 (plants mourrant) à 5 (végétation luxurante) à 2 mois après semis ou repiquage.
 - Rendement total
 - % de fruits commercialisables
 - Durée du cycle cultural.

Tableau 1 : prévision en intrant pour les différentes spéculations maraîchères retenues dans le cadre du projet.

Spéculation	quantité de semences (kg) par ha	quantité d'engrais/ha pour les Kits (Kg)		quantité de fumier(T/ha)	Durée de la fertigation en jours	Début de la fertigation (jours après semis).
		DAP	KNO3			
Tomate	0.350	300	546	20	60	45
Pomme de terre	2500	175	341	15	40	30
Chou	0.700	155	345	20	50	45
Piment	0.350	300	550	20	100	45
Diakatu	0.350	225	455	15	80	45
Aubergine	0.350	300	546	20	90	45
Concombre	2.5	225	455	25	60	30

Haricot	50	115	230	15	50	20
Carotte	5	225	455	15	60	20
poivron	0.5	300	546	20	80	45
Gombo	4	135	275	20	50	20
Courgette	4.5	225	455	20	40	20
Arachide	45-50	180	365	20	35	15
Oignon	4-5	225	455	20	50	15
Pastèque	3-4	100	250	20	30	20

NB :

- une boîte d'allumette de KNO₃ à ras pèse 25 grammes.
- Pour avoir la dose journalière de fertigation il faut diviser la quantité totale de KNO₃ par la durée totale en jours de la fertigation par ex : pour la tomate $546/60 = 9.1\text{kg/ha}$ et par jour

Tableau 2 : Synthèse des densités et des doses d'engrais pour les parcelles témoin.

Spécifications	Densité en mxm	Quantité de 10-10-20 correspondante pour les témoins(Kg/ha)
Tomate	0.5x0.5	1200 : dont 200 en fond et 250 à 15, 30, 50 et 80 jours après repiquage(AR).
Pomme de terre	0.6x0.3	750 : dont 250 en fond et 250 à 20 et 50 jours après plantation
Chou	0.35x0.4	700 : dont 300 en fond et 200 à 20 et 35 jours AR.
Piment	0.5x0.5	1200 : dont 400 en fond et 200 à 20, 40, 60 et 80 jours AR.
Diakatu	0.6x0.4	1000 : dont 200 en fond et 200 à 20, 40 60 et 80 jours AR.
Aubergine	0.5x0.75	1200 : dont 200 en fond et 250 à 20, 40, 60 et 80 jours AR.
Concombre	1.5x0.5	1000 : dont 250 en fond et 250 à 4, 6, et 8 semaines après semis (AS)
Haricot	0.4x0.1	500 : dont 200 en fond et 150 à 20 et 40 jours AS.

Carotte	0.2x0.01	1000 : dont 400 en fond et 300 à 20 et 40 jours AS.
Poivron	0.5x0.4	1200 : dont 400 en fond et 200 à 20, 40, 60 et 80 jours.
Gombo	1 x 0.4	600 dont 0 en fond et 200 à 30, 50, et 70 jours AS.
Courgette	1 x 0.75	1000 dont 250 en fond et 250 à 4, 6 et 8 semaines AS.
Arachide	0.5 x 0.2	800 dont 300 en fond et 250 à 20 et 40 jours AS.
Oignon	0.2x0.1	1000 dont 250 en fond et 250 à 20, 40 et 60 jours AR.
Pastèque	2 X 0.75 - 1.5	500 dont 250 en fond et 250 à 40 jours AS

NB :

- La densité doit être la même du point de vue nombre de plant/m² pour le kit et pour le témoin.
- Cette densité indicative peut être modifiée et adaptée suivant les différentes zones .

FICHE TECHNIQUE
CHOU
Brassica oleracea

DESCRIPTION

- Famille des Brassicacées
- Origine : Europe.
- Plante bisannuelle. - Faculté germinative : 5 à 6 ans.
- Levée en 10 à 15 jours.

EXIGENCES

- Sol frais, bien travaillé, fumé.
- Ph : 5,6-6-5.
- Exposition : ensoleillée.
- Très rustique (supporte des températures jusqu'à moins 15 degrés).

FERTILISATION

- Au bêchage d'automne précédant la culture, pour 10m², apporter 30 à 50kg de fumier et du compost bien mûr à la plantation ou 1kg d'engrais complet « légumes » (formule 4-12-20 ou approachante). Compléter par un apport de 60 à 80g de soufre. Pour les semis de printemps et d'été, apporter en deux fois 200g de nitrate de soude juste après la plantation, puis un mois plus tard.
- Réduire de 20% ces apports pour les choux hâtifs semés à l'automne et pour les choux tardifs.
- Pour les choux de Bruxelles, pas de fertilisation avant la culture.

SEMIS

- Semer en pépinière à la volée ou en lignes espacées de 10cm.
- Semer en surface, environ 1 gramme par m² de pépinière.

REPIQUAGE

- En pépinière lorsque les plants ont trois feuilles.
- Repiquer à 15cm de distance en tout sens.
- Enfoncer la base des premières feuilles à 2-3cm dans le sol
- Borner soigneusement et arroser.

PLANTATION

- A l'aide d'un plantoir, enfoncer les plants profondément dans le sol au fond de raies profondes de 10 à 12cm, qui seront ensuite comblées lors des binages.
- Borner énergiquement et arroser.
- Espacer les plants selon l'époque de culture : 35 à 40cm en tous sens pour les choux de printemps, 50 à 65cm en tous sens pour les choux d'été-automne-hiver à développement moyen, 80cm en tous sens pour les choux d'hiver à gros développement.

CULTURES ASSOCIEES

Associer avec : betterave, carotte, céleri, épinard, thym, romarin, sauge et menthe.
Eloigner de : fenouil, fraisier, échalote et oignon.

ENTRETIEN

- Maintenir le sol propre par de légers binages superficiels jusqu'à ce que les feuilles aient couvert le terrain.
- Effectuer les apports de nitrate de soude (voir « Fertilisation »).
- Maintenir le sol humide par des arrosages réguliers. Surveiller les attaques

ANNEXES 3

FICHE TECHNIQUE EN AGRICULTURE BIOLOGIQUE CHOU POMMÉ

(Chou pommé cabus blanc, chou cabus rouge, chou de Milan)

Brassica oleracea cv. *capitata* L. var. *alba* D.C.

Brassica oleracea cv. *capitata* L. var. *rubra* D.C.

Brassica oleracea cv. *capitata* L. var. *sabauda* L.

BRASSICACEES

(famille du chou chinois, du chou rave, du chou de Bruxelles, du rutabaga, de la moutarde, du raifort, du radis, du navet, du cresson, etc...)

ORIGINE ET DESCRIPTION

Issu de l'espèce sauvage *Brassica oleracea*, le chou pommé est originaire de la région méditerranéenne, dans sa partie qui débordé sur le domaine atlantique (côte de l'Europe du nord-ouest).

Le chou est une plante bisannuelle composée d'une tige ligneuse, assez courte par rapport à celle de certains cultigroupes voisins sans tubérisation (chou fourrager, chou de Bruxelles ou chou frisé), feuilles très serrées, imbriquées les unes dans les autres sur la partie supérieure de la tige pour former la « pomme », partie comestible, organe qui subit en quelque sorte une tubérisation. Chez le chou pommé, la floraison, qui est sous la dépendance des jours longs et des températures élevées, n'interviendra qu'après la phase de vernalisation pour laquelle la somme de froid requise sera variable selon les cultivars.

La pommaison confère à la plante, d'une part une bonne résistance au froid et aux gelées de moyenne intensité, et d'autre part une assez bonne capacité de conservation après récolte.

EXIGENCES PEDOCLIMATIQUES

Le chou pommé présente une grande capacité d'adaptation au climat, mais son aire de prédilection reste les régions côtières à humidité atmosphérique élevée. Sa bonne résistance au froid au stade de jeune plante comme au stade de la « pomme » (en particulier chez le chou de Milan) autorise sa culture en zone continentale pour une récolte de fin d'automne ou de début d'hiver ainsi que l'implantation de sa culture en contre-saison pour une recherche de précocité.

La germination de la semence intervient à partir de 5°C (optimum à 15-18°C). La température minimale pour l'élevage des plants en pépinière se situe aux environs de 8°C.

Au regard de son puissant système racinaire à la fois pivotant et ramifié, le chou pommé apprécie les sols profonds, limono-argileux et les fumures organiques importantes. Il est important, pour des raisons sanitaires – en particulier pour une moindre sensibilité à *Plasmodiophora brassicae* et aux carences minérales – que les sols aient un pH > 6 associé à une teneur en calcium soluble assez bonne.

Le chou pommé est tolérant à la salinité et au chlore mais exigeant en soufre. Il craint les carences en molybdène et en magnésium ainsi que les excès de cuivre.

PLACE DANS LA ROTATION

Légume essentiellement de plein champ, le chou peut suivre une céréale ou précéder une céréale ou une pomme de terre. Un retour du chou tous les trois ans minimum sur la même parcelle est recommandé.

Un engrais vert en dérobée, à base d'une association graminée/légumineuse (proscrire les Crucifères fourragères), est vivement recommandé : broyer et incorporer superficiellement un

mois et demi avant plantation – avec aspersion pendant ce laps de temps s’il ne pleut pas - et réduire la dose de compost apportée en fumure de fond de 5 tonnes environ si le niveau de fertilité du sol est correct et si la masse d’engrais vert est très importante.

Le chou pommé fait d’importants prélèvements dans le sol et doit donc être abondamment fumé : on peut le positionner en 1ère position derrière une fumure organique importante.

TYPES VARIETAUX

Dans chacun des deux groupes de chou pommé, la classification des variétés est réalisée selon la morphologie de la pomme et de la saison à laquelle interviennent la culture ou, mieux, la récolte sans artifice de culture. La liste suivante n’est pas exhaustive :

Chou cabus dit blanc ou rouge

Toutes les variétés de ce type de caractérisent par des feuilles lisses.

VARIETES DE PRINTEMPS ET DE DEBUT D’ETE :

- pomme pointue : PRECOCE DE LOUVIERS, PROSPERA... ; variétés à hiverner :

COEUR DE BOEUF, POINTU DE CHATEAURENARD, DUNCAN, SCOUT.

- pomme ronde ou cordiforme, à feuillage blanc : FARAO, PAREL, BACALAN DE ST BRIEUC, MARCHE DE COPENHAGUE, DELPHI, DUMAS, TETE DE PIERRE ; ou à feuillage rouge : INTRO, MAESTRO, PRIMERO, ROUGE HATIF DE LANGENDIJK, RUBY

BALL, VOROX...

VARIETES D’ETE ET DE DEBUT D’AUTOMNE :

- feuillage blanc : HIDENA, PICADOR, CASTELLO, CORTINA, MINICOLE, ERDENO, HERMES, PREVALENT... ; variétés de garde : , MORGAN, KILOR, SLAWDENA (cycle très long), LENNOX, CAID.

