

Rapport d'activités du Comité des choix techniques pour le bromure de méthyle

Extrait du rapport d'activités du Groupe de l'évaluation technique et économique (mai 2005).

Traduit en français conformément à la Décision XVI/8 de la seizième Réunion des Parties au Protocole de Montréal relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone, Prague, 22-26 novembre 2004.

1 Rapport d'activité du Comité des choix techniques pour le bromure de méthyle

Cette section fait le point sur les évolutions de la production et de la consommation de bromure de méthyle et les progrès faits au plan de l'élaboration et de l'adoption de solutions de remplacement. Elle fournit également des informations préliminaires sur l'état d'homologation de diverses solutions de remplacement, en application partielle de la décision Ex.I/4, paragraphe 9, alinéas i) et j).

1.1 Production et consommation de bromure de méthyle

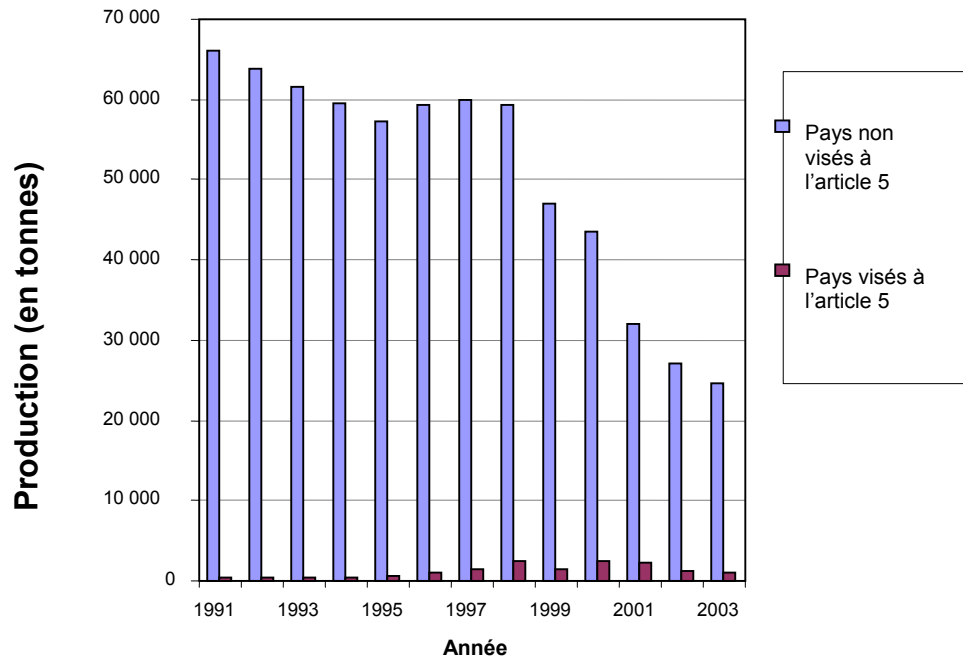
Dans les paragraphes qui suivent, on trouvera des données actualisées sur la production et la consommation de bromure de méthyle tirées des données sur la production et la consommation de substances appauvrissant la couche d'ozone qui se trouvaient à la disposition du secrétariat de l'ozone en avril 2005 (secrétariat de l'ozone, 2005). La plupart des Parties ont présenté leurs données pour l'année 2003. Celles qui concernent le bromure de méthyle sont maintenant beaucoup plus complètes que par le passé. Dans les quelques cas où elles présentent encore des lacunes, on a pris celles de l'année précédente.

1.1.1 Evolution de la production

L'évolution de la production mondiale déclarée de bromure de méthyle pour toutes les utilisations réglementées (à l'exception de l'utilisation aux fins de quarantaine et de traitement préalable à l'expédition et comme produit intermédiaire) est exposée dans la figure 7-1. En 2003, la production de bromure de méthyle pour les utilisations réglementées a été de 25 540 tonnes, soit 38 % de celle de l'année 1991, qui était de 66 430 tonnes. Selon certains chiffres non officiels, elle aurait encore baissé depuis 2003. Dans la réalité, la quantité consommée pour les utilisations réglementées peut être supérieure ou inférieure à la production déclarée en raison des variations des stocks.

Figure 7-1 : Evolution de la production mondiale déclarée de bromure de méthyle entre 1991 et 2003 pour toutes les utilisations réglementées, à l'exception des utilisations pour la quarantaine et les traitements préalables à l'expédition et comme produit intermédiaire (en tonnes)

Les chiffres de l'année 1991 et de la période 1995-2003 proviennent des données qui se trouvaient à la disposition du secrétariat de l'ozone en avril 2005. Ceux de la période 1992-1994 ont été extrapolés par le Comité des choix techniques pour le bromure de méthyle à partir de plusieurs sources.



Dans les pays non visés au paragraphe 1 de l'article 5, la production réglementée a été ramenée d'environ 66 000 tonnes en 1991 (niveau de référence) à moins de 24 580 tonnes en 2003. Ce chiffre, qui équivaut à 37 % du niveau de référence, inclut la production à l'intention de pays visés au paragraphe 1 de l'article 5. Les pays non visés au paragraphe 1 de l'article 5 ont réduit leur production réglementée, qui avait atteint un maximum de 2 380 tonnes en 1998, à environ 960 tonnes en 2003. Ce chiffre équivaut à 70 % du niveau de référence de 1 375 tonnes, qui représente la production moyenne de ces pays entre 1995 et 1998.

