

Alternatives au bromure de méthyle : amélioration des conditions d'application du metam sodium au Maroc

Najat EL HADIRI ¹, Mohamed AMMATI ^{2*} & Mohamed CHGOURA ¹

(Reçu le 24/05/2001 ; Révisé le 15/06/2001 ; Accepté le 17/01/2002)

تعاقب برومور الميتيل : تحسين حالات استعمال مطام الصديوم بالمغرب

خلال دراسة ميدانية المتيل إيزوتيو سيانات (أيض نشيط للمطام الصديوم) تم تجربة، عدة طرق لمعالجة التربة. أولاً المعالجة بمطام الصديوم في ماء السقي (طريقة التقطير). ثانياً المعالجة بمطام الصديوم في ماء السقي تحت أغطية بلاستيكية شفافة. ثالثاً المعالجة بمطام الصديوم في ماء السقي تحت أغطية بلاستيكية غير منفذة. بينت هذه الدراسة أن توزيع الميتيل إيزوتيو سيانات في طبقات التربة يتوقف على نوعية هذه الأخيرة. ستة ساعات بعد استعمال مطام الصديوم، وصل المتيل إيزوتيو سيانات إلى عمق 20 - 30 سم في التربة الرملية بينما بقي متركزاً في الطبقتين 0 - 10 و 10 - 20 سم في التربة الطينية تبين جميع حالات استعمال المطام الصديوم أن الميتيل إيزوتيو سيانات اختفى من طبقات الأرض خلال سبعة أيام. وأن الوقت الذي اختفت فيه نسب الكمية المستعملة هو أقل من 20 ساعة بالنسبة للتربة الرملية و 63 ساعة بالنسبة للتربة الطينية. كما تبين أن نوعية الأغطية البلاستيكية ليست لها أي تأثير على سيرة المتيل إيزوتيو سيانات في التربة.

الكلمات المفتاحية : تعقيم التربة - مطام الصديوم - المتيل إيزوتيو سيانات - توزيع - اختفاء - تربة رملية - تربة طينية

Alternatives au bromure de méthyle : amélioration des conditions d'application du metam sodium au Maroc

Le comportement du méthylisothiocyanate (MITC), métabolite actif du metam sodium (MS), a été examiné dans les conditions de plein champ au Maroc. Différentes conditions d'application du MS ont été essayées : i) application du MS en "goutte-à-goutte" au sol non couvert, ii) application du MS au sol couvert à l'aide d'un film plastique polyéthylène transparent (PE) et iii) application du MS au sol couvert d'un film plastique tricoche imperméable (VIF). La distribution du MITC dans le profil du sol dépend de la texture de celui-ci. Six heures après son application, le MITC atteint les 20-30 cm dans le sol sableux, mais reste localisé dans 0-10 et 10-20 cm du sol argilo-limoneux. La dissipation du MITC dans les différentes conditions d'application est rapide et pratiquement totale au bout de 7 jours. Cependant, le temps de demi-vie a été de moins de 24h pour les trois traitements testés dans le sol sableux, mais de 63 heures pour le sol argilo-limoneux. Dans ces conditions d'application du MS, la qualité du plastique n'a pas affecté le comportement du MITC.

Mots clés : Désinfection du sol - Metam sodium - Méthylisothiocyanate - Sol sableux - Sol argilo-limoneux - Distribution - CPG - Dissipation - Temps de demi-vie

Alternatives to methyle bromide : optimal use of metam sodium under field conditions in Morocco

The behavior of Methylisothiocyanate (MITC), active metabolite of Metam sodium (MS), has been examined under field conditions in Morocco. Different conditions of application of the MS have been tested : i) application of the MS in drop irrigation to soil not covered, ii) application of the MS to soil covered with polyethylene transparent plastic film (PE) and iii) application of the MS to soil covered with Virtuel Impermeable plastic film (VIF). The distribution of MITC in the profile of soil depends on its texture. Six hours after its application, the MITC reaches the 20-30 cm in the sandy soil, remains localized in 0-10 cm and 10-20 cm in clay loamy soil. The dissipation of the MITC in the different conditions of application was rapid and complete after seven days. However, half life time has been lower than 24 hours for the three treatments tested in the sandy soil, but of 63 hours for the clay loamy soil. In this application conditions of MS, the quality of plastic film didn't affect the behavior of the MITC.

Key words : Soil desinfection - Metam sodium - Methylisothiocyanate - Sandy soil - loamy clay soil - Distribution - CPG - Dissipation - Half life time

¹ Faculté des Sciences Semlalia, Marrakech

² Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat

* Auteur correspondant, e-mail : ammati@mtds.com

INTRODUCTION

Pour les cultures conduites sous serres, la désinfection du sol est devenue une condition indispensable pour assurer leur productivité. Pour cette opération, le produit le plus utilisé au Maroc est le bromure de méthyle (Ammati *et al.*, 1997). Considérant l'élimination de ce produit du marché mondial en 2015, pour les pays en voie de développement, et en 2005 pour les pays industrialisés par le Protocole de Montréal (Ammati *et al.*, 1997), des efforts en matière de recherche ont été orientés pour développer des techniques alternatives afin de sauvegarder la production, la qualité des produits agricoles et la protection de l'environnement.