- feuillage rouge : RODEO, SOMBRERO, LECTRO, AUTORO, GRADUR, ROUGE TETE DE NEGRE... ; variétés de garde : ROXY, HUZARO

VARIETES DE FIN D’AUTOMNE ET D’HIVER :

- feuillage blanc : WINTERDUKE, BARTOLO, BENTLY, BINGO, BIRLET, CELSA, DELUS, GALAXY, HIDENA, IMPALA, MARATHON, QUARTZ, TARDIF DE LANGENDIJK ; pour la choucroute : ALMANAC, ATRIA, BEPTOR, BOULE D’OR, MEGATON, NEVROPA, QUINTAL D’ALSACE, STRICKTON, TRANSAM...

- feuillage rouge : CASTELLO, PEDRO, RADIMA, RONA, ROXY.

Chou de Milan (type à feuilles gaufrées ou cloquées) dit chou frisé

- variétés d’été : SAPALA, SALTO, SCALA, SAVOY KING...

- variétés d’automne : CONCERTO, FIRENSA, HAMASA, HATIF D’AUBERVILLIERS, NOVUSA, REGLO, ... récoltés à l’automne.

- variétés d’hiver : ALASKA, HIVERSA, ICE PRINCE, DE PONTOISE, TASMANIA, TERESA, WINTESSA, WIROSA, WIWOY...

1 Certains maraîchers n’utilisent que des légumineuses (vesce) en raison des risques de repousses des Graminées

En 2001, les variétés disponibles en Agriculture Biologique sont les suivantes :

Chou pommé blanc : ALLFRUH (Voltz), LAGERWEISS (Voltz), PRECOCE DE LOUVIERS (Germinance),

QUINTAL D’ALSACE (Germinance), D’HIVER DE BRUNSWICK (Germinance), DE NOËL

ARDOISE (Germinance), DOTTFELDER DAUER (Germinance), DE VAUGIRARD D’HIVER (Germinance).

Chou rouge : LAGERROT (Voltz).

Chou de Milan : VORBOTE (Voltz), DE PONTOISE (Germinance).

PREPARATION DU SOL ET FUMURE DE FOND

Le travail du sol s'effectue selon la stratégie de chaque exploitation, mais dans tous les cas, il doit faire l'objet de la plus grande attention et de la plus grande rigueur. Il est souhaitable d'apporter 15 à 25 t/ha de compost avant la plantation, ou mieux avant l'engrais vert qui précède la culture du chou.

INSTALLATION DE LA CULTURE

Elle est réalisée par semis en pépinière de pleine terre – après solarisation ou faux semis et brûlage -

ou en motte², puis plantation au champ. La plantation a lieu 4 à 8 semaines après le semis, lorsque les plants présentent 4 à 6 feuilles vraies insérées sur une tige qui, à ce stade, a un diamètre de 5 mm. Protéger

par un filet anti-insectes type Filbio ou Euronet (altises, chenilles, mouches...)

Semis Plantation

Chou de printemps A hiverner : mi-sept. à début oct.

De printemps : janv. – févr.

A hiverner : oct. à mi-nov.

De printemps : mars à mi-avr.

Chou d'été et d'automne Fin avril à mi-mai

Automne de garde : fin avril

Fin mai

Chou à choucroute Mars-avril Mai

Chou d'hiver Fin mai à mi juin Fin juin

Chou de Milan Fin mai Fin juin

La densité varie de 25 000 plants/ha à 60 000 avec des distances de 40 à 65 cm entre rangs et de 40 à

65 cm sur le rang. L'implantation d'un hectare de culture nécessite 300 m² de pépinière (250 plants/m²). Pour un semis suivi d'un repiquage, il faut 350 g de semence/ha.

CONDUITE DE LA CULTURE

Fumure de couverture

La fumure préconisée pour une culture de chou est détaillés dans le tableau suivant (en unité/ha) :

Azote Phosphore Potasse

Chou de printemps 200-250 60-80 150-200

Chou d'été ou d'automne 150-120 80-100 180-250

Chou à choucroute 150-200 80-100 200-300

Eventuellement, si le niveau de fertilité du sol l'exige, en complément du compost épandu en fond, et éventuellement de l'engrais vert broyé et incorporé à l'avance, on pourra apporter l'une des deux fumures suivantes :

2 Attention : le terreau utilisé doit porter la mention « Utilisable en Agriculture Biologique » et indiquer les références d'un organisme certificateur

- 750 à 1500 kg/ha d'un engrais organique équilibré de type 6-3-13, à base d'azote rapidement minéralisable (guano, farine de plume) et 750 à 1500 kg/ha d'un engrais de type 6-3-11 à base d'azote plus lent (tourteau de ricin). Cet apport sera effectué juste avant la plantation.

- 1500 kg/ha d'un engrais organique équilibré de type 6-3-13 ou 6-3-11, à base d'azote rapidement minéralisable (guano, farine de plume). Cet apport sera effectué un mois après la plantation

De plus, si les teneurs du sol en potasse se révèlent très faibles après analyse, on pourra apporter 200

kg/ha de patentkali (sous forme sulfate : 30 % de potasse et 8 % de magnésium). Dans tous les cas, il faut rechercher une fertilisation équilibrée, les manques comme les excès ayant des conséquences très néfastes. Le chou est exigeant en soufre (comme toutes les plantes de cette famille), mais le fumier et la matière organique du sol pourvoient généralement aux besoins. L'utilisation de patentkali permet d'apporter du soufre (sous forme de sulfates), de même que les engrais du commerce dont la potasse provient du patentkali.

Pour le bore, on vérifiera que la teneur du sol est d'environ 0,5 o/oo voire 0,7 o/oo. En cas de manque, on pourra utiliser des compléments du commerce. Concernant le molybdène, un engrais vert à base de légumineuse peut s'avérer intéressant, car ce type de plantes utilisent le molybdène pour fixer l'azote atmosphérique : leur dégradation en restituera une quantité suffisante dans les premiers centimètres du sol.

SYMPTOMES DE CARENCES ET D'EXCES

Feuilles vert clair, faible développement de la « pomme » Carence en azote

Feuilles vert clair, « pomme » peu serrée, mauvaise conservation Excès d'azote

Les pointes de feuilles rougissent Carence en phosphore ou effet du froid

Feuilles vert foncé avec nécroses marginales, mauvaise conservation des « pommes » Carence en potassium

Feuilles gaufrées de teinte claire, croissance réduite Carence en bore

Feuilles allongées et peu développées, port vertical, nervure centrale très Développée Carence en molybdène

Chlorose entre les nervures Carence en manganèse « Brunissure interne » ou « decomposition interne » (chou à choucroute) ; plus la récolte est tardive, plus la dépréciation est importante Carence en calcium, liée à un excès d'azote et à une mauvaise alimentation en eau

Irrigation

Pendant les périodes de formation et de croissance de la « pomme », les apports doivent être réguliers.

Des à-coups dans l'élaboration de la « pomme » favorisent la vernalisation de la plante et l'éclatement

de la « pomme ». Un stress hydrique pendant une phase de croissance rapide provoque parfois la nécrose marginale des feuilles (tipburn), plus ou moins marquée selon les variétés.

DESHERBAGE

L'enherbement de la culture est maîtrisé par les binages mécaniques des rangs et inter-rangs (bineuse en général, voire herse-étrille lorsque les plants sont encore petits). Il est également possible de protéger le rang par la mise en place d'un paillage plastique ou tressé (type Mypex ou Reviron). Le binage

des allées sera effectué mécaniquement. On veillera particulièrement au nettoyage des abords de parcelle, fossés, talus.

Remarque : la bineuse à doigts Kress donne de bons résultats sur le rang.

ANNEXE 4

FICHE TECHNIQUE CHOU

Variétés conseilles

Les variétés fixées : Marché de Copenhac

Hybrides F1 : Trpicacross

La pépinière

Pour 100 m² de culture

- Semer 2 m² de pépinière à raison de 3 g de semences au m², soit 6g de semences
- Semer sur des lignes distantes de 10 cm à raison d'une graine tout les centimètres sur la ligne
- Semer dans de petits sillons à une profondeur de 8 mm ;
- Apporter de la fumure de fonds pour la pépinière ;
 - ✓ Fumier bien décomposé : 2kg/m²
 - ✓ 10-10-20 : 40g/m²
- Irriguer la pépinière à raison de 6l/m²

La culture

- Repiquer les jeunes plants de choux saints, vigoureux au stage de 3 à 5 feuilles (environ 4 à 5 semaines après semis)
- Repiquage préconisé sur des planches de 1,2m
 - ✓ Ecartements 40 X 40 m pour avoir de grosse pommes
 - ✓ Ecartements 30 x 30 m pour avoir de petites pommes
 - ✓ Ecartements 35x35 m partout voir une moyenne entre les deux pour des pommes moyennes 40X
- Nombres de plants pour 100m² de cultures
 - ✓ Pour les écartements 40 X 40 m : 625 plants
 - ✓ Pour les écartements 30 x 30 m : 1100 plants
 - ✓ Pour les écartements 35x35 m partout : 815 plants
- Taux d'occupation du terrain par la culture : 60 à 80 jours
- Pré-irrigation avant le repiquage : 20l/m²
- Fumure de fond
 - ✓ Fumier bien décomposé : 10t/ha
 - ✓ 10-10-20 : 300 kg /ha
- **Fumures d'entretien**
 - ✓ 200 kg/ha à 20 JAR
 - ✓ 200 kg/ha à 35 JAR
- Remplacement des plants qui n'ont repris 5 JAR
- Faire un sarclo -binage régulier pendant la culture jusqu'à la couverture du sol par les plantes
- **Les récoltes peuvent se faire sur 2 à 3 semaines**

ANNEXE 5

La Conduite et le Pilotage de L'Irrigation Goutte à Goutte en Maraîchage

Introduction

Durant ces dernières décennies, certaines zones de productions maraîchères ont souffert du manque d'eau, dû principalement à la sécheresse et à la surexploitation de la nappe phréatique. Cette rareté de l'eau rend presque impossible l'irrigation en maraîchage en sols sablonneux par le système gravitaire, d'où l'intérêt porté sur l'utilisation de l'irrigation localisée (appelée aussi le "goutte à goutte"). D'autres zones par soucis de gestion de l'eau ont suivi les pas des premiers dans la pratique du goutte à goutte

L'irrigation goutte à goutte des cultures maraîchères gagne une importance dans notre pays même je ne connais des statistiques liées à ces types d'irrigation. Le développement de l'irrigation localisée des cultures maraîchères et d'exportation et industrielles a induit une extension de ce type d'irrigation au maraîchage de saison et à la culture du chou.

L'irrigation localisée est caractérisée par un apport d'eau localisé, fréquent et continu utilisant des débits réduits à de faibles pressions. Seule la fraction du sol exploitée par les racines est continuellement humectée. Le réseau d'irrigation est composé d'une station de tête qui comprend les systèmes de filtration et d'injection ainsi que des accessoires relatifs à la régulation de pression et à la protection du système, et d'un réseau de distribution. Celui-ci est composé de conduites d'amenée et de secteurs d'irrigation. Chaque secteur est contrôlé par une vanne et comprend des gaines ou des rampes portant des distributeurs. Les rampes sont branchées sur un porte rampe (ou antenne).