Une liste des usines de bromure de méthyle connues a été publiée dans l'évaluation effectuée en 2002 par le Comité des choix techniques pour le bromure de méthyle (MBTOC 2003, tableau 3.2). En 2003, deux pays visés au paragraphe 1 de l'article 5 (Chine et Roumanie) et quatre qui ne le sont pas (Etats-Unis d'Amérique, France, Israël et Japon) produisaient du bromure de méthyle pour des utilisations réglementées. Plusieurs autres pays en auraient produit exclusivement aux fins de quarantaine et de traitement préalable à l'expédition.

1.1.2 Consommation mondiale

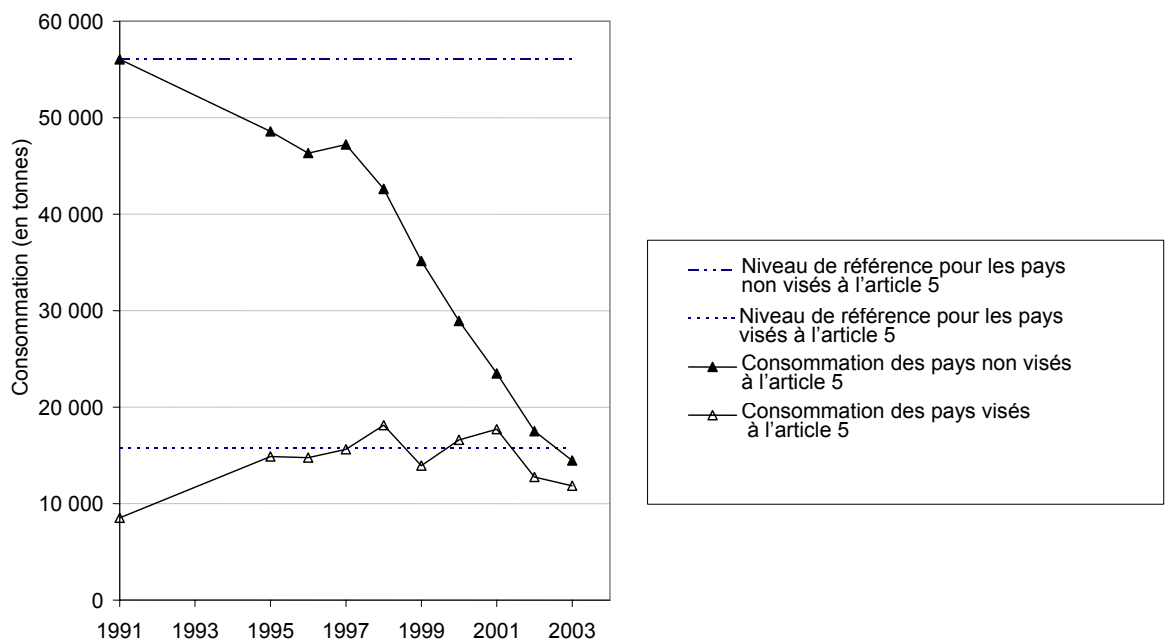
Aux termes du Protocole, la consommation nationale est définie comme le total de la production et des importations de bromure de méthyle moins les quantités utilisées pour la quarantaine et les traitements préalables à l'expédition et en tant que produit intermédiaire. Elle représente donc l'approvisionnement

national pour les utilisations réglementées par le Protocole (c'est-à-dire les utilisations autres que la fumigation aux fins de quarantaine et de traitement préalable à l'expédition). Il convient de noter que les utilisations de bromure de méthyle prélevé sur les stocks constitués avant l'entrée dans la phase d'élimination ne sont pas signalées au secrétariat de l'ozone. Etant donné que certains pays ont révisé ou corrigé leurs données de consommation, les chiffres et niveaux de référence officiels changent de temps à autre. Toutefois, les corrections sont, en règle générale, relativement mineures. La consommation mondiale de bromure de méthyle pour les utilisations réglementées a été estimée à environ 64 565 tonnes en 1991. Elle est restée au-dessus de la barre des 60 000-63 000 tonnes jusqu'en 1998. D'après les données à la disposition du secrétariat de l'ozone en avril 2005, elle était de 45 527 tonnes en 2000 et est tombée à environ 26 336 tonnes en 2003.

La figure 2 montre les niveaux de référence et l'évolution de la consommation de bromure de méthyle dans les pays visés et non visés au paragraphe 1 de l'article 5 entre 1991 et 2003. En 2003, la consommation des pays non visés au paragraphe 1 de l'article 5 a représenté 26 % de celle de l'année 1991 (56 043 tonnes), qui était l'année de référence. Celle des pays visés au paragraphe 1 de l'article 5 a représenté 75 % du niveau de référence (15 765 tonnes) correspondant à leur consommation moyenne entre 1995 et 1998.

Figure 7-2 : Niveaux de référence et évolution de la consommation déclarée de bromure de méthyle entre 1991 et 2003 (en tonnes) dans les pays visés et non visés au paragraphe 1 de l'article 5

Source : Valeurs estimées par le Comité des choix techniques pour le bromure de méthyle à partir des données du secrétariat de l'ozone d'avril 2005