Parmi ces techniques alternatives, la désinfection du sol à l'aide du metam sodium (MS) est largement recommandée, en raison de son action nématocide, insecticide et herbicide (Leistra & Smelt., 1974 ; Ben-Yephet & Frank 1989).

Au Maroc, le MS est employé à des doses de 700 à 1600 l/ha (Boufardi, 1996). Le MS est largement transformé dans le sol en méthylisothiocyanate (MITC), avec un taux de conversion allant de 78 à 98 % (Turner *et al.*, 1963 ; Smelt *et al.*, 1974; Smelt *et al.*, 1989; Saeed *et al.*, 1996). La conversion du MS en MITC dans le sol est rapide, elle est souvent complète 2 à 8 heures après son application (Ashley *et al.*, 1963; Turner *et al.*, 1963; Smelt *et al.*, 1974; Gerstl *et al.*, 1977; Smelt *et al.*, 1989; Saeed *et al.*, 1996). La durée de la conversion du MS en MITC dépend de la texture du sol, la température, le pH de sol et le taux d'humidité du sol (Gray, 1962; Ashley *et al.*, 1963; Turner *et al.*, 1963; Smelt *et al.*, 1974)

Dans les conditions marocaines, on ne dispose pas de données sur le comportement du metam sodium dans le sol. Le but de ce travail est d'optimiser les conditions d'application du MS par la connaissance de son comportement dans deux types de sols et avec différentes techniques d'application.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

1. Protocole expérimental

Cette étude a été menée dans la région d'Azemmour sur un sol argilo-limoneux et à Larache sur un sol sableux. Les caractéristiques de ces sols sont rassemblées dans le tableau 1.

Ce tableau montre qu'il s'agit de sols pauvres en matières organiques et ayant un pH légèrement basique.

Tableau 1. Caractéristiques physico-chimiques des sols

Site	Matière organique (%)	pH	Texture (%)		
			Argile (<2 mm)	Limon (>2 et < 50 mm)	Sable (> 50 mm)
Azemmour	1,011	7,9	40,2	47,2	12,6
Larache	0,66	7,3	4,7	7,5	87,7

Des parcelles de dimensions (10 m x 10 m) ont été traitées au metam sodium en juillet 1998. Le MS a été appliqué à la dose de 1000 l/ha de Nemasol à 510 g/l de metam sodium. La concentration en MS dans 30 cm du sol est d'environ 108 ppm. À la conversion complète du MS, la concentration en MITC est de 61 ppm. Les parcelles ont été préalablement irriguées jusqu'à leur capacité au champ. Trois d'entre elles étaient couvertes à l'aide d'un film plastique en polyéthylène transparent (PE : 0,45 µm) alors que trois autres étaient couvertes à l'aide d'un film plastique tricouche imperméable (VIF). Pour chaque parcelle, 10 litres de Nemasol ont été mélangés avec 1500 litres d'eau d'irrigation puis appliqués à l'aide d'une rampe d'irrigation "goutte-à-goutte" où les tuyaux et les goutteurs sont distants de 40 cm. Le diamètre des goutteurs étant de 0,5 cm à une pression de 1 kbar, la durée du traitement a été de 2,5 heures.

La température du sol a été enregistrée toutes les trente minutes à une profondeur de 10 cm et de 30 cm à l'aide d'une station météorologique Campbell CR10X, dans une parcelle nue et dans une parcelle couverte (Figures 1 & 2).

2. Extraction et analyse du MITC dans le sol

Au niveau de chaque parcelle élémentaire, le prélèvement des échantillons a été réalisé à l'aide de colonnes en PVC, ayant un diamètre interne de 7,5 cm et une longueur de 30 cm. Trois colonnes ont été prélevées par parcelle, selon la séquence suivante : 6 heures puis 1, 2, 4, 7 et 10 jours après l'application du MS. Stockées à -20°C, ces colonnes ont été subdivisées par la suite en trois profils de sol (0-10 cm, 10-20 cm et 20-30 cm) pour l'analyse des résidus.

La méthode d'extraction méthylisothiocyanate à partir du sol a été faite selon Saeed *et al.* (1996). Les essais au laboratoire ont montré que le rendement de cette méthode est de 97%. Le MITC de pureté 99% (Dr Ehrenstorfer - Allemagne) a été utilisé comme standard analytique lors de l'analyse chromatographique.