Le goutte à goutte permet une économie de l'eau (50 à 70 % par rapport au gravitaire et 30% par rapport à l'aspersion) et une utilisation de la fertigation. Il contribue à une augmentation des rendements, de l'ordre de 20 à 40%, et à l'amélioration de la qualité des productions maraîchères. Ce système de ferti-irrigation localisée assure une meilleure efficacité de l'utilisation de l'eau et des engrais entraînant ainsi une réduction des pertes de solutions nutritives par lessivage et par conséquent une diminution de la pollution des nappes phréatiques par les engrais. Par rapport aux autres systèmes d'irrigation, le goutte à goutte permet une baisse des dépenses en énergie utilisée dans le pompage, une réduction du coût de la main d'œuvre impliquée dans les opérations de l'irrigation et de la fertilisation, et une baisse des quantités d'eau et d'engrais utilisées.

Cet apport d'eau continu et localisé en bande, obtenue par le goutte à goutte en maraîchage, permet une réduction de l'évaporation, une diminution de la percolation de l'eau, une atténuation des effets du vent chaud et sec sur la culture, une meilleure conservation de la structure du sol, un accès facile aux parcelles pour la réalisation des différentes opérations culturales, et une réduction des mauvaises herbes. Ce système permet aussi d'exploiter des champs à topographie et configuration irrégulières, des sols lourds qui se fissurent en été, et des sols légers filtrant à forte percolation. La fréquence élevée des arrosages permet une dilution des sels présents dans la solution du sol sous le distributeur et un maintien des sels à la périphérie du bulbe humecté.

Pour une utilisation efficace de l'irrigation goutte à goutte, on doit maîtriser la technique de conduite d'un réseau d'irrigation bien conçu et correctement installé. Ce mode de conduite doit tenir compte du risque potentiel posé à ce système, à savoir le problème de colmatage ou de bouchage des distributeurs. En effet, le colmatage entraîne une mauvaise répartition de l'eau dans le sol ce qui affecte la croissance et le développement des plantes. Beaucoup des exploitations micro-irriguées souffrent de ce problème. En vue de lutter préventivement contre ce problème, des techniques pratiques de conduite et de pilotage de l'irrigation goutte à goutte sont proposées. Pour bien illustrer ces techniques, on prendra comme exemple la conduite des irrigations dans une exploitation de tomate industrielle située sur un sol limoneux dans le Gharb.

Éléments de l'étude de dimensionnement nécessaires à la conduite de l'irrigation

Les éléments issus de l'étude du dimensionnement du réseau d'irrigation localisée de l'exploitation choisie portent sur les caractéristiques de la source d'eau, de la culture, du sol et du matériel d'irrigation. Ces informations doivent être disponibles à tout moment pour les utiliser en cas de contrôle ou de problèmes de conduite de l'irrigation. La superficie de l'exploitation de tomate prise comme exemple est de 10,4 ha. Sa longueur est de 595 m et sa largeur est de 175 m. L'étude a défini un nombre de secteurs d'arrosage (N_s) de 8. Chaque secteur a une superficie $S_s = 1,2$ ha dont la longueur $L_s = 145$ m et sa largeur $l_s = 83$ m.

Données sur la source d'eau

La source d'eau est constituée par un forage situé en tête de l'exploitation, dont le débit d'eau (Q_s) est de 48 m³/h. La durée (d) de fonctionnement du pompage de l'eau à partir de ce forage est de 16 heures par jour. Le volume d'eau (V) disponible pendant une journée est $V = Q_s \times d = 48 \times 16 = 768$ m³/jour.

L'eau pompée est chargée en sable d'où le choix d'un système de filtration composé d'un hydrocyclone et d'un filtre à disques. L'eau a un pH de 7,6 et un niveau en ion bicarbonate (HCO_3^-) de 5 meq/l. Cette eau n'est pas saline et ne contient ni algues ni bactéries.

La pression de l'eau à la sortie du forage et à l'entrée de la station de tête est de 3,1 bars. Le matériel d'injection d'engrais est un venturi qui travaille avec une pression d'entrée de 2,8 bars et une pression de sortie de 2,2 bars. La pression à la sortie de la station de tête doit être au minimum de 2,2 bars. La pression à l'entrée du secteur doit être de 1,2 bars.

Caractéristiques du matériel d'irrigation

Chaque ligne de tomate est irriguée à partir d'une rampe d'une longueur $L_r = 36$ m portant des goutteurs espacés de 0,25 m (E_g) et ayant un débit $D_g = 1,5$ l/h à une pression d'un bar. Le nombre de goutteurs par rampe $N_g = L_r/E_g = 36/0,25 = 144$. Le débit de la rampe $D_r = N_g \times D_g = 144 \times 1,5 = 216$ l/h. L'écartement entre rampes $E_r = 1,5$ m. Les rampes sont placées de part et d'autre de chaque porte rampe. La largeur du secteur $l_s = 83$ m. Le nombre de paires de rampes par porte rampe $N_{pr} = l_s/E_r = 83/1,5 = 55$, et le nombre de rampes par porte rampe $N_{rpr} = N_{pr} \times 2 = 55 \times 2 = 110$.

Le nombre de porte-rampes par secteur $N_p = 2$. Le nombre total de rampes par secteur $N_{tr} = N_{rpr} \times N_p = 110 \times 2 = 220$. La longueur totale des rampes par secteur d'arrosage est $L_{tr} = N_{tr} \times L_r = 220 \times 36 = 7920$ m. Le nombre total de goutteurs par secteur $N_{tg} = N_{tr} \times N_g = 220 \times 144 = 31680$. Le débit horaire d'un secteur d'irrigation:

$Ds = Ntg \times Dg = 31680 \times 1,5 = 47520 \text{ l/h}$
La pluviométrie horaire d'un secteur $Ps = Ds/Ss = 47.520/12.000 = 3,96 \text{ l/h} = 3,96 \text{ mm/h}$ (où $Ss = 12.000 \text{ m}^2 = \text{superficie d'un secteur}$).

Exigences de la culture

Dans le cas de notre exemple, la tomate industrielle a été plantée en lignes simples, le 1 Avril à une densité de l'ordre de 26.000 plants à l'hectare. Les lignes de tomates sont espacées de 1,50 m et l'écartement entre les plants sur la ligne est de 0,25 m. On compte un goutteur par plant.

Les besoins bruts en eau d'irrigation en période de pointe (Bbp) sont estimés à 80 m³/ha/jour (8 mm/jour). Les besoins totaux en éléments fertilisants apportés ont été de 250 kg d'azote, 120 kg de P₂O₅ et 150 kg de K₂O.

Connaissant les besoin brut en eau d'irrigation et le Volume (V) d'eau disponible à la source en m³/jour, la superficie maximale irrigable $Sm = V/Bbp = 768/80 = 9,6 \text{ ha}$.

Information sur le sol de l'exploitation

La sol est limoneux, sa porosité est de 47%, sa perméabilité est de 13 mm/heure, et sa densité apparente est de 1,4. Son humidité à la capacité au champ (H_{cc}) en % du volume est de 30,8 soit 308 mm par mètre de profondeur; son humidité au point de flétrissement (H_{pf}) en % du volume est de 14 soit 140 mm par mètre de profondeur. La réserve utile est $RU = H_{cc} - H_{pf} = 308 - 140 = 168 \text{ mm}$ par m de profondeur.

Dans le cas du goutte à goutte, seul un pourcentage de la surface et du volume du sol est effectivement mouillé en continue. Dans le cas de notre exemple, on cherchera à humecter 0,50 m de part et d'autre de la rampe, soit une bande humectée $bh = 1 \text{ mètre}$. La longueur totale des rampes par secteur d'arrosage est $Ltr = 7920 \text{ m}$. La surface réellement humectée par secteur est $Srh = Ltr \times bh = 7920 \times 1 = 7920 \text{ m}^2$. La proportion réellement humectée par rapport au secteur d'arrosage est égale à $Prh = Srh/Ss = 7920/12000 = 66\% = 0,66$ (où Ss est la superficie totale du secteur en m²).

La dose nette maximale (en mm) d'arrosage est égale à $DNM = RU \times f \times Z \times Prh$. La réserve utile $RU = 168 \text{ mm}$ par m de profondeur. La fraction pratique de la RU $f = 0,3$. La profondeur (Z) des racines actives de la tomate industrielle à arroser est de 0,40 m. $DNM = 0,3 \times 168 \times 0,40 \times 0,66 = 13,3 \text{ mm}$. Puisque la valeur des besoins en eau de pointe ($Bbp = 8 \text{ mm}$) est inférieure à la DNM, l'irrigation de pointe pourra être réalisée en un seul apport journalier.

Pilotage de la ferti-irrigation

Le pilotage de la fertigation concernera la conduite et le contrôle de l'irrigation fertilisante réalisée par la technique de la fertigation. Dans ce qui suit, on considérera l'alimentation en eau et en éléments fertilisants des plants de tomate industrielle au stade de fructification sur une période de dix jours (60 à 69 jours après plantation) allant du 1er au 9/06.

Besoins en eau d'irrigation et en éléments fertilisants

Dans le cas de notre exemple, pour le stade de fructification considéré, $Kc = 0,9$ et $ET_0 = 5,5 \text{ mm/jour}$ (Evapotranspiration de référence Penman-Monteith). L'efficacité de l'irrigation localisée est $Ei = 0,90$ et le coefficient d'uniformité du réseau $CU = 0,95$. Les besoins en eau d'irrigation (Bb) sont donnés ci-dessous:

$ET_{\text{culture}} = K_c E_{To} = 0,9 \times 5,5 = 4,95 \text{ mm/jour}$

$B_b = ET_{\text{culture}} / (E_i \times C_U) = 4,95 / (0,9 \times 0,95) = 5,8 \text{ mm/jour} = 58 \text{ m}^3/\text{ha par jour.}$

Les valeurs de l' E_{To} de référence Penman-Monteith sont déterminées à partir de moyennes d'une dizaine d'années de données recueillies à partir de stations météorologiques bien équipées qu'on rencontre au Maroc dans certaines stations d'avertissement agricole des institutions d'encadrement du Ministère de l'Agriculture.

Les besoins de la culture de tomate industrielle en éléments fertilisants durant la même période, calculés en fonction des exigences de la culture, de la richesse de l'eau et du sol en éléments nutritifs, et selon l'équilibre 1-0,5-2 sont de 20 kg/ha d'azote (14 kg/ha sous forme de nitrate et 6 kg/ha sous forme ammoniacale), 10 kg/ha de P_2O_5 et 40 kg/ha de K_2O . La conductivité électrique (CE) de la solution fille recommandée est de 2,4 dS/m (1 CE de 0,9 dS/m = 1g/l de sel).

La durée d'arrosage et le volume d'eau à apporter par secteur

Dans les conditions citées ci-dessus, le temps d'arrosage (T) d'un secteur d'irrigation (en heure par jour) durant la première décade du mois de juin (60 à 69 jours après plantation) est de $T = \text{Besoins en eau d'irrigation (en mm/jour)} / \text{Pluviométrie horaire d'un secteur (en mm/h)} = 5,8 / 3,96 = 1,46 \text{ h/j} = 1 \text{ h } 28 \text{ min/jour.}$

Ce temps d'arrosage permet d'apporter au secteur d'irrigation le volume d'eau (V) = besoins (B_b) en eau d'irrigation (exprimés en $\text{m}^3/\text{ha par jour}$) x surface (S_s) du secteur (exprimée en ha) = $58 \times 1,2 = 69,6 \text{ m}^3/\text{jour.}$

Préparation de la solution mère destinée à la fertigation

La fertigation, qui permet un apport direct des éléments nutritifs dans la zone racinaire, consiste en l'injection dans l'eau d'irrigation d'une solution mère concentrée pour obtenir une solution nutritive appelée solution fille qui sera absorbée par les racines.