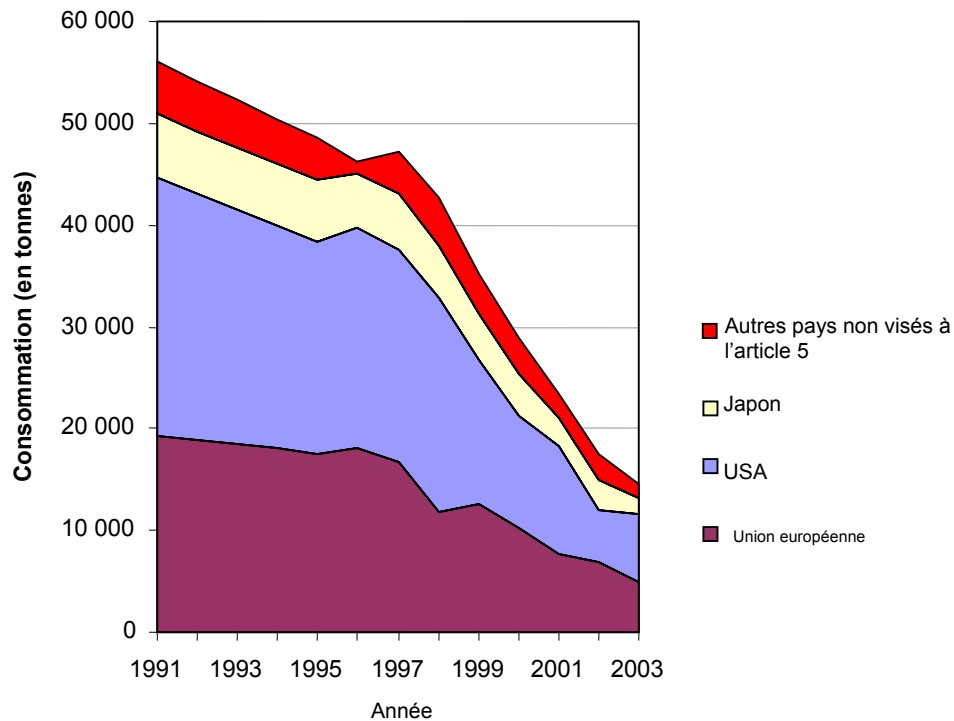
1.1.3 Evolution de la consommation dans les régions non visées au paragraphe 1 de l'article 5

Dans les pays non visés au paragraphe 1 de l'article 5, la consommation réglementée est passée de 56 043 tonnes en 1991 à 14 478 tonnes en 2003 (figure 7-3). En 2003, les trois Parties qui venaient en tête du classement des plus grands consommateurs de bromure de méthyle, à savoir les Etats-Unis d'Amérique,

l'Union européenne et le Japon, avaient ramené leur consommation nationale à 26 %, 25 % et 23 % de leurs niveaux de référence respectifs. Elles se trouvaient donc bien en dessous de la limite, puisque le maximum autorisé en 2003, était de 30 % du niveau de référence.

Figure 7-3 : Evolution de la consommation de bromure de méthyle dans les trois Parties non visées au paragraphe 1 de l'article 5 qui consomment le plus et dans les autres pays non visés au paragraphe 1 de l'article 5, entre 1991 et 2003 (en tonnes)

Source : Données obtenues du secrétariat de l'ozone d'avril 2005



1.1.4 Evolution de la consommation dans les pays visés au paragraphe 1 de l'article 5

Dans les pays visés au paragraphe 1 de l'article 5, la consommation de bromure de méthyle, calculée à partir des données du secrétariat de l'ozone, a atteint un maximum de 18 140 tonnes en 1998 et elle est redescendue à environ 11 858 tonnes en 2003 (figure 7-2).

De nombreux pays visés au paragraphe 1 de l'article 5 sont entretemps parvenus à réduire considérablement leur consommation :

- En 2003, la consommation totale des pays visés au paragraphe 1 de l'article 5 a été inférieure de 25 % au niveau de référence.
- 106 Parties visées au paragraphe 1 de l'article 5 ont déclaré avoir consommé entre zéro et 10 tonnes ODP au cours de la dernière année (c'est-à-dire 2003, pour la plupart). 82 d'entre elles ont déclaré une consommation nulle.

- De nombreux pays visés au paragraphe 1 de l'article 5 sont actuellement engagés dans des projets du Fonds multilatéral visant à réduire voire éliminer totalement l'utilisation du bromure de méthyle. La liste de ces pays comprend 14 des 15 plus grands consommateurs de bromure de méthyle parmi les pays visés au paragraphe 1 de l'article 5 (pays qui ont consommé plus de 300 tonnes en l'an 2000). Le seul qui n'en fasse pas partie est l'Afrique du Sud, qui est en train de préparer un projet FEM d'abandon progressif du bromure de méthyle.

D'après les données du secrétariat de l'ozone, la grande majorité des pays visés au paragraphe 1 de l'article 5 qui ont ratifié l'Amendement de Copenhague ont réussi à se conformer à l'obligation de geler leur consommation en 2002. La plupart d'entre eux étaient, en 2003, en passe d'atteindre l'objectif de réduction de 20 % fixé pour 2005. L'analyse des données du secrétariat de l'ozone (tableau 7-1 ci-dessous) montre qu'en 2003, la consommation de bromure de méthyle dans 117 des pays visés au paragraphe 1 de l'article 5 a été inférieure à 80 % du niveau de référence. Le tableau indique que les pays ont réussi à réduire sensiblement leur consommation avant l'échéance donnée pour la baisse de 20 % exigée, à savoir 2005. Seuls 25 pays visés au paragraphe 1 de l'article 5 ont eu, en 2003, une consommation supérieure à 80 % du niveau de référence national.