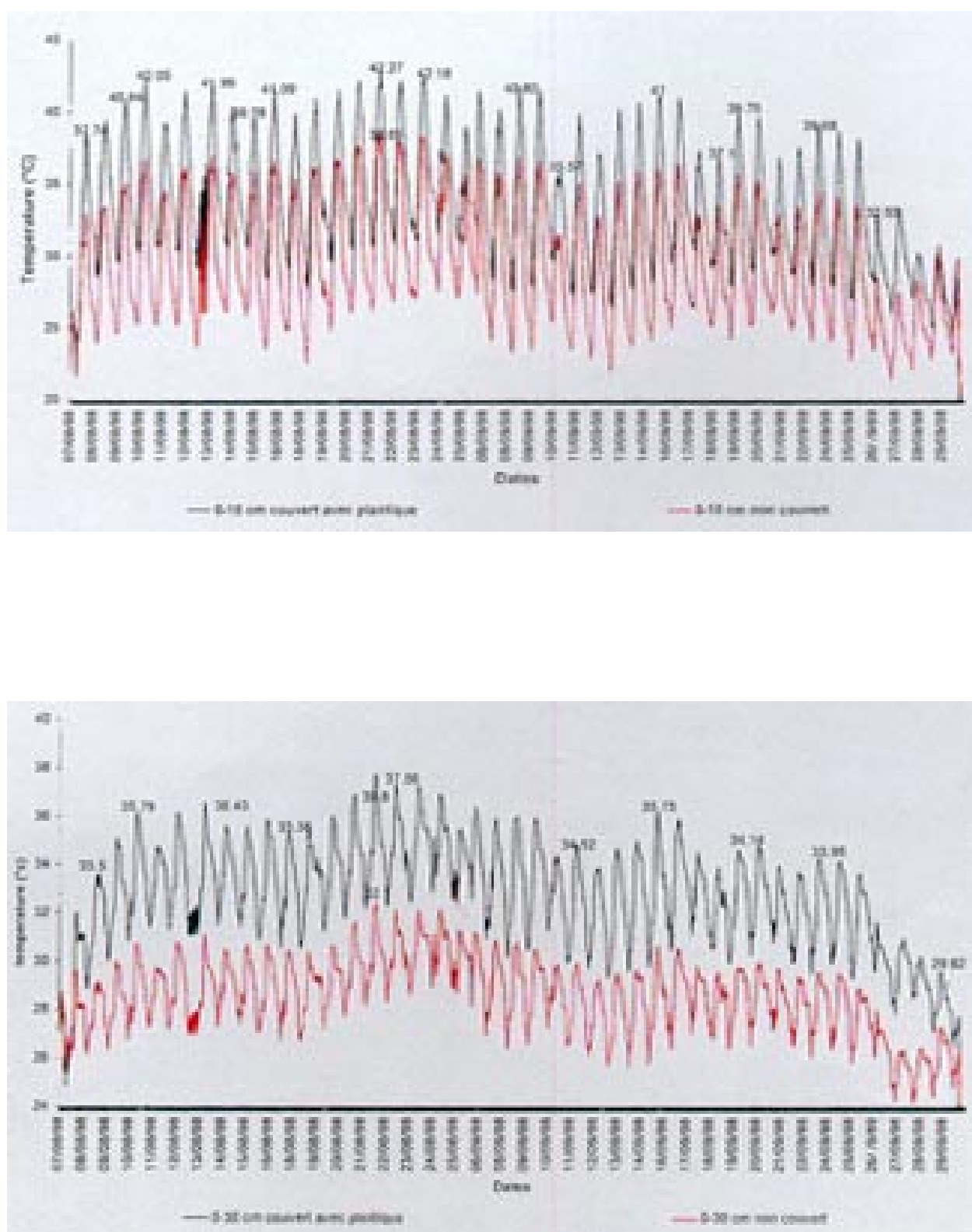


Figure 1. Évolution journalière de la température du sol sableux aux profondeurs 10 et 30 cm