La quantité de solution mère préparée est généralement pour satisfaire les besoins d'une période donnée de fertigation (par exemple une dizaine de jours). Elle est préparée dans un ou plusieurs bacs, sur la base de la connaissance des besoins en éléments nutritifs de la culture et la compatibilité des engrais à utiliser (éviter de mélanger dans un même bac les engrais phosphatés ou sulfatés avec les engrais à base de calcium). Dans la confection d'une solution mère, on doit veiller à une bonne dissolution de l'engrais, d'où l'importance de connaître le degré de solubilité de l'engrais (quantité d'engrais à solubiliser par 100 litres d'eau) en fonction de la température de dissolution.

Pour satisfaire les besoins en éléments nutritifs du stade de culture considéré dans notre exemple, les engrais disponibles qui seront utilisés pour la préparation de la solution mère sont: le Phosphate mono-ammonique (MAP), l'ammonitrate, le nitrate de potasse et le sulfate de potasse. Ces engrais sont compatibles, donc un seul bac suffira.

Calcul des quantités d'engrais pour fertiliser les tomates d'un secteur

Par rapport aux besoins en éléments fertilisants pour un hectare de tomate industrielle, les quantités de fertilisants à apporter par secteur d'irrigation (1,2 ha) sont de: 24 kg d'azote (16,8 kg sous forme de nitrate $N-NO_3^-$ et 7,2 kg sous forme ammoniacale $N-NH_4^+$), 12 kg de P_2O_5 , et 48 kg de K_2O .

Pour accomplir les besoins en P₂O₅ d'un secteur d'irrigation de tomate industrielle (12 kg de P₂O₅), la quantité de MAP (12% NH₄⁺ + 60% P₂O₅) à apporter est de $12 \times 100/60 = 20$ kg de MAP. Cette quantité de MAP fournit $20 \times 0,12 = 2,4$ kg de N-NH₄⁺. Pour apporter le reste des besoins en azote ammoniacal N-NH₄⁺ ($7,2 - 2,4 = 4,8$ kg), on utilisera l'ammonitrate (16,5% N-NO₃⁻ - 16,5% N-NH₄⁺). La quantité d'ammonitrate à apporter est égale à $4,8 \times 100/16,5 = 29,1$ kg. Cette quantité d'ammonitrate apporte $29,1 \times 0,165 = 4,8$ kg d'azote sous forme de nitrate N-NO₃⁻. Pour combler les besoins en nitrate N-NO₃⁻ ($16,8 - 4,8 = 12$ kg), on apporte une quantité de nitrate de potassium (13%N-NO₃⁻ - 46%K₂O) = $12 \times 100/13 = 92,3$ kg. Cette quantité de nitrate de potassium apporte $92,3 \times 0,46 = 42,5$ kg de K₂O. Pour compléter les besoins en potasse soit $48 - 42,5 = 5,5$ kg, on apportera une quantité de sulfate de potassium (50% K₂O) égale à $5,5 \times 100/50 = 11$ kg.

La quantité totale d'engrais utilisée pour la confection d'une solution mère en vue de ferti-irriguer un secteur de tomate industrielle de 1,2 ha pendant dix jours est de 152,4 kg.

Calcul des quantités d'eau pour dissoudre les engrais utilisés

La quantité totale d'eau nécessaire pour bien dissoudre les 152,4 kg d'engrais nécessaire pour la confection de la solution mère est 550 l. Le volume de la solution mère qui sera injectée durant les dix jours sera de 700 litres. Une quantité (Q) égale à 70 litres de solution mère sera injectée chaque jour dans l'eau d'irrigation.

Pour confectionner la solution mère, on versera 50 litres d'eau (si possible à 20-25°C) dans un bac de 1000 litres, suivi par le surnageant de chacun des engrais dissous auparavant, puis on complète avec de l'eau à 700 litres.

Taux, débit et durée d'injection

Le taux d'injection est égal à :

$$r = C_f/C_m = 2,7/217,7 = 0,0124 = 12,4 \text{ ‰}$$

avec C_f = concentration de la solution fille = $2,4/0,9 = 2,67 = 2,7$ g/l et C_m = concentration de la solution mère = $152400/700 = 217,7$ g/l.

Le débit d'injection (D_i) est la quantité de solution mère (litres) injectée avec l'eau d'irrigation par heure de fonctionnement en vue d'atteindre une concentration de la solution fille exigée par la culture. Il dépend de la concentration (en gr/l) des solutions mère (C_m) et fille (C_f) et du débit d'eau de la source Q_s (en l/h) envoyé vers un secteur d'irrigation.

$$D_i = Q_s \times C_f/C_m = 48000 \times 0,0124 = 595,2 \text{ l/h}$$

(avec Q_s = débit de la source d'eau = 48000 l/h et $C_f/C_m = 2,7/217,7 = 0,0124$).

La durée d'injection (D_{inj}) est :

$$D_{inj} = Q / D_i = 70/595,2 = 0,118 \text{ h} = 0,118 \times 60 \text{ min} = 7 \text{ minutes}$$

[avec Q = quantité de solution mère à injecter dans l'eau d'irrigation chaque jour = 70 l/j et D_i = débit d'injection (l/h)].

Contrôles relatifs au pilotage de la ferti-irrigation

Contrôle de l'EC et du pH de la solution fille et du percolat

Le contrôle de la concentration de la solution fille au niveau du goutteur à l'aide d'un conductivimètre portatif ('EC mètre'). Le contrôle du pH se réalise à l'aide de papier pH à

réactif coloré ou d'un pH mètre portatif. Ces appareils doivent être régulièrement étalonnés à l'aide de solution de référence. Ce contrôle de l'EC et du pH doit se faire une à deux fois par dix jours.

En cas d'utilisation d'un lysimètre, on contrôlera l'EC et le pH de la solution drainée 1 à 2 fois par semaine. Si l'EC du drainât est très supérieure à l'EC de la solution fille, on effectuera un lessivage (arrosage à l'eau) et on réduira la concentration de la solution fille.

Contrôle des quantités d'eau d'irrigation apportées

La valeur de l'ET_o (Evapotranspiration de référence) intervient dans le calcul des besoins en eau d'irrigation de la culture. Elle varie d'une année à une autre. On doit alors obtenir des stations météorologiques des informations sur les ET_o du jour si elles existent pour rectifier, en cas de besoin, les ET_o utilisées.

Dans le cas où l'ET_o a été estimée à partir de données théoriques et quelques mesures météorologiques, d'autres moyens peuvent être utilisés pour contrôler les apports. Il s'agit par exemple de l'utilisation du bac évaporant, de la cuve lysimétrique en sol légers et moyen, et des tensiomètres pour en sols moyens et lourds.

Le bac évaporant le plus utilisé au Maroc est le bac U.S. "Class A" qui est en tôle galvanisée mesurant 121,9 cm de diamètre et 25,4 cm de hauteur. Il est soulevé du sol, le plus souvent de 15,24 cm. L'eau du bac est maintenue entre 5 à 7,5 cm au dessous du bord limite. Ce bac permet de mesurer le pouvoir évaporant de l'air par le biais d'une surface d'eau libre. L'évaporation de l'eau du bac "Class A" est déterminée soit à l'aide d'une règle spéciale placée à l'intérieur du bac, soit à l'aide d'un repère de niveau (pointe en métal) de l'eau dans le bac. Les valeurs de l'évaporation du bac (E_b) pourront nous renseigner sur les apports à la plante (ET culture) à condition de connaître le coefficient K_c. $ET\ culture = K'c \times E_b$ avec $K'c = K_c \times K_b$ où K_b = coefficient du bac qui varie en fonction de l'humidité relative de l'air, la vitesse du vent et la situation du bac par rapport aux masses végétales et K_c = coefficient cultural fonction du stade de la culture.

Le lysimètre à drainage est une cuve étanche et enterrée qui a une superficie de 2m² (2m x 1m) et une profondeur de 0,50 à 0,60 mètre dont le sol est à capacité au champ. Il est placé au milieu de la culture. Pour le cas de l'exemple tomate industrielle, la cuve comprendra une ligne de 8 plants irrigués à partir de 8 goutteurs. La connaissance du débit des goutteurs et de la durée de l'irrigation permet de déterminer la quantité (A) d'eau apportée aux plants de la cuve. Le drainât (D) récupérée dans la fosse de drainage peut être mesuré 24 heures après l'apport. La quantité consommée par la plante (mm/jour) peut être estimée par $C = A - D$. Cette quantité C pourra être comparée aux besoins en eau d'irrigation de 5,8 mm/j utilisés dans l'exemple. Le lysimètre constitue un moyen efficace et peu coûteux pour piloter l'irrigation localisée des cultures maraîchères, surtout en sols légers à moyens.

Le tensiomètre est un moyen de conduire et contrôler l'irrigation localisée en sol lourd. Il est déconseillé en sol sableux car il décroche rapidement. Le tensiomètre est une colonne d'eau qui se termine par une bougie. Celle-ci placée dans un sol humide assurera une connexion entre l'eau du sol et celle du tensiomètre. Donc, en présence de beaucoup d'eau dans le sol, le tensiomètre indiquera une faible tension et en cas de peu d'eau on aura une forte tension. On appelle "tension" la valeur de dépression lue sur le manomètre. La plus forte tension au niveau d'un tensiomètre est de 0,80 bar. En maraîchage, on utilise des tensiomètres de 30 cm de profondeur, placés sur la ligne de plantation entre deux plants consécutifs et à une distance de 10 cm de la rampe. L'irrigation doit être déclenchée lorsque la tension de l'eau est comprise entre 25 et 35

centibars. C'est un moyen efficace pour contrôler si les besoins en eau d'irrigation sont satisfaits. La lecture des tensiomètres doit se faire tous les jours à la même heure.

Un autre moyen de contrôler si les besoins en eau sont accomplis, est l'observation des plants. Un manque d'eau montre un enroulement des feuilles, un durcissement du feuillage et l'apparition de nécrose apicales sur les fruits.

Conduite de l'arrosage et opérations de contrôle, d'entretien et de nettoyage du réseau de goutte à goutte

Dans ce qui suit on signalera les différentes opérations à suivre d'une manière chronologique pour réaliser l'arrosage d'un secteur d'irrigation, ensuite on exposera les principales opérations de contrôle, d'entretien et de nettoyage du réseau d'irrigation.

Conduite de l'arrosage d'un secteur

La mise en eau de chaque secteur peut se faire en ouvrant la vanne du secteur manuellement ou automatiquement. Si l'automatisme est hydraulique, on utilisera une vanne volumétrique sur laquelle est programmée le volume d'eau correspondant aux besoins du secteur d'irrigation. En cas d'automatisme électrique, le programmeur installé en station de tête pilote l'irrigation à distance à l'aide des électrovannes installées en tête de secteurs.