Tableau 7-1 : Analyse de la consommation nationale de bromure de méthyle par rapport aux niveaux de référence nationaux

Analyse des données du secrétariat de l'ozone d'avril 2005 pour 142 pays visés au paragraphe 1 de l'article 5

Consommation nationale de bromure de méthyle en 2003	Nombre de pays visés au paragraphe 1 de l'article 5
0 % du niveau de référence national	87
1 à 50 % du niveau de référence national	19
50 à 80 % du niveau de référence national	11
80 % du niveau de référence national	25

1.1.5 *A propos du commerce préjudiciable de bromure de méthyle*

Le Comité des choix techniques pour le bromure de méthyle n'a pas été en mesure d'accomplir l'évaluation du commerce préjudiciable de ce produit demandée au paragraphe 9 a) de la décision Ex.I/4, du fait que ses membres actuels ne disposent pas des compétences spécialisées se rapportant aux affaires commerciales, à la criminalité écologique, aux codes et procédures douaniers, et à d'autres domaines techniques que réclame une telle évaluation. En conséquence, le Comité des choix techniques pour le bromure de méthyle suggère respectueusement au Groupe de l'évaluation technique et économique de travailler à la manière d'un comité ou d'une équipe spéciale pour pouvoir répondre entièrement, dans son rapport de 2006, à cette demande des Parties. Il peut, à cet effet, faire appel à des experts des gouvernements, de la Division Technologie, Industrie et Economie du PNUE, d'organisations internationales de commerce et de police, d'organisations non gouvernementales de lutte contre la criminalité écologique, et d'organismes agricoles traitant de la qualité des aliments et de l'équité des échanges. Les spécialistes s'occupant de questions de commerce préjudiciable ou illicite d'autres substances qui appauvrissent la couche d'ozone pourraient jouer un rôle très utile dans le transfert d'enseignements et la focalisation des efforts du Groupe.

1.2 **Solutions de remplacement dans le secteur des sols – mise à jour**

De nombreux secteurs ont assuré les réductions requises dans l'utilisation du bromure de méthyle en adoptant des fumigants de remplacement – mélanges de fumigants (par exemple 1,3-dichloropropène/chloropicrine) ou fumigants appliqués consécutivement (par exemple 1,3-

dichloropropène et chloropicrine; chloropicrine ou 1,3- dichloropropène/chloropicrine puis métam-sodium) (Trout et Damodaran, 2004; Spotti, 2003, 2004). Dans certains cas, les utilisateurs ont adopté des traitements combinés chimiques et non chimiques tels que plants greffés + fumigants (par exemple aubergines greffées + 1,3-dichloropropène ou chloropicrine) (Spotti, 2003, 2004). Les solutions de remplacement non chimiques comme les substrats ont été moins largement adoptées que les solutions de remplacement chimiques. On porte un regain d'intérêt à l'emploi de fumigants de remplacement associés à des films barrières peu perméables (films pratiquement imperméables ou équivalents), car cela peut accroître l'efficacité et/ou permettre de réduire les doses de produits de remplacement à utiliser (Ajwa *et al.*, 2004) tout en écourtant les délais de remise en culture, en abaissant les expositions du voisinage et en réduisant l'impact environnemental.

Des stratégies de transition telles que le recours à des mélanges bromure de méthyle/chloropicrine et/ou à des doses réduites de bromure de méthyle grâce à l'adoption de films barrières peu perméables (par exemple de films pratiquement imperméables ou équivalents) peuvent permettre de réduire la quantité de bromure de méthyle utilisée par unité de superficie (Gilreath *et al.* 2005; Gullino *et al.* 2003; Reuven *et al.* 2000; Navas- Becerra *et al.* 2000; Hamil *et al.* 2004). De telles stratégies de transition ont été largement adoptées et ont aussi aidé des Parties à réduire les quantités de bromure de méthyle utilisées en vue de satisfaire aux prescriptions concernant les « utilisations critiques ». Toutefois, aux Etats-Unis, l'Etat de Californie interdit l'emploi de films pratiquement imperméables par crainte d'une exposition éventuelle des travailleurs au bromure de méthyle lors du repiquage des plants ou de l'enlèvement du film (Code de réglementation de Californie, Titre 3, section 6450 e)). L'emploi de films barrières peu perméables (par exemple de films pratiquement imperméables ou équivalents) est obligatoire dans les 25 pays membres de l'Union européenne (Règlement (CEE) No. 2037/2000).

De plus en plus d'études (indiquées ci-après) montrent que des préparations fumigantes nouvelles ou modifiées et de nouvelles méthodes d'application des fumigants permettant d'obtenir des rendements analogues à ceux que procure le bromure de méthyle dans diverses circonstances. Très souvent, elles supposent une modification de la pratique culturale, c'est-à-dire des délais de remise en culture légèrement plus longs et une meilleure connaissance des conditions pédologiques qui améliorent l'efficacité des solutions de remplacement, ainsi que des modifications du matériel d'application. Ces modifications peuvent avoir des incidences économiques. L'adoption de fumigants de remplacement a souvent été facilitée par de vastes études de transposition à l'échelle commerciale et des démonstrations sur le terrain qui ont permis aux producteurs de se familiariser avec des pratiques modifiées de gestion des sols et des cultures. Dans plusieurs cas, des secteurs fortement tributaires du bromure de méthyle sont passés presque entièrement à des fumigants chimiques de remplacement (cas, par exemple, de la production de tomates et de poivrons en Australie). Les principales solutions de remplacement chimiques qui ont été adoptées sont exposées dans les sections suivantes.