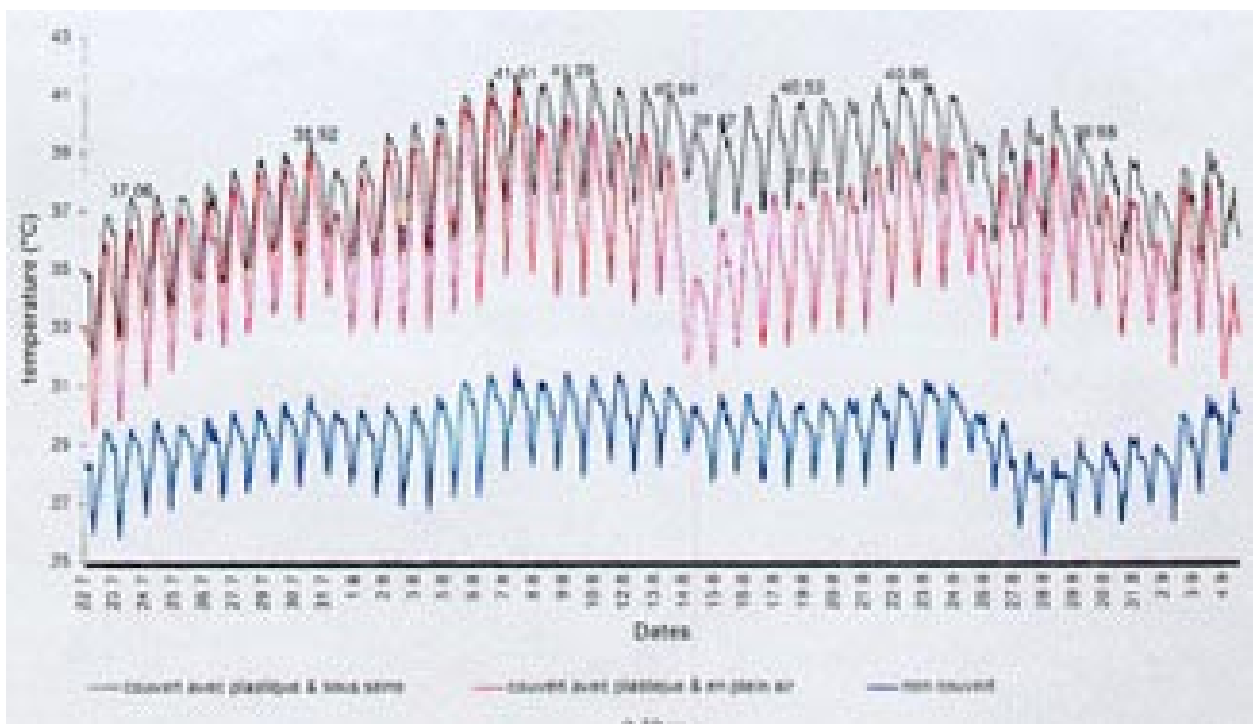
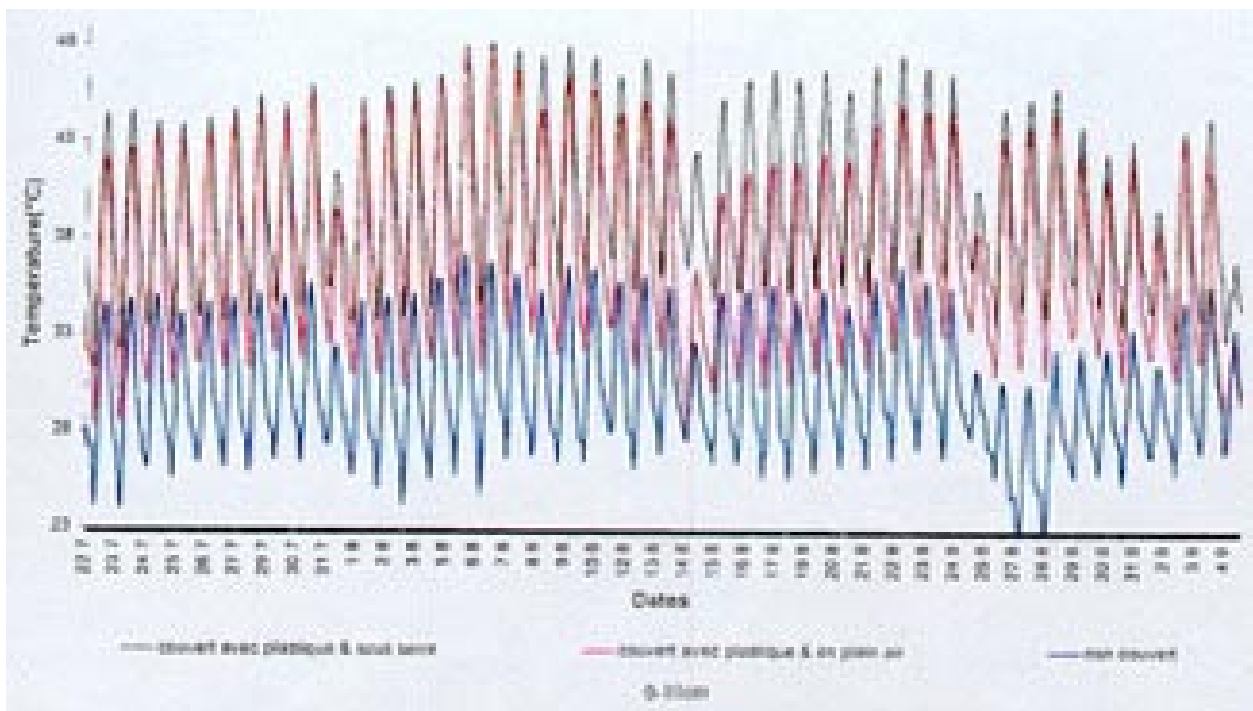