Opérations à réaliser au niveau de la station de tête

- 1- Consulter la durée recommandée pour l'arrosage et la fertigation du secteur à irriguer.
- 2- Contrôler l'état des filtres. Dans le cas d'eau chargée, un entretien fréquent du filtre à lamelles doit être réalisé. On ouvre ce filtre, on contrôle sa propreté, et on le nettoie en cas de besoin.
- 3- S'assurer de la disponibilité de la solution mère dans le (ou les) bac(s).
- 4- Démarrer la motopompe et noter l'heure (la vanne du secteur à arroser doit être ouverte auparavant).
- 5- Contrôler la pression affichée par le manomètre placé à l'entrée de la station de tête.
- 6- Contrôler la pression à l'entrée et sortie du filtre à lamelles.
- 7- Ouvrir les vannes (entrée et sortie) du matériel d'injection.
- 8- Ajuster la vanne de réglage de pression pour assurer le débit d'injection de la solution mère dans le réseau d'irrigation pour la durée d'injection calculée.
- 9- Contrôler la pression à la sortie de la station de tête.

Opérations au niveau du réseau ou secteur

- 10- Contrôler la pression à l'entrée du secteur.
- 11- Contrôler l'EC et le pH de la solution fille.
- 12- Contrôler le débit de quelques goutteurs.
- 13- Contrôler la pression à l'extrémité des rampes les plus éloignées.
- 14- Après expiration de la durée de fertigation, arrêter l'injection de la solution mère en ouvrant complètement la vanne de réglage de pression et en fermant les vannes (entrée et sortie) du matériel d'injection.
- 15- Irriguer à l'eau clair pendant 5 à 10 minutes pour rincer le réseau.
- 16- Contrôler à l'aide de compteur le débit envoyé sur le secteur d'irrigation.
- 17- Ouvrir la vanne du 2ème secteur et répéter les mêmes opérations d'arrosage de 1 à 16.

Opérations de contrôle du réseau d'irrigation

Contrôle de la propreté des filtres

Avant le démarrage de la motopompe, on nettoiera la purge de l'hydrocyclone et on ouvrira le filtre à lamelles pour contrôler sa propreté. Après démarrage de la motopompe, on pourra lire sur les manomètres la pression indiquée à l'entrée et la sortie du filtre à lamelles si la différence entre ces deux pressions est supérieure à 0,5 bars, il faut procéder au nettoyage. Ce même type de contrôle de la pression à l'entrée et la sortie peut être pratiqué pour d'autres types de filtres (filtres à sable et à tamis). Pour l'entretien de l'hydrocyclone, on nettoie la purge ou on ouvre la vanne de décharge. Le contrôle des filtres est fréquent lorsque les eaux d'irrigation sont chargées.

Contrôle pression dans le réseau

1- Contrôler tous les 15 jours le manomètre placé à l'entrée de la station de tête. Pour l'exemple de l'exploitation tomate, la pression doit être de 3,1 bars. Si cette pression n'est pas atteinte, ceci indique qu'un problème existe au niveau de la motopompe qui doit être réparée.

2- A l'aide des manomètres, contrôler la différence de pression entre l'entrée et la sortie du filtre, si celle-ci est supérieure à 0,5 bars il faut procéder au nettoyage du filtre.

3- Contrôler la pression à l'entrée et à la sortie de l'injecteur pendant la période de la garantie du matériel, pour voir si l'injecteur s'adapte bien au système et au mode de son installation.

4- Contrôler la pression à la sortie de la station de tête: minimum de 2,2 bars. Si cette pression n'est pas atteinte, c'est qu'il faut revoir les trois premiers contrôles.

5- Contrôler la pression à l'entrée du secteur: doit être de 1,2 bars. Si cette pression est faible et si la pression à la sortie de la station de tête est normale contrôler les fuites le long de la conduite principale ou au niveau des accessoires (vanne,...).

Contrôle du débit de l'installation

Le débit de l'installation sous une pression donnée pourra être mesuré régulièrement à l'aide d'un compteur monté en station de tête. Le volume d'eau délivré au secteur d'irrigation par heure pourra nous permettre de s'apercevoir de la baisse des débits due au colmatage progressif des distributeurs. Ce débit de l'installation pourra être estimé en mesurant le débit d'un échantillon de goutteurs qui fonctionnent bien et le multiplier par le nombre de goutteur par secteur. Cette mesure pourra se faire une à deux fois par an.

Contrôle du bouchage des goutteurs et de l'homogénéité de leur débit

Ce type de mesure pourra se faire obligatoirement en début de campagne pour les goutteurs déjà utilisés. Il peut être réalisé plus souvent en cas où les distributeurs sont anciens et où le réseau est mal entretenu, et chaque fois qu'on constate une hétérogénéité dans les irrigations.

Pour contrôler le débit des goutteurs ainsi que le coefficient d'uniformité de leurs débits, on place un récipient sous le goutteur et à l'aide d'un chronomètre on pourra mesurer le volume d'eau délivré par le goutteur par unité de temps. Ces mesures porteront sur 4 distributeurs par rampe sur au moins 4 rampes. Les rampes choisies sont la 1ère et la dernière rampes ainsi que les rampes situées au 1/3 et au 2/3 de la longueur du porte-rampe. Sur une même rampe on choisira le 1er et le dernier distributeurs et les distributeurs localisés au 1/3 et 2/3 de la longueur de rampe. On classe les débits

mesurés par ordre croissant. On calcule la moyenne (q_{\min}) des 4 mesures de débit les plus faibles et la moyenne (q) de l'ensemble des débits mesurés. Le coefficient d'uniformité (CU) est égal à :

$$Cu = (q_{\min}/q) \times 100$$

Si CU est supérieur à 90, il n'y a pas lieu d'intervenir sur le réseau. Si CU est comprise entre 90 et 70, on doit nettoyer le réseau. Si CU est inférieur à 70, on doit rechercher les causes du colmatage et traiter. Le nettoyage des distributeurs se fera par purge et aussi par de l'eau de javel et de l'acide.

Contrôle de l'état des conduites et des accessoires

En cas de perte de pression à l'entrée du secteur et si la pression à la sortie de la station de tête est normale, il faut vérifier s'il n'y a pas de fuite dans la conduite principale ou dans les pièces de raccordement et accessoires. On doit alors réparer et remplacer les parties défectueuses.

Opération d'entretiens et de nettoyage

L'entretien régulier des éléments du réseau s'effectue, en début, au cours et à la fin de la culture, en vue d'éviter le problème de colmatage des distributeurs. Ce colmatage est lié à la qualité et l'origine de l'eau. L'analyse de l'eau permet de déterminer les risques potentiels de ce colmatage. Il existe trois types de colmatage: le colmatage biologique causé par les algues, les bactéries, les champignons; le colmatage physique dû à la présence de dépôt de particule fine, de sable, de limon ou d'argile ainsi que des corps étrangers (plastiques,...) ; et le colmatage chimique dû au problème de précipitation calcaire, ou cimentation de limon ou d'argile.

En général, les eaux de surface (oueds, barrage, ...) renferment des algues, des bactéries, et des composés organiques responsables du colmatage biologique; et des particules très fines responsables du colmatage physique. Les eaux souterraines peuvent être chargées en sable (responsable du colmatage physique) ou en ions bicarbonates (responsables du colmatage chimique).

Pour le colmatage physique on doit prévoir un système de filtration composé d'un hydrocyclone et de filtres à tamis ou à lamelles et intervenir par des opérations de nettoyage de filtre et de réseau (purge). Pour le colmatage chimique, on doit traiter chimiquement à l'acide pour neutraliser les ions bicarbonates. Pour le colmatage biologique on doit prévoir un système de filtration composé de filtres à sable et de filtres à tamis ou à lamelles. Dans le cas d'utilisation de bassin, il faut le maintenir propre en procédant régulièrement à son nettoyage en réalisant des curages.

Traitement chimique de l'eau d'irrigation

Le traitement chimique prévoit une injection de l'eau de javel et de l'acide dans l'eau d'irrigation. Pour lutter contre le colmatage biologique, on injecte de l'eau de javel (1 à 5 ppm c'est à dire 1 à 5 g/m³ d'eau). Pour le colmatage chimique, dû au problème de précipitation calcaire, ou cimentation de limon ou d'argile, on doit injecter de l'acide. Au cours de la culture, on injecte l'acide nitrique à raison de 300 ml/m³ d'eau pour traiter les eaux riches en ions bicarbonates. En fin de culture, juste avant la fin des irrigations, on traite à l'acide à 2‰ en vue de nettoyer le réseau et surtout les distributeurs.

Nettoyage des filtres

Lorsque on ouvre le filtre à lamelles et que celui-ci est sale (figure 12), on sépare les disques (ou lamelles) entre elles et on envoie un jet d'eau clair en vue d'évacuer les impuretés.

Lorsque la pression baisse à la sortie d'un filtre et la différence avec la pression à l'entrée dépasse 0,5 bars, le filtre se colmate, il est nécessaire de le nettoyer.

Le nettoyage se fait différemment suivant le type de filtres. Le nettoyage d'un filtre à sable se fait par contre lavage, en faisant passer de l'eau filtrée en sens inverse de la filtration, par un jeu de vanes. Les impuretés sont évacuées à l'extérieur par le courant d'eau. Le lavage du sable du filtre se fera une fois par an et on doit le changer une fois par deux ans. Le nettoyage du filtre à tamis se fait par brossage et rinçage des tamis. La brosse doit être souple et non métallique.

Le montage de certains filtres à lamelles permet de faire un flashage pour évacuer les impuretés en ouvrant un robinet situé à la partie basse du filtre. Ce système de flashage pourra être appliqué également pour évacuer le sable déposé dans la purge de l'hydrocyclone.

Le nettoyage des filtres à sable, à tamis ou à lamelles peut être automatique. L'automatisation est commandée soit par la différence de pression entre l'entrée et la sortie du filtre, soit par une horloge (nettoyage à période fixe). Le nettoyage automatique est conseillé notamment lorsque la qualité de l'eau nécessite plusieurs nettoyages par jour.

Vidange et purge du réseau

La vidange ou purge du réseau doit se faire à son installation, en début et en fin de culture et chaque fois qu'on intervient ou qu'on répare le réseau. A la première mise en eau et en fin de saison, la purge du réseau se fait dans le but d'évacuer les sédiments qui se sont déposés. En cours de campagne, la purge concerne le nettoyage des rampes et antennes en vue d'assurer un bon fonctionnement des distributeurs. On doit purger les bouts de rampes 1 à 2 fois tous les deux mois.

Pour purger le réseau d'un secteur d'irrigation localisée, on ouvre les bouchons des porte-rampes ainsi que les extrémités des rampes et ensuite la vanne. on augmente momentanément la pression de l'eau dans le système lui-même ou à l'aide d'un compresseur (surpresseur). Le mélange air-eau est efficace pour déboucher les goutteurs. On laisse couler l'eau jusqu'à ce que celle-ci soit claire. Ce nettoyage du réseau se fait vue d'éviter le bouchage des distributeurs.