1.2.1 Solutions de remplacement chimiques adoptées dans la pratique commerciale

Chloropicrine

En raison de l'excellente activité fongicide de la chloropicrine, on continue à en développer l'emploi et à l'adopter comme une des principales composantes des stratégies de fumigations pour le remplacement du bromure de méthyle. Traditionnellement, on l'injectait dans le sol sous forme de mélange avec le bromure

de méthyle, mais de nouvelles méthodes d'application en ont amélioré l'emploi comme produit de remplacement du bromure de méthyle, appliquée seule ou avec d'autres produits (par exemple, 1,3-dichloropropène/chloropicrine ou chloropicrine puis métam-sodium).

Il ressort d'une revue d'études effectuées dans le secteur des fraises que le rendement relatif obtenu avec la chloropicrine appliquée à l'aide d'un injecteur à dents a été en moyenne de 98 %, 104 % et 101 % contre 100 % pour le bromure de méthyle, respectivement aux Etats-Unis, en Espagne et en Australie. La chloropicrine appliquée au goutte-à-goutte a assuré un rendement relatif moyen de 104 % contre 100 % en moyenne pour le bromure de méthyle lors de cinq études effectuées aux Etats-Unis (Porter *et al.* 2004a). La chloropicrine appliquée sous film pratiquement imperméable à des doses de 100 kg/ha a assuré des rendements analogues à ceux du bromure de méthyle, tandis qu'à des doses de 150 kg/ha, elle a donné des rendements statistiquement supérieurs (Lopez-Aranda *et al.* 2004 ; De Cal *et al.* 2004).

Récemment, une préparation de chloropicrine encapsulée a été mise au point en Chine. Une grande partie du bromure de méthyle consommé actuellement en Chine est appliqué par de petits exploitants utilisant des systèmes d'application simples et des récipients jetables de bromure de méthyle pesant généralement environ 500 g. La préparation encapsulée peut être appliquée simplement sans outils spéciaux. Cette préparation de chloropicrine est homologuée en Chine depuis 2002 et commercialisée comme produit de remplacement du bromure de méthyle.

Des préparations émulsifiables de chloropicrine ont été homologuées il y a plusieurs années en Italie, aux Etats-Unis et au Japon (Triagriberia, 2002). On constate que ces préparations constituent une solution de remplacement appropriée du bromure de méthyle dans les systèmes de production végétale où l'on peut recourir à l'irrigation au goutte-à-goutte pour faciliter la production et dans les types de sols où le fumigant peut se déplacer librement dans la terre. La chloropicrine EC a été adoptée comme produit de remplacement du bromure de méthyle par certains producteurs de fraises, en Italie par exemple (VDPI, 2004). On peut appliquer cette préparation en utilisant les lignes d'irrigation/fertirrigation au goutte-à-goutte sans avoir besoin de matériel d'injection, et cela permet aussi d'utiliser la chloropicrine comme produit de remplacement du bromure de méthyle dans certains cas où il n'est pas possible d'employer du matériel d'injection.

Chloropicrine et fosthiazate

Au Japon, le traitement des sols par applications successives de chloropicrine et d'une préparation granulaire de fosthiazate s'est répandu parmi les maraîchers qui utilisaient auparavant du bromure de méthyle. Le fosthiazate (Nematorin-Ace®) est homologué pour la lutte antinématode comme traitement de préplantation. La chloropicrine est plus efficace contre les champignons que contre les nématodes. Le fosthiazate complète son action en élargissant le spectre de lutte contre les nuisibles. Dans un système, les granules de fosthiazate sont appliquées à la surface du sol puis incorporées dans ce dernier. Le sol est ensuite labouré et préparé pour le repiquage des plants. La chloropicrine est ensuite appliquée sous un film plastique qui reste en place pendant au moins dix jours. Après enlèvement du film, les plants sont transplantés. Cette méthode peut être utilisée en plein champ ou dans des systèmes de cultures protégées. On y recourt souvent pour les cultures protégées de patate douce. Cette méthode permet d'économiser la main-d'œuvre et d'assurer une meilleure efficacité de traitement, car la terre traitée risque beaucoup moins d'être contaminée par de la terre non traitée vu que le sol n'est pas labouré avant la transplantation.

Une autre méthode consiste à appliquer d'abord la chloropicrine sous film plastique. Après enlèvement du film, on laboure le sol pour permettre au fumigant résiduel de se dégazer. Les granules de fosthiazate sont incorporées dans le sol à ce moment-là. Cette méthode est employée habituellement dans les systèmes en plein champ. Elle est appliquée à des plantes sensibles à la chloropicrine comme la tomate et la fraise car elle permet un dégazage suffisant de la chloropicrine (Tataya et Mizobuchi, 2005).

Chloropicrine et cadusafos

Le cadusafos constitue une solution de remplacement efficace pour lutter contre les nématodes et les insectes dans le sol. Au Japon, la chloropicrine et le cadusafos sont appliqués consécutivement, de la même façon que la chloropicrine et le fosthiazate. Ce traitement combiné se répand parmi les maraîchers (Tataya et Mizobuchi, 2005).

1,3-dichloropropène et chloropicrine

Des préparations de 1,3-dichloropropène mélangé à de la chloropicrine sont homologuées dans un certain nombre de pays comme les Etats-Unis, l'Espagne, l'Australie, le Portugal, le Liban, le Chili, Cuba, le Maroc, la Colombie et le Costa Rica (Norton, 2004 ; Dow AgroSciences, 1998, 2001 ; Shanks *et al.* 2004 ; Carrera *et al.* 2004 ; ONUDI, 2005b ; PNUD, 2005). Le 1,3-dichloropropène et la chloropicrine ont continué à être de mieux en mieux acceptés comme produit de remplacement important du mélange bromure de méthyle/chloropicrine, en particulier pour certaines cultures comme les fraises, les melons et les oignons. Ainsi, en Italie, une grande société de fumigation au bromure de méthyle avait, en août 2004, converti au mélange 1,3-dichloropropène/chloropicrine quelque 2 000 exploitations représentant 45 % des superficies agricoles sur lesquelles la société avait appliqué du bromure de méthyle dans le passé (Spotti, 2004).