Figure 2. Évolution journalière de la température du sol argilo-limoneux aux profondeurs 10 et 30 cm

Trois échantillons de sol humide de 50 g (43-45 g de sol sec) ont été prélevés au niveau des différents profils du sol (0-10 cm, 10-20 cm et 20-30 cm), puis dilués dans un mélange d'acétate d'éthyle et d'eau distillée (24/25 ml). Le mélange ainsi obtenu est soumis à une agitation mécanique pendant 2 heures. La phase organique est séparée par centrifugation à 1200 g pendant 15 min. Une aliquote de l'extrait organique est analysée à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse de type Perkin Elmer 8700 équipé d'un détecteur à ionisation de flamme en mode soufre. Il est muni d'une colonne capillaire DB5 d'un diamètre interne de 0,53 mm et d'une longueur de 25 m. L'azote pur à 99%, utilisé comme gaz vecteur, a un débit de 30 ml/min. Les températures utilisées sont 190°C pour l'injecteur, 45°C pour la colonne et 300°C pour le détecteur. Le standard de déviation est inférieur à 5%

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

L'analyse du MITC dans le sol a été effectuée après la transformation complète du MS. En effet, le MS a été converti à 98% en MITC 6 heures après son application.

Les résultats de l'étude du comportement du MITC sont illustrés dans les figures 3 et 4. Globalement, pour les deux sols étudiés, ayant un pH basique et une faible teneur en matière organique, les quantités de MITC récupérées dans le sol couvert avec du plastique sont supérieures à celles qui sont dans le sol non couvert. Ces quantités ont été plus retenues dans le sol à texture argileuse que dans celui à texture sableuse.

1. Persistance du MITC

1.1. Sol non couvert

Les quantités totales de MITC récupérées dans les 30 cm du sol, six heures après l'application du MS, ont été évaluées à 5 ppm pour la texture argilo-limoneuse et à 5,5 ppm pour la texture sableuse (Figures 3a et 4a). Ces concentrations indiquent une perte de 91% de la quantité initiale (61 ppm) par volatilisation de MITC. Ce dernier a été localisé uniquement dans la couche 0-20 cm du sol argilo-limoneux, soit environ 8 ppm dans la couche 0-10 cm et 6,2 ppm dans la couche 10-20 cm. Il a, par contre, atteint les 20-30 cm du sol sableux (environ 1,7 ppm). Au niveau des deux sols, la dissipation du MITC a été rapide et complète dans les 0-30 cm du sol, sept jours après l'application du MS.

La demi-vie du MITC (DT₅₀), tirée directement de la courbe, dans le sol argilo-limoneux a été de 68 heures contre 18 heures pour le sol à texture sableuse. Les temps nécessaires pour la disparition de 90% du produit appliqué initialement (DT₉₀) ont été de 120 heures pour la texture argilo-limoneuse et de 90 heures pour la texture sableuse (Tableau 2).

1.2. Sol couvert avec un film polyéthylène (PE)

Dans les conditions d'application du MS sous film plastique transparent (PE), les quantités récupérées sont de 36 ppm dans le sol argilo-limoneux et de 37 ppm dans le sol sableux, six heures après l'application du MS (Figures 3b et 4b).

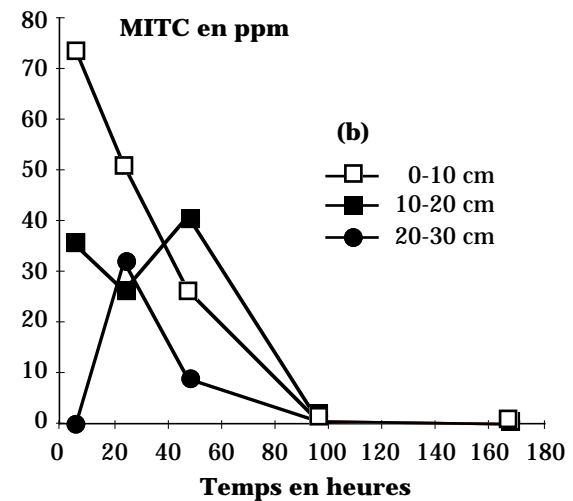
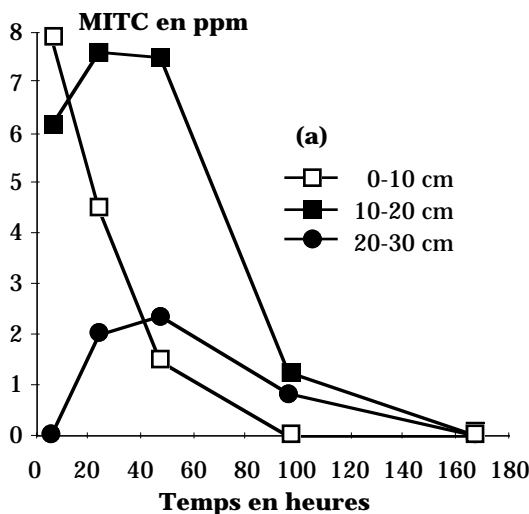