En cas de fuites dues à des perforations ou casses de conduites ou détérioration des vanes ou autres pièces ou raccords on doit les réparer ou remplacer les parties défectueuses pour éviter les pertes d'eau et de pression et juste après purger le réseau.

A la fin de la campagne, après une première purge des antennes à l'eau claire; on injecte l'acide à forte dose (descendre jusqu'au pH 2,0) et on s'assure que le dernier goutteur du secteur a bien reçu la solution acide. On laisse l'acide agir pendant 24 heures, on purge et on rince avec une eau ramenée à pH 5,2.

Précautions à prendre et conclusions

Pour assurer une bonne conduite et un bon pilotage de l'irrigation goutte à goutte des cultures maraîchères on doit:

- 1- Réaliser une bonne étude de dimensionnement du réseau et une installation adéquate du matériel d'irrigation localisée.
 - 2- Contrôler et entretenir régulièrement le système (filtres, réseau, distributeurs,..) pour éviter le problème de colmatage.
 - 3- Maintenir l'eau d'irrigation propre en réalisant une bonne filtration.
 - 4- Superviser la conduite du goutte à goutte par un technicien expérimenté.
 - 5- Apporter des quantités d'eau et de fertilisants qui répondent aux besoins de la plante en vue d'obtenir une augmentation de la production et de sa qualité.
- Le repérage et l'élimination des goutteurs obstrués sont lents et onéreux, c'est pourquoi il convient d'éliminer les causes d'obstructions par une filtration soignée, un traitement chimique préventif et un contrôle et un nettoyage réguliers des filtres et du réseau.

Tableau 6.8

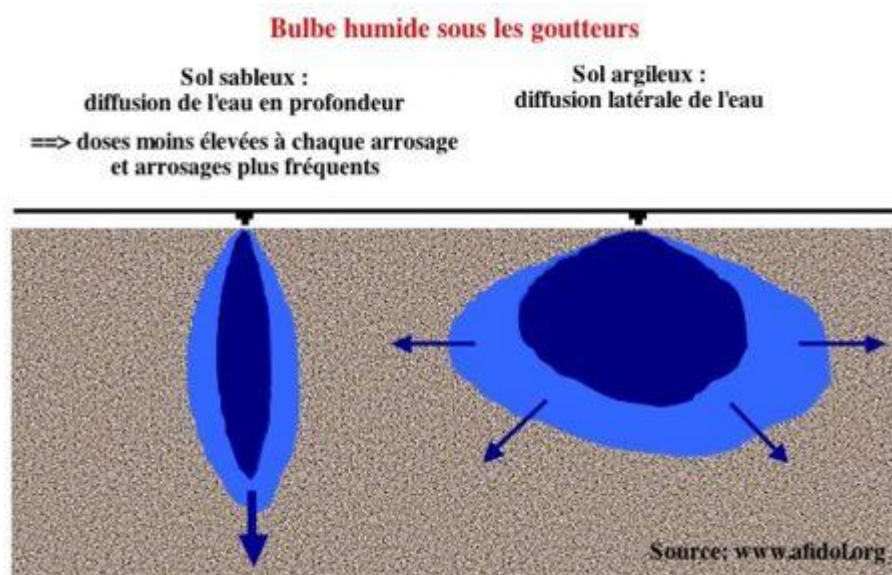
Engrais pouvant être ou non mélangés en solution mère

	Sulfate d'ammoniaque	Nitrate de magnésium	Nitrate de chaux	Nitrate de potasse	Sulfate de potasse	Sulfate de magnésium	Chlorure de potassium	Chlorure de calcium
Sulfate d'ammoniaque	–	oui	non	oui	oui	oui	oui	non
Nitrate de magnésium	oui	–	oui	oui	oui	oui	oui	oui
Nitrate de chaux	non	oui	–	oui	non	non	oui	–
Nitrate de potasse	oui	oui	oui	–	oui	oui	oui	oui
Sulfate de potasse	oui	oui	non	oui	–	oui	oui	non
Sulfate de magnésium	oui	oui	non	oui	oui	–	oui	non
Phosphate d'ammoniaque	oui	oui	non	oui	oui	oui (1)	oui	–
Chlorure de potassium	oui	oui	oui	oui	oui	oui	–	oui
Chlorure de calcium	non	oui	oui	oui	non	non	oui	–

1 Attention ! Ces engrais ne sont mélangeables ni à sec, ni en milieu alcalin.

Principe du pilotage selon le mode d'irrigation

Principe de l'irrigation en goutte-à-goutte



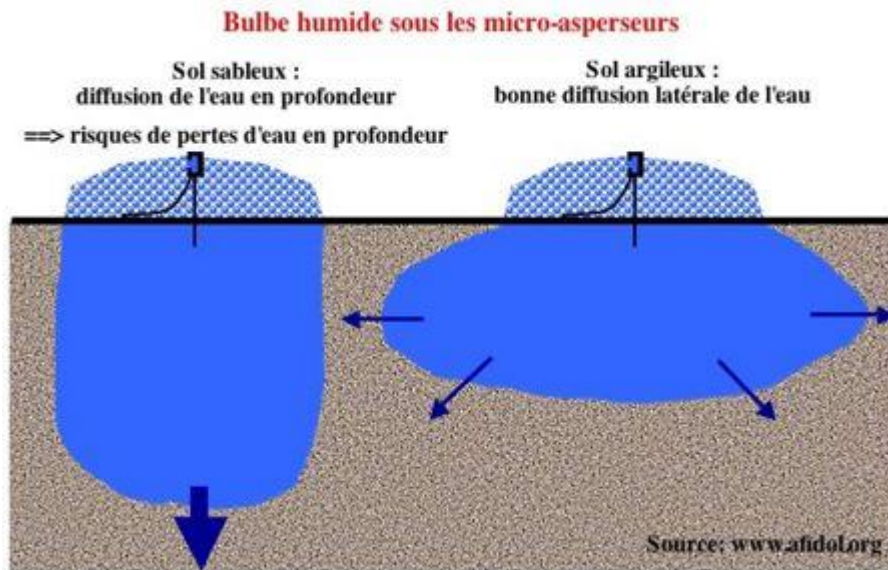
- Le principe de la conduite de l'irrigation en goutte-à-goutte est de maintenir **en permanence** un bulbe humide sous les goutteurs durant la période d'arrosage. Pour cela, il est nécessaire d'irriguer tous les jours, voire deux fois par jour en sols sableux afin de limiter les pertes par percolation. Il est préférable que le bulbe ne s'assèche pas en raison des fortes quantités d'eau nécessaires à sa reconstitution.
- En cas d'épisode pluvieux permettant de reconstituer plus de la moitié de la réserve facilement utile (RFU), l'irrigation peut être suspendue. Dans le cas contraire, les doses journalières sont réduites.

En goutte-à-goutte, les apports d'eau sont effectués à une fréquence fixe.

Les doses varient par conséquent selon [les besoins en eau de l'olivier](#).

- Le goutte-à-goutte présente une efficacité de l'ordre de 90 % : sur 100 litres d'eau apportés, 90 litres sont réellement profitables à l'olivier. Ainsi, pour déterminer les quantités d'eau à apporter par goutte-à-goutte à partir d'un bilan hydrique, il faut diviser les besoins en eau par 0,90.

Principe de l'irrigation en micro-aspersion



- Le principe de la conduite de l'irrigation en micro-aspersion consiste à reconstituer le bulbe humide une fois que celui-ci est épuisé. La fréquence des arrosages varie entre une à deux fois par semaine selon la demande en eau, le sol rencontré et le type de micro-asperseur utilisé.

En micro-aspersion, les apports d'eau sont effectués à une dose fixe.

La fréquence des irrigations est par conséquent variable.

- La micro-aspersion montre une efficacité de l'ordre de 85 %, voire 80 % en cas de vent : sur 100 litres d'eau apportés, 85 litres sont réellement profitables à l'olivier. Ainsi, pour déterminer les quantités d'eau à apporter par micro-aspersion à partir d'un bilan hydrique, les besoins en eau sont divisés par 0,85.

Principe de l'irrigation en gravitaire

- Le principe de la conduite de l'irrigation en gravitaire consiste à reconstituer les réserves en eau du sol une fois que celles-ci sont épuisées. La fréquence des arrosages varie selon la demande en eau et le sol rencontré.

En irrigation gravitaire, les apports d'eau sont effectués à une dose fixe.

La fréquence des irrigations est par conséquent variable.

- L'efficience rencontrée en irrigation en gravitaire varie entre 40 % et 70 % selon l'homogénéité du terrain et de la pente: sur 100 litres d'eau apportés, 40 à 70 litres sont réellement profitables à l'arbre. L'irrigation en gravitaire occasionne des **pertes en eau non négligeables** difficiles à évaluer. Par conséquent, il est délicat d'appliquer un coefficient de majoration comme pour le goutte-à-goutte et la micro-aspersion, ce qui exclut un pilotage de l'irrigation par bilan hydrique. Une conduite de l'irrigation par relevés tensiométriques est plus appropriée.

Généralités sur la conduite de l'irrigation

Dose d'irrigation

- La dose d'irrigation correspond à la quantité d'eau nécessaire à la satisfaction des besoins en eau de l'olivier. Ces besoins sont variables en fonction du système d'irrigation en place sur la parcelle.
- La dose peut être exprimée en millimètre d'eau, en m³/hectare ou bien encore en litres/arbre:

Equivalences : 1 mm = 10 m³/ha = 1 L/m²

- Sachant que 1 mm d'eau = 1 L/m², il est aisé de convertir une dose en litre/arbre en multipliant la dose en millimètre par la surface occupée par l'olivier en m² :

Dose (en litres/arbre) = Dose (en mm) x Surface occupée par l'olivier (en m²)

- **Exemple de conversion de la dose en millimètre en dose par arbre** : une irrigation de 1,2 mm sur des oliviers espacés de 5 mètres sur le rang et 6 mètres sur l'entre-rang revient à apporter 36 L/arbre: 1,2 mm x (5 m x 6 m) = 36 L/arbre

Durée de l'irrigation

- La durée de l'irrigation varie en fonction de la dose à appliquer et du débit d'eau par arbre :

$$\text{Durée (en heure)} = \text{Dose (en litres/arbre)} / \text{Débit par arbre (en litres/heure)}$$

- **Exemple de calcul de la durée d'irrigation** pour une dose de 0,8 mm à apporter à des oliviers espacés de 7 mètres sur le rang et 8 mètres sur l'entre-rang, chaque arbre étant équipé de 4 goutteurs de 4 litres/heure:
 - Débit par arbre = 4 goutteurs x 4 L/h = 16 L/h
 - Surface occupée par olivier = 7 mètres x 8 mètres = 56 m²
 - Durée de l'irrigation = 0,8 mm x 56 m² / 16 L/h = 2,8 heures = 2 heures et 48 minutes

Secteur d'irrigation

- Le secteur d'irrigation correspond à la surface d'oliviers pouvant être arrosés simultanément. La taille du secteur dépend du débit par hectare et du débit à la source en eau.

$$\text{Surface du Secteur (en hectare)} = \text{Débit à la source (en m}^3\text{/heure)} / \text{Débit par hectare (en m}^3\text{/hectare)}$$