Une revue d'études effectuées dans le secteur de la fraise aux Etats-Unis a révélé que le rendement relatif moyen en fruits était de 101 % pour le mélange 1,3-dichloropropène/chloropicrine appliqué à l'aide d'un injecteur à dents et de 108 % en moyenne lorsqu'il était appliqué par irrigation au goutte-à-goutte contre 100 % en moyenne pour le bromure de méthyle ; le rendement moyen était sensiblement inférieur dans le cas des témoins non traités. Une revue analogue d'études sur la fraise en Australie et en Espagne a également montré que le mélange 1,3-dichloropropène/chloropicrine assurait en moyenne des rendements plus élevés que le bromure de méthyle (Porter *et al.* 2004a). En Espagne, les résultats d'études effectuées dans des exploitations pendant un certain nombre d'années ont montré que la réponse agronomique à un mélange 1,3-dichloropropène/chloropicrine (61:35) était analogue à celle obtenue avec un mélange bromure de méthyle/chloropicrine (50:50) pour la fraise (Lopez-Aranda *et al.* 2004). De petites augmentations du rendement des cultures pourront compenser l'accroissement des frais de lutte contre les nuisibles, en particulier durant la période de transition au cours de laquelle les exploitants ou les applicateurs pourront avoir besoin de s'initier à de nouvelles techniques.

Il a également été montré que des doses réduites de ces substances chimiques assuraient une protection adéquate contre les organismes pathogènes transmis par le sol ainsi que les mauvaises herbes, y compris le souchet, lorsqu'elles sont utilisées avec un film pratiquement imperméable (Fennimore *et al.* 2003, 2004 ; Gilreath *et al.* 2003 ; Gilreath *et al.* 2005). Des essais de replantation en verger effectués en Tasmanie ont démontré que le mélange 1,3-dichloropropène/chloropicrine (injecté) donne des résultats presque analogues à ceux du bromure de méthyle ; un avantage est que les opérateurs peuvent utiliser le même matériel que pour le bromure de méthyle (VDPI, 2005). Un inconvénient de cette technique est que les organismes pathogènes et les ravageurs ne sont maîtrisés que là où le sol est humecté. Il est donc nécessaire de répartir le produit uniformément. Plusieurs années d'expérience pratique montrent que l'emploi de ces fumigants oblige à prêter davantage attention au sol et aux conditions d'humidité lors de la préparation de la terre et de l'application (VDPI, 2005).

Le mélange 1,3-dichloropropène/chloropicrine (injecté) donne des résultats acceptables dans la production de melons australienne et a été adopté à l'échelle commerciale; au cours de la saison 2003/04, les producteurs de rockmelons en particulier ont recouru davantage au mélange 1,3-dichloropropène/chloropicrine (VDPI, 2005). Dans le secteur maraîcher de Bundaberg, qui fut autrefois un des principaux utilisateurs du bromure de méthyle en Australie, environ 70 % des producteurs de poivrons et de légumes ont adopté le mélange 1,3-dichloropropène/chloropicrine, et 5 % seulement ont

encore utilisé du bromure de méthyle en 2004. Le mélange 1,3-dichloropropène/chloropicrine constitue également le principal produit de remplacement utilisé par les maraîchers de la région de Carnarvon en Australie, où le bromure de méthyle n'est plus disponible depuis 2002 (VDPI, 2005).

Des préparations émulsifiables de 1,3-dichloropropène et de chloropicrine sont homologuées aux Etats-Unis et ailleurs, et on les adopte de plus en plus. L'InLine (1,3-dichloropropène + chloropicrine émulsifiables) et le Telone EC (1,3-dichloropropène émulsifiable) appliqués par le biais de lignes de goutte-à-goutte enterrées ont assuré une protection excellente contre un certain nombre d'organismes pathogènes et de nuisibles du sol (nématodes et mauvaises herbes) dans le cas des melons, des agrumes, du raisin et des fraises (Ajwa *et al.* 2002 ; Martin, 2003 ; Martinez *et al.* 2000). L'application simultanée ou successive de 1,3-dichloropropène et de chloropicrine par le biais de lignes de goutte-à-goutte donne également des résultats analogues à ceux du bromure de méthyle pour les légumes et les fraises en Grèce et en Italie (Loumakis, 2004 ; Spotti, 2003, 2004). Il ressort de l'expérience tirée d'une adoption commerciale étendue en Italie que le bromure de méthyle utilisé traditionnellement peut, dans la majorité des cas, être remplacé valablement dans la région et que le coût du 1,3-dichloropropène et de la chloropicrine concurrence favorablement celui du bromure de méthyle (Spotti, 2004). En Grèce, le coût d'une fumigation à l'aide de 1,3-dichloropropène et de chloropicrine (appliqués simultanément par le biais de lignes de goutte-à-goutte) est également analogue à celui d'une fumigation au bromure de méthyle, les deux traitements coûtant environ 6 000 euros/ha (Loumakis, 2004).