Figure 3. Persistance du méthylisothiocyanate dans le sol limono-argileux
 (a) sol non couvert (b) sol couvert avec un film plastique transparent (polyéthylène)

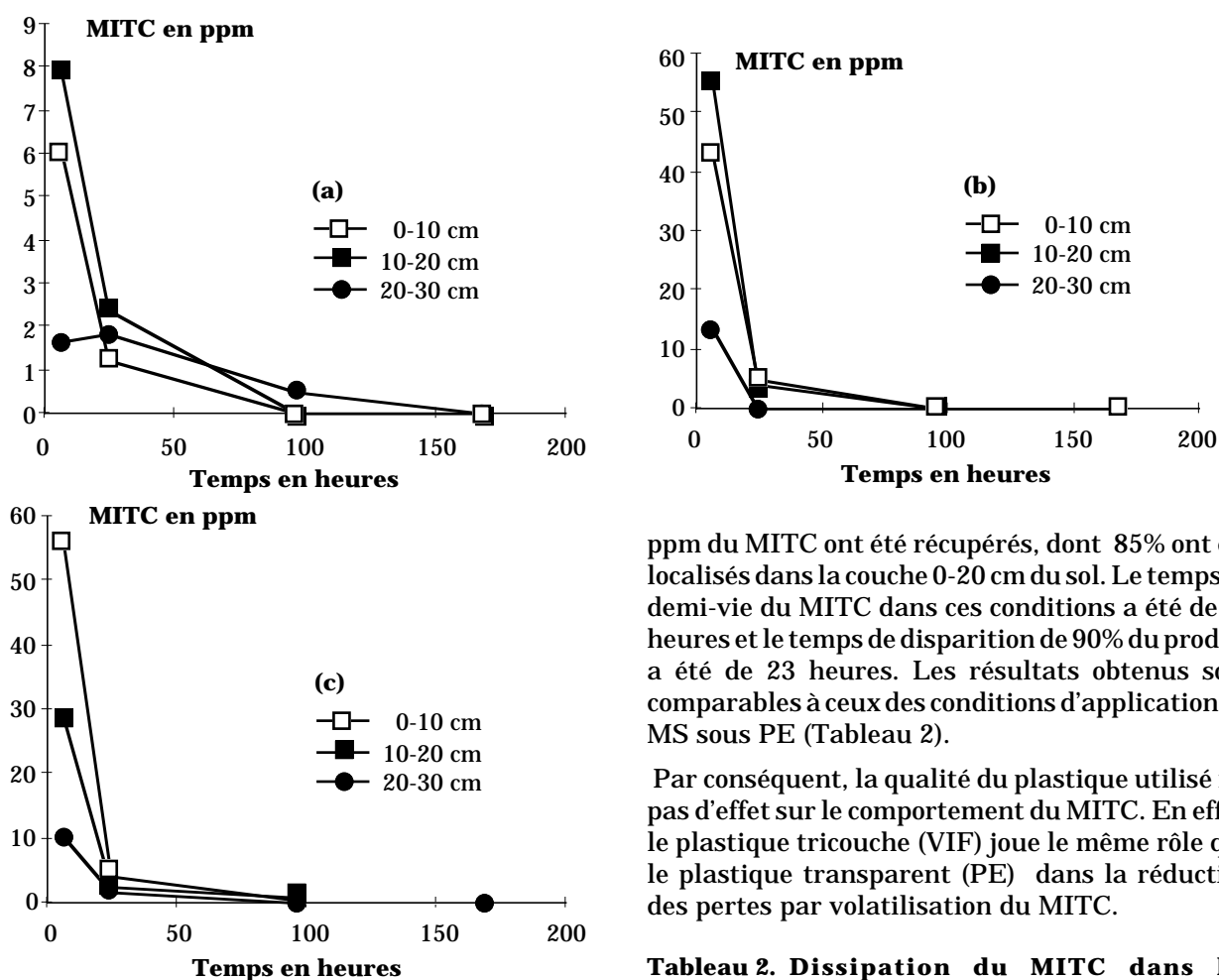


Figure 4. Persistance du méthylisothiocyanate dans le sol sableux

- (a) sol non couvert
 (b) sol couvert avec un film plastique transparent (polyéthylène)
 (c) sol couvert avec un film virtuel imperméable (VIF)

Cependant, la distribution du MITC dans le sol se fait pratiquement de la même manière que celle qui est décrite pour les conditions d'application du MS dans le sol non couvert. La mobilité du MITC a été lente dans le sol argilo-limoneux comparé au sol sableux. La demi-vie du MITC a été de 63 heures pour le sol argilo-limoneux et de 14 heures pour le sol sableux. Le temps nécessaire pour la disparition de 90% de la quantité initiale a été de 90 heures pour le sol argilo-limoneux et de 23 heures pour le sol sableux (Tableau 2).