- **Exemple de calcul de la taille du secteur** pour un verger de 6 hectares dont les oliviers sont espacés de 5 mètres sur le rang et 6 mètres sur l'entre-rang et équipés chacun de 2 goutteurs de 4 litres/heure. Le réseau d'irrigation est approvisionné par une pompe fournissant 4 m³/heure :
 - Débit par arbre = 2 goutteurs x 4 L/h = 8 L/h
 - Nombre d'arbres par hectare (1 ha = 10 000 m²) = 10 000 m² / (5 m x 6 m) = 333 arbres
 - Débit par hectare = 333 arbres x 8 L/h/arbre = 2 664 L/h/ha = 2,7 m³/h/ha

- Taille du secteur = $4 \text{ m}^3/\text{h} / 2,7 \text{ m}^3/\text{h}/\text{ha} = 1 \text{ ha } 48$

Durée du tour d'eau

- La durée du tour d'eau correspond à la durée nécessaire à l'arrosage de l'ensemble des parcelles ayant la même source d'approvisionnement en eau:

Durée du tour d'eau (en heure) = Durée de l'irrigation par secteur (en heure) x Nombre de secteurs rattachés à la source d'eau

- **Exemple de calcul de la durée du tour d'eau** pour une dose journalière de 1 mm à apporter sur un verger de 9 hectares, dont les oliviers sont espacés de 7 mètres sur le rang et 7 mètres sur l'entre-rang et équipés chacun de 6 goutteurs de 2 litres/heure. Le réseau d'irrigation est approvisionné par une borne fournissant $6 \text{ m}^3/\text{heure}$:
 - Débit par arbre = $6 \text{ goutteurs} \times 2 \text{ L/h} = 12 \text{ L/h}$
 - Nombre d'arbres par hectare ($1 \text{ ha} = 10\,000 \text{ m}^2$) = $10\,000 \text{ m}^2 / (7 \text{ m} \times 7 \text{ m}) = 204 \text{ arbres}$
 - Débit par hectare = $204 \text{ arbres} \times 12 \text{ L/h}/\text{arbre} = 2\,448 \text{ L/h}/\text{ha} = 2,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{ha}$
 - Taille du secteur = $6 \text{ m}^3/\text{h} / 2,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{ha} = 2 \text{ ha } 40$
 - Nombre de secteurs sur le verger = $9 \text{ ha} / 2,4 \text{ ha} = 3,75 = 4$
 - Durée de l'irrigation par secteur = $1 \text{ mm} \times (7 \text{ m} \times 7 \text{ m}) / 12 \text{ L/h} = 4 \text{ heures}$
 - Durée du tour d'eau = $4 \text{ heures} \times 4 \text{ secteur} = 16 \text{ heures}$

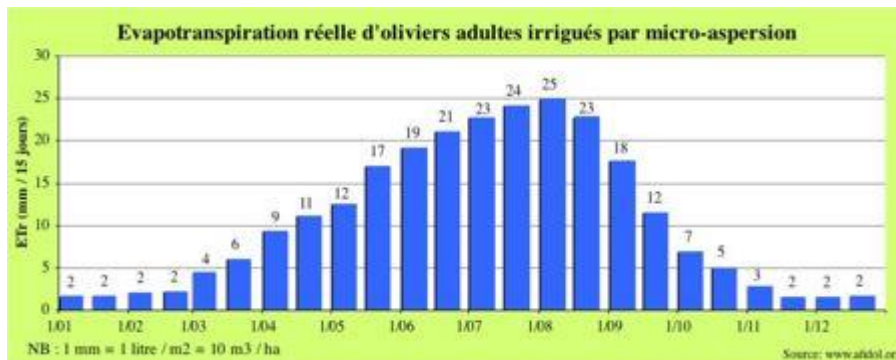
Pilotage de l'irrigation par bilan hydrique

- Le bilan hydrique consiste à calculer la différence entre la consommation en eau de l'olivier et les disponibilités en eau sur une période établie afin d'évaluer les besoins en eau des oliviers :

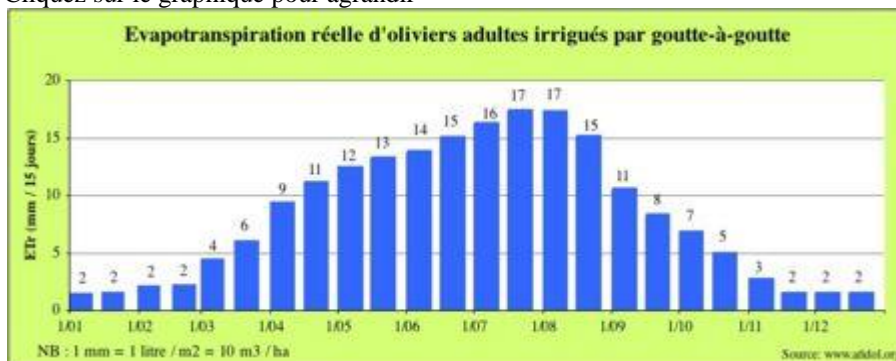
Besoins en eau = consommation en eau - disponibilités en eau

- Le bilan hydrique est une méthode intéressante dans le sens où il permet de prévoir l'évolution des besoins en eau des oliviers. Cependant, le pilotage de l'irrigation par bilan hydrique demeure délicat du fait de certaines imprécisions.

Evaluation de la consommation en eau des oliviers



Cliquez sur le graphique pour agrandir



- La consommation en eau de l'olivier correspond globalement à son évapotranspiration qui varie en fonction du système d'irrigation installé sur le verger d'oliviers.
- Les graphiques ci-dessus permettent d'apprécier les variations d'évapotranspiration réelle par quinzaine de jours selon le mode d'irrigation.

Evaluation des disponibilités en eau

- L'eau disponible pour l'olivier correspond aux réserves du sol et aux pluies utiles:

$$\text{Eau disponible} = \text{Réserves du sol} + \text{Pluies efficaces}$$

- **Les réserves en eau du sol** sont définies par analyse de sol. Elles varient d'un sol à l'autre en fonction de la granulométrie et des teneurs en matières organiques. L'état des réserves en eau du sol détermine la [période de déclenchement des irrigations](#).
- **Les pluies efficaces** correspondent aux pluies réellement mises à profit par l'olivier. L'efficacité des pluies dépend du ruissellement, de l'évaporation au sol et de la surface explorée par les racines. En général, on applique un **coefficient de 60 %** aux précipitations relevées dans le pluviomètre. De plus, on considère les précipitations comme nulles lorsqu'elles sont inférieures à 5 mm d'eau.

Evaluation des apports d'eau

- Les besoins en eau indiqués dans les graphiques ci-dessus ne correspondent pas réellement aux quantités d'eau à apporter par quinzaine. Pour déterminer ces dernières, les coefficients de majoration liés à l'efficience du système d'irrigation doivent être appliqués aux besoins en eau :
 - pour le goutte-à-goutte: $1 / 0,9$ du fait d'une efficience de 90 %
 - pour la micro-aspiration: $1 / 0,85$ du fait d'une efficience de 85 %

Exemple de détermination de la dose journalière en goutte-à-goutte

- Durant la seconde quinzaine de juin, quelle est la dose moyenne journalière à apporter aux oliviers si 10 mm de pluies ont été relevés dans le pluviomètre au 16 juin :
 - D'après le graphique ci-dessus, l'évapotranspiration réelle s'élève à 15 mm durant la seconde quinzaine de juin.
 - Si 10 mm d'eau ont été relevés dans le pluviomètre, les pluies réellement utiles sont de l'ordre de 6 mm ($10 \text{ mm} \times 60 \% = 6 \text{ mm}$).
 - Les besoins prévisionnels en eau sont de l'ordre de 9 mm au cours de la seconde quinzaine de juin ($15 \text{ mm} - 6 \text{ mm} = 9 \text{ mm}$), soit 90 m^3 d'eau par hectare.
 - Dose moyenne prévisionnelle quotidienne = $9 \text{ mm} / (15 \text{ jours} \times 90 \%) = 0,67 \text{ mm}$, soit $6,7 \text{ m}^3 / \text{ha}$. Cette dose sera à corriger en fonction des relevés tensiométriques.

Exemple de détermination de la périodicité des irrigations en micro-aspersion

- Durant la seconde quinzaine de juillet, quelle est la durée entre deux irrigations si aucune pluie n'a été relevée dans le pluviomètre et si la dose est fixée à 20 mm :
 - D'après le graphique ci-dessus, les besoins prévisionnels en eau s'élèvent à 24 mm durant la seconde quinzaine de juillet du fait de l'absence de pluies.
 - Consommation journalière prévisionnelle = $24 \text{ mm} / 15 \text{ jours} = 1,6 \text{ mm/j}$
 - Durée entre deux irrigations = $20 \text{ mm} \times 85 \% / 1,6 \text{ mm/j} = 10,6 \text{ jours}$. Cette durée sera à corriger en fonction des relevés tensiométriques.

Limites du pilotage de l'irrigation par bilan hydrique

- En raison de nombreuses imprécisions, le pilotage par bilan hydrique est difficile à gérer:
 - les fortes variations d'évapotranspiration potentielle enregistrées d'une année sur l'autre nécessitent l'acquisition de données météorologiques actualisées pour un pilotage pointu : variations de - 15 % en 2002 et + 20 % en 2003 par rapport à la moyenne.
 - les coefficients culturaux ne sont pas clairement établis et varient d'un verger à l'autre en fonction de la surface occupée par la frondaison, de la densité du feuillage ou bien encore du système d'irrigation installé;
 - les pluies réellement exploitables par l'olivier sont difficilement quantifiables;
 - les réserves en eau du sol peuvent fortement varier sur une même parcelle selon le type de sol rencontré.

Pilotage de l'irrigation par relevés tensiométriques

- Pour piloter au mieux l'irrigation, le bilan hydrique doit être associé à l'utilisation de tensiomètres ou de sondes tensio-électriques. L'association de ces deux méthodes demeure une technique efficace pour déterminer au plus juste les besoins en eau :
 - on estime dans un premier temps les volumes d'eau à apporter ou la fréquence des irrigations à partir du bilan hydrique,

- puis on corrige les doses d'irrigation ou la fréquence à l'aide des relevés tensiométriques.