En 2002, environ 10 % des champs de fraises de Californie ont été fumigés au goutte-à-goutte (au 1,3-dichloropropène et/ou à la chloropicrine) ; la superficie fumigée au goutte-à-goutte a augmenté pour atteindre 20 % selon les estimations en 2003 et devrait s'accroître encore en 2004 (Trout et Damodaran, 2004). La superficie consacrée à la production de fraises en Californie qui a été traitée à l'aide de 1,3-dichloropropène ou d'un mélange 1,3-dichloropropène/dichloropicrine est passée de 42 ha (104 acres) en 2000 à 2 176 ha (5 378 acres) (estimation) en 2003 (Trout et Damodaran, 2004), et a donc été multipliée par 50 en deux ans.

Les restrictions réglementaires (plafonds fixés par les municipalités) auront tendance à limiter l'extension de l'utilisation du 1,3-dichloropropène dans certaines régions de Californie, et la topographie karstique en restreint l'emploi dans certaines parties de la Floride ; son utilisation n'est pas autorisée dans certains endroits comme l'Ile-du-Prince-Edouard au Canada. Dans ces deux derniers cas, cette restriction tient au risque de contamination des eaux souterraines qui pourrait se produire avec certains types de topographie. Là où l'utilisation de 1,3-dichloropropène fait l'objet de restrictions, on étudie de plus en plus la possibilité d'utiliser d'autres fumigants (en particulier le métam-sodium) pour remplacer le 1,3-dichloropropène ou réduire les doses de préparations de 1,3-dichloropropène. En Californie, par exemple, des essais de démonstration ont confirmé des travaux de recherche antérieurs qui avaient montré que le métam peut être appliqué après un mélange 1,3-dichloropropène/chloropicrine afin de réduire les taux d'application de ce dernier sans perte de rendement (Ajwa *et al.* 2004). D'autres travaux de recherche ont montré que la chloropicrine et le métam (appliqués consécutivement) peuvent permettre d'obtenir des rendements analogues à ceux des mélanges bromure de méthyle/chloropicrine et 1,3-dichloropropène/chloropicrine – pour plus de précisions, voir la section sur le métam-sodium et la chloropicrine.

Fumigants de remplacement associés à un film pratiquement imperméable

On se penche de plus en plus sur l'emploi de films pratiquement imperméables comme moyen d'accroître l'efficacité des fumigants de remplacement et/ou de réduire les doses. Des doses réduites de 1,3-dichloropropène/chloropicrine appliquées sous film pratiquement imperméable ont assuré un degré de protection contre *Pratylenchus penetrans* et *Meloidogyne hapla* analogue à celui d'un mélange bromure de méthyle/chloropicrine (Lopez-Aranda *et al.* 2004). Des études effectuées aux Etats-Unis ont montré que l'application de fumigants sous film pratiquement imperméable ou film barrière équivalent peut renforcer la protection contre les mauvaises herbes et les organismes pathogènes (Ajwa *et al.* 2004; Gilreath *et al.*

2005; Gilreath *et al.* 2003; Hamill *et al.* 2004; Noling et Gilreath, 2004). Des études sur les fraises ont montré que l'utilisation d'un film pratiquement imperméable avec des fumigants de remplacement (chloropicrine seule ou mélange 1,3-dichloropropène/chloropicrine) permettait de renforcer l'efficacité de la plupart des traitements tout en accroissant les rendements par rapport aux films PE standard utilisés en Californie (Ajwa *et al.* 2004).

Métam-sodium et chloropicrine

Des travaux de recherche antérieurs ont montré que l'application de métam-sodium puis de doses réduites d'un mélange 1,3-dichloropropène/chloropicrine (appliqué au goutte-à goutte) ou de chloropicrine protégeait contre les nuisibles du sol dans les fraises et donnait des rendements en fruits équivalents à ceux d'une fumigation standard à l'aide d'un mélange bromure de méthyle/chloropicrine (Ajwa *et al.* 2004). Des études de l'IR-4 ont révélé que la chloropicrine suivie d'une application au goutte-à-goutte de métam-sodium ou de métam-potassium constituait une solution de remplacement efficace du bromure de méthyle (Norton, 2004). Le métam-sodium utilisé en association avec la chloropicrine s'est révélé efficace pour lutter contre le souchet comestible (*Cyperus esculentus*) (Hutchinson *et al.* 2004). La combinaison chloropicrine et métam-sodium, appliqués habituellement l'un après l'autre, suscite un intérêt croissant, en particulier dans les régions où les plafonds fixés par les municipalités et des règlements restreignent l'utilisation de 1,3-dichloropropène. En Californie, le métam-sodium est recommandé comme traitement complémentaire après application au goutte-à-goutte de produits de remplacement, en particulier la chloropicrine, pour améliorer la protection contre les mauvaises herbes (Trout et Damodaran, 2004). En Australie, la chloropicrine et le métam appliqués consécutivement sont également recommandés comme solution de remplacement très efficace pour les champignons, les nématodes et les mauvaises herbes (Shanks *et al.* 2004).

Le dazomet (qui, comme le métam, produit de l'isothiocyanate de méthyle) a été utilisé pour le traitement de la surface des lits avec un mélange 1,3-dichloropropène/chloropicrine ou de la chloropicrine (appliqués dans les lits) lors de nombreux essais sur la fraise et la tomate qui ont constamment donné de bons résultats comparables à ceux d'un mélange bromure de méthyle/chloropicrine (Norton, 2004).