1.3. Sol couvert avec film barrière (VIF)

Lors de l'application du MS sous film plastique tricouche (VIF) pour le sol sableux (Figure 4c), 31

ppm du MITC ont été récupérés, dont 85% ont été localisés dans la couche 0-20 cm du sol. Le temps de demi-vie du MITC dans ces conditions a été de 16 heures et le temps de disparition de 90% du produit a été de 23 heures. Les résultats obtenus sont comparables à ceux des conditions d'application du MS sous PE (Tableau 2).

Par conséquent, la qualité du plastique utilisé n'a pas d'effet sur le comportement du MITC. En effet, le plastique tricouche (VIF) joue le même rôle que le plastique transparent (PE) dans la réduction des pertes par volatilisation du MITC.

Tableau 2. Dissipation du MITC dans les différentes conditions

Texture du sol	Conditions d'application	Temps de disparition (heures)	
		DT ₅₀	DT ₉₀
Argilo-limoneux	Non couvert	68 ± 0,5	120 ± 0,5
	Couvert avec PE	63 ± 0,5	90 ± 0,5
Sableux	Non couvert	18 ± 0,5	90 ± 0,5
	Couvert avec PE	14 ± 0,5	23 ± 0,5
	Couvert avec VIF	16 ± 0,5	23 ± 0,5

Pour les différentes conditions testées, les DT₅₀ et les DT₉₀ déterminées dans le sol argilo-limoneux sont environ quatre fois supérieures à ceux qui sont mesurées dans le sol sableux, à l'exception du sol non couvert où le DT₉₀ est seulement 1,5 fois plus élevé. Cette différence dans la dissipation du MITC pourrait être due à la différence de texture des deux sols, en particulier à la teneur en argile.

En comparant les DT₉₀ (Tableau 2), la dissipation du MITC dans les sols couverts est plus rapide que dans les sols non couverts. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que le film plastique

empêche l'évaporation de l'eau du sol et entraîne le MITC en profondeur (>30 cm).

Ces résultats concordent avec ceux qui sont rapportés par différentes études et confirment que le MITC se transforme rapidement : sa demi-vie varie de quelques heures à quelques jours (Smelt *et al.*, 1974; Leistra *et al.*, 1974; Smelt *et al.*, 1989). Smelt *et al.* (1989) ont montré que, dans un sol sableux pauvre en matière organique et ayant un pH (KCl) de 7.3, le DT₅₀ est de 12 heures et le DT₉₀ de 1 jour.

2. Produit CT

L'efficacité du MITC à l'égard d'un micro-organisme dépend de sa concentration (C) en g/m³ et du temps d'exposition (T) en h. Le Produit de la Concentration par le Temps d'exposition (CT) est une constante qui caractérise la toxicité du MITC. De ce fait, la détermination de CT est importante pour optimiser les conditions d'application.

Les CT du MITC calculés pour les deux sols dans les différentes conditions d'application du MS sont représentés dans le tableau 3.

Ils sont plus élevés dans le sol à texture argilo-limoneuse que dans le sol à texture sableuse. Les CT moyens calculés dans les 30 cm du sol pour les sols couverts avec PE sont de 712 g.h/m³ pour le sol sableux et de 3277 g.h/m³ pour le sol argilo-limoneux. Ces chiffres sont largement supérieurs à ceux qui sont calculés dans les sols non couverts et qui sont de 225 g.h/m³ pour le sol sableux et 450 g.h/m³ le sol argilo-limoneux.

Dans le cas du sol non couvert, les CT calculés pour les deux textures du sol sont élevés dans la couche du sol 10-20 cm (293 g.h/m³ pour le sol sableux et 830 g.h/m³ pour le sol argilo-limoneux) par rapport à celles observées dans la couche 0-10 cm (167 g.h/m³, 318 g.h/m³) et la couche 20-30 cm (215 g.h/m³ et 201 g.h/m³).

Pour le sol couvert avec PE, les CT sont élevés dans les couches du sol 0-10 cm (3242 g.h/m³ pour le sol sableux et 4915 g.h/m³ pour le sol argilo-limoneux) et 10-20 cm (1020 g.h/m³ pour le sol sableux et 925 g.h/m³ pour le sol argilo-limoneux). Le CT calculé est également élevé dans la couche 0-10 cm (952 g.h/m³) et la couche 10-20 cm (498 g.h/m³) pour le sol sableux couvert avec VIF.