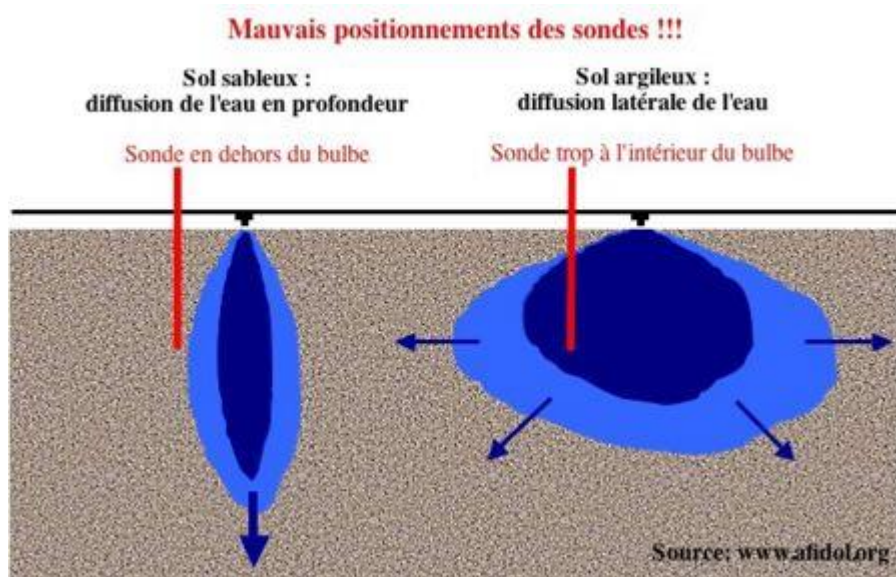
Principe du pilotage par relevés tensiométriques

- Les mesures tensiométriques permettent de contrôler la pression requise pour extraire l'eau du sol (exprimée en centibars). Le principe est basé sur la mesure des forces de rétention entre le sol et l'eau, appelées tensions.
- Plus le sol est sec, plus le niveau de succion est élevé, car l'eau est davantage retenue par les particules du sol. Ainsi, les tensions augmentent lorsque le sol se dessèche et elles diminuent lorsque le sol s'humecte.

Matériel de mesure tensiométrique

- Le **tensiomètre à eau** présente l'inconvénient de se désamorcer facilement à 90 centibars. Le réamorçage du tensiomètre est assez fastidieux. Le tensiomètre à eau est davantage adapté à la conduite de l'irrigation des cultures maraîchères.
- La **sonde tensio-électrique** apporte une réponse satisfaisante à ces problèmes car elle ne contient pas d'eau, ce qui empêche tout désamorçage. Les capteurs de la sonde tensio-électrique mesurent la résistance électrique entre deux électrodes grâce à l'impulsion envoyée par le boîtier de lecture. Autre avantage: les tensions peuvent être mesurées jusqu'à 200 centibars.

Installation des sondes tensiométriques



- Pour piloter l'irrigation par tensiométrie, les sondes doivent être installées en périphérie du bulbe humide. Il est conseillé de placer les sondes à 30 et 60 cm de profondeur. Une troisième sonde peut être positionnée à 90 cm pour définir la dose d'irrigation et pour contrôler les pertes en eau en profondeur en cas d'apport trop élevé.
- **En goutte-à-goutte**, une certaine distance doit être respectée entre la sonde et le goutteur :
 - sonde à 30 cm de profondeur: à plus ou moins 30 cm du goutteur. Cette distance n'est qu'indicative. A chacun d'adapter la distance en fonction du type de sol rencontré. En terrain filtrant, l'eau diffuse peu latéralement; la distance entre le goutteur et la sonde sera alors inférieure à 30 cm. Par contre, en sol argileux, l'eau diffuse très bien latéralement; la sonde est alors placée à plus de 30 cm du goutteur.
 - sonde à 60 cm de profondeur: à mi-distance entre le goutteur et la sonde placée à 30 cm de profondeur.
 - sonde à 90 cm de profondeur: à hauteur de la sonde à 60 cm.
- **En micro-aspersion**, la distance entre la sonde et le micro-asperseur dépend directement de la portée du jet:
 - sonde à 30 cm de profondeur: à 2/3 de la distance entre le diffuseur et la fin du jet.
 - sonde à 60 cm de profondeur: à mi-distance entre le diffuseur et la sonde placée à 30 cm de profondeur.
 - sonde à 90 cm de profondeur: à hauteur de la sonde à 60 cm. Cette sonde n'est nécessaire que pour fixer la dose d'irrigation en début de saison.
- Les sondes sont implantées sur un sol frais ressuyé. Un trou de diamètre équivalent à celui de la sonde est réalisé à la profondeur souhaitée à l'aide d'une tarière à spirale. Une boue est constituée à partir de terre fine (sol tamisé à 2 mm) en vue de remplir une partie du trou formé. Cette boue doit permettre un

meilleur contact entre le sol et les capteurs de la sonde. Elle ne doit être ni trop liquide (risque de mauvais contact avec les capteurs après séchage), ni trop épaisse (mauvais écoulement de la boue dans le trou). Après avoir rempli le trou de boue, la sonde est enfin enfoncée délicatement à la profondeur requise. Une fois la sonde installée, elle peut rester en place durant plusieurs années.

- Les sondes tensio-électriques sont positionnées sur au moins deux sites sur la parcelle, de préférence dans des sols hétérogènes.

Relevés tensiométriques et interprétation



Sondes tensio-électriques

- Les relevés tensiométriques sont réalisés à l'aide d'un boîtier de lecture qui vient se brancher sur les électrodes des sondes tensio-électriques.
- **En goutte-à-goutte**, les mesures tensiométriques sont effectuées au moins deux fois par semaine, avant de déclencher l'irrigation. Lorsqu'on observe une montée des tensions sur les sondes placées à 30 et 60 cm de profondeur par rapport à la dernière mesure, cela signifie que le sol s'est asséché : la dose journalière doit être augmentée. Par contre, si les tensions chutent, la dose doit être réduite. Si les tensions chutent sur la sonde à 90 cm de profondeur sans qu'on ne puisse l'expliquer par de fortes précipitations, les apports d'eau doivent être fractionnés ou de nouveaux goutteurs doivent être installés sur la rampe.
- **En micro-aspersion**, les relevés se font avant le déclenchement de l'irrigation. Si les tensions ont tendance à augmenter par rapport à celles relevées avant la précédente irrigation, la période entre deux arrosages doit être réduite. Par contre, si les tensions chutent, les irrigations doivent être davantage espacées. En effet, le principe de l'irrigation par micro-aspersion consiste à faire varier la période entre les irrigations tout en maintenant une dose constante d'irrigation. La sonde à 90 cm de profondeur

permet de définir lors de la première irrigation la dose à fixer pour chaque arrosage: si la tension chute, la dose doit être revue à la baisse.

- Après chaque pluie, les tensions doivent être relevées afin d'apprécier la chute des tensions.

Pilotage de l'irrigation par relevés tensiométriques

- **En goutte-à-goutte**, les tensions à 30 cm de profondeur doivent être maintenues autour de :
 - 40 centibars en sols sableux,
 - 50 centibars en sols limoneux,
 - 60 centibars en sols argileux.

Ces tensions correspondent à un confort hydrique pour l'olivier.

- **En micro-aspersion**, les tensions relevées à 30 cm de profondeur avant l'arrosage doivent être maintenues autour de :
 - 60 centibars en sols sableux,
 - 70 centibars en sols limoneux,
 - 90 centibars en sols argileux.

Limites du pilotage de l'irrigation par relevés tensiométriques

- Des sondes tensio-électriques présentent parfois certaines imprécisions de mesure du fait d'un mauvais positionnement ou d'une usure prématurée.
- Le coût du boîtier de lecture (de l'ordre de 3000 dh H.T.) et des sondes (400 dh H.T. par sonde) est un frein réel au développement de l'utilisation des sondes tensio-électriques.

Autres méthodes de pilotage de l'irrigation

Systeme Pépista ®

- Le procédé Pépista ® est basé sur la mesure des variations de croissance du végétal à l'aide d'un capteur sensible au centième de millimètre. Le capteur permet ainsi de mesurer les variations de diamètre de la branche sur lequel il est fixé. Le Pépista ® détermine deux paramètres :

- la croissance quotidienne du diamètre de la branche.

- l'amplitude de contraction qui correspond à la perte de diamètre de la tige pendant la journée du fait d'un stress hydrique.

- La mesure de ce second paramètre permet ainsi de contrôler l'état hydrique de l'olivier.

ANNEXE 6

DIMENSIONNEMENT PRELIMINAIRE D'UN RESEAU DE MICRO ASPERSION

Donnees climatiques : zone de Bamako										
Mois	Janvier	Fevrier	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre
Nombre de jour	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31
Eto	6,06	7,16	7,73	7,25	6,55	5,5	4,52	3,98	4,25	4,79
Pmoy	0	0	4	17	58	145	237	319	224	66
Peff	0	0	3,2	13,6	46,4	116	189,6	255,2	179,2	52,8
Peff	0,0	0,0	0,1	0,5	1,5	3,9	6,1	8,2	6,0	1,7
Peff exo	0,0	0,0	4,0	16,5	52,6	111,4	147,1	156,9	143,7	59,0
R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Donnees pedologiques sol type : limon argileux										
Hcc	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Hpf	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Donnees culturales type : Tomate										
Kc	0,6	0,875	1,05	1,1	0,8					
Zr	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Ea	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
P	0,289	0,289	0,289	0,289	0,289	0,289	0,289	0,289	0,289	0,289
Resultats calculs de base										
ETM	3,636	6,265	8,117	7,975	5,240					
RFU	13,01	13,01	13,01	13,01	13,01					
Vp	6502,5	6502,5	6502,5	6502,5	6502,5					
BE	3,636	6,265	8,013	7,522	3,743					
F	3,58	2,08	1,62	1,73	3,47					
T	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00					
Dr	7,27	12,53	16,03	15,04	7,49					

pr	0,16	0,28	0,36	0,33	0,17
Vr	3636,0	6265,0	8013,3	7521,7	3743,2
Db	10,39	17,90	22,90	21,49	10,69
qe	0,66	1,13	1,45	1,36	0,68

Qtot	32,79	56,50	72,27	67,84	33,76
------	-------	-------	-------	-------	-------

I (mm/h)	11
BMP (mm/j)	8,013
easp (m)	4,000
erp (m)	4,000
easp x erp	16
qasp (l/h)	115
qasp (m3/h)	0,115
Pnom (bar)	2
Buse (mm)	1,4
Diamètre mouille (m)	9,6
P(mm/h)	7,19
kasp	0,40
Krp	0,60
easp maxi	3,84
erp maxi	5,76
Twax (h)	16
Ts (h)	3,2
Ns	8,0

Verification	25	12,8
Long rampe (m)	80	
Nrp	16	
Nasp/rp	20	
Nasp/rp corrigé	21	
Nasp/parcelle	320	
Nrp,sim/parcelle	1,00	
Qrp (l/s)	0,67	
Qrp (m3/h)	2,42	
Nrp/sim_projet	90	
Qtot (l/s)	60,375	

CALCULS HYDRAULIQUES

Pnom (m)	20
Padm (m)	4
Pam (m)	23
Pav(m)	19
Pdiff (m)	4
Den totale (m)	3
Vlim (m/s)	1,8
D (mm) theorique rampes	21,79
D_projet (mm)	51
Pert de charge sur Dprojet (m)	0,256

RAMPES

PORTES RAMPES A 2 SORTIES

Paramètres

Abrut (ha)	50
Anet (ha)	46

Calculs

Np	90	
Ap	0,51	
Lp	64	16
lp	80	20
$10^{-4} * Lp * lp$	0,512	

Verification

Lperimetre	960
lperimetre	480
nL	15,0
nl	6,0
nL x nl	90,0

Annexe 7

Pour les modules sur l'hygiène, la protection, la traçabilité et l'usage sécurisé des pesticides : deux CD complets ont été remis aux participants. Les CD ont été installés dans les ordinateurs. Les fichiers sont trop lourds pour être mis en annexe. Veuillez les consulter auprès des participants à la formation