Métam-sodium, dazomet (producteurs d'isothiocyanate de méthyle)

Les fumigants produisant de l'isothiocyanate de méthyle – métam-sodium et dazomet – comme produits de remplacement du bromure de méthyle n'ont guère été employés dans le passé en raison de l'irrégularité des résultats obtenus et des délais de remise en culture plus longs que pour les mélanges bromure de méthyle/chloropicrine. Le dazomet n'a suscité qu'un intérêt limité à cause de son coût et parce qu'il n'est pas homologué dans certains pays (les Etats-Unis par exemple), tout comme le métam-sodium en raison de sa dégradation accélérée dans certaines circonstances (par exemple, sols sableux à pH élevé (Matthiessen *et al.* 2003)). Toutefois, ces produits restent considérés comme des substituts possibles des mélanges bromure de méthyle/chloropicrine, car ils permettent de lutter à la fois contre les organismes pathogènes et les mauvaises herbes et offrent en outre une solution de rechange permettant de se passer de chloropicrine ou de 1,3-dichloropropène. Une meilleure connaissance du mouvement des fumigants, la mise au point de méthodes permettant d'appliquer ces produits plus régulièrement dans le sol et leur emploi en association avec d'autres traitements ont accru la régularité de ces produits (Norton, 2003). Ainsi, on utilise des granules de dazomet à la place d'un mélange de bromure de méthyle et de chloropicrine dans certains secteurs à valeur élevée en Australie, comme le gazon des terrains de golf, évolution qui est facilitée par un matériel d'application amélioré (Mitchell 2004, communication personnelle, Park et Landschoot, 2003). Des travaux de recherche récents montrent que le dazomet peut constituer un produit de remplacement possible du bromure de méthyle pour la lutte contre les mauvaises herbes (*Poa annua*) dans les graminées à gazon (Branham *et al.* 2004). Certains gros producteurs de fleurs coupées du Queensland en Australie utilisent du dazomet en association avec la vapeur (VDPI, 2005).

Le métam-sodium (appliqué au goutte-à-goutte) est utilisé comme produit de remplacement du bromure de méthyle par certains producteurs de poivrons d'Australie (VDPI, 2004). En 2004, environ 25 % des producteurs de poivrons et de légumes de la région de Bundaberg en Australie ont utilisé du métam-sodium en remplacement du bromure de méthyle (VDPI, 2005). Au Costa Rica, certains producteurs ont adopté le métam-sodium depuis un certain temps en raison de la forte opposition à l'utilisation de bromure de méthyle (VDPI, 2004). La régularité du métam-sodium a été améliorée grâce à de nouvelles techniques d'application par le système d'irrigation au goutte-à-goutte ou par injection – bêchage (Barel, 2004). Des directives pour l'utilisation du métam-sodium et du métam-potassium appliqués au goutte-à-goutte aux Etats-Unis ont été publiées (Duerksen et Ajwa, 2004). Dans la région de Carnarvon en Australie, un nouvel équipement permet d'appliquer le métam-sodium plus efficacement tout en déposant un paillage plastique, tandis que dans la région de Sydney, certains producteurs ont construit leur propre matériel pour appliquer le métam avec plus de précision (VDPI, 2005). On améliore également la régularité du métam en l'associant à d'autres fumigants (par exemple, 1,3-dichloropropène ou chloropicrine). Ainsi, on recourt commercialement à un mélange 1,3-dichloropropène/chloropicrine EC suivi d'une application de métam à une semaine d'intervalle comme solution de remplacement du bromure de méthyle dans des cultures de fraises aux Etats-Unis sur une superficie limitée, et l'utilisation de chloropicrine suivie d'une application de métam s'est également développée (Norton 2003, Trout et Damodaran 2004).

Le métam-sodium a été adopté comme produit de remplacement du bromure de méthyle dans différentes régions et pour diverses cultures, par exemple au Chili (tomates et poivrons de serre, replantation de vignes et replantation d'arbres fruitiers à noyaux), en Afrique du Sud (bulbes cultivés en champ, laitues), en France, aux Pays-Bas et en Belgique (fraises cultivées en champ) (Carrasco *et al* 2002 ; Barel 2003b ; Koppenol 2004 ; Mutitu et Barel 2003). En Espagne, le métam-sodium est utilisé sur environ 1 500 ha de fraises, 1 400 ha de tomates cultivées en champ, 120 ha de tomates cultivées sous abri et 600 ha de poivrons en étant appliqué par le biais du système d'irrigation au goutte-à-goutte ou par injection. En Italie, on utilise le métam-sodium sur environ 900 ha de légumes de serre, 350 ha de tomates et environ 180 ha de fleurs, en l'appliquant principalement par le système d'irrigation au goutte-à-goutte mais aussi par injection (Rabasse 2004, communication personnelle ; Barel 2004). De nombreux projets d'élimination financés par le Fonds multilatéral ont adopté le métam-sodium appliqué souvent par le système d'irrigation au goutte-à-goutte comme produit de remplacement important du bromure de méthyle.

Le métame-potassium est utilisé dans des sols à forte teneur en manganèse ou en sels (Rabasse, communication personnelle). Il est employé par exemple en Afrique du Sud pour des cultures telles que les laitues, les lys et les bulbes dans des champs où les sels posent un problème (Koppenol, communication personnelle). Il bénéficie d'un regain d'intérêt dans le cadre d'essais de produits de remplacement du bromure de méthyle effectués dans plusieurs pays.

Au cours des dix dernières années, la mise au point de techniques d'injection à l'aide d'une bêcheuse rotative en Europe du Nord a accru sensiblement l'efficacité de ces produits, en sorte qu'une protection plus régulière est assurée à des profondeurs allant jusqu'à 45 cm dans divers types de sols (Mulder 2001 ; Barel, 2004). Le matériel d