Dans les mêmes conditions de traitement, Fritsch *et al.* (2000) ont observé, pour un sol limono-sableux, que le CT à 20 cm de profondeur (100,8 g.h/m³) est supérieur à celui à 10 cm (71,5 g.h/m³) et celui à 30 cm (62,9 g.h/m³). Les CT obtenus par ces derniers auteurs sont faibles, car ils sont obtenus uniquement à partir de la phase gazeuse, alors que dans notre situation, les CT calculés ont été obtenus après extraction totale du MITC du sol.

En terme d'efficacité, les CT calculés pour les deux types de sols, et dans les différentes conditions, permettent d'atteindre une efficacité maximale. Ils dépassent de loin les CT calculés *in vitro* pour *Macrophomina phaseolina* (158 g.h/m³) et pour *Globodera pallida* (44,8 g.h/m³) (Fritsch, 1998).

CONCLUSION

Le MITC est plus persistant dans les sols à texture lourde que dans les sols à texture légère. Sa vitesse de dissipation est plus élevée dans le sol sableux que dans le sol argilo-limoneux.

L'utilisation du film plastique permet de réduire les pertes par volatilisation et une bonne répartition du MITC dans le profil du sol. Aucune différence entre le PE et le VIF n'a été observée. Dans ces conditions d'application, les concentrations du MITC dans le sol permettent d'obtenir des CT largement élevés.

L'application du MS dans le système d'irrigation "goutte à goutte" sous film plastique (PE) pourrait réduire dans de larges proportions les doses

Tableau 3. CT du MITC calculés pour les deux types de sol avec différentes conditions d'application (g.h/m³ du sol)

Texture du solSol non couvert.....	Sol couvert avec PE.....		Sol couvert avec VIF Sol sableux
	Sol sableux	Sol argilo-limoneux	Sol sableux	Sol argilo-limoneux	
Profil du sol					
0-10 cm	167	318	925	4915	952
10-20 cm	293	830	1020	3242	498
20-30 cm	215	201	191	1674	237
0-30 cm	225	450	712	3277	562

d'application et minimiser le risque d'exposition des opérateurs ainsi que de la pollution de l'environnement.

REMERCIEMENTS

Ce travail s'inscrit dans le cadre du projet de la recherche des alternatives au bromure du méthyle (ONUDI MP/MOR 97/126)

RÉFÉRENCES CITÉES

- Ammati M., El Harmouchi A. & Chtaina N. (1997) UNDP/ Montreal Protocol. *Rapport of methyl bromide national survey, Morocco*
- Ashley M.G. & Leigh B.L. (1963) The action of metham-sodium in soil. I. Development of an analytical method for the determination of methyl-isothiocyanate residues in soil. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 14 : 148-153
- Ben Yephet Y. & Frank Z.R. (1989) Factors affecting the efficiency of Metham Sodium in controlling *Verticillium Dahliae*. *Acta Horticulturae* 255 : 227-241
- Boufardi H. (1996) Potentiel de résidus des pesticides sur tomate sous-serre. *Mémoire de 3^{ème} cycle Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat*
- Fritsch J. & Rabasse J.M. (2001) Influence of Metham sodium application techniques on methyl-isothiocyanate distribution in the soil. *Phytoma* 542 : 28-30
- Fritsch J. (1998) Strawberry crops in France (December 1998): Different methods to apply methyl bromide and metham sodium to open fields. *Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions , Orlando, Florida*
- Gray R.A. (1962) Rate of vapam decomposition in different soils and other media. *Phytopathol.* 52 : 734-740
- Gerstl Z., Mingelgrin U. & Yaron B. (1977) Behavior of Vapam and methylisothiocyanate in soil. *Soil Science society of America Journal* 41: 545-548
- Leistra M., Smelt J.M. & Nollen H.M. (1974) Concentration relation for methylisothiocyanate in soil after injection of metham-sodium. *Pestic. sci.* 5 : 409-417
- Saeed I.A., Harlin J.M. & Rouse D.I. (1996) Leaching of methylisothiocyanate in plain field Sand chemigated with metham-sodium. *Pestic. Sci.* 46 : 375-380
- Smelt J.H. & Leistra M. (1974) Conversion of metam-sodium to methylisothiocyanate and basic data on the behaviour of methyl isothiocyanate in soil. *Pestic. Sci.* 5 : 401-407
- Smelt J.H., Crum S.H.J. & Teunissen W. (1989) Accelerated transformation of the fumigant methylisothiocyanate in soil after repeated application of metham-sodium. *Journal of Environmental Science and Health B24* : 437 -455
- Turner N.J. & Corden M.E. (1963) Decomposition of sodium N-Methyldithiocarbamate in soil. *Phytopathology* 53 : 1388-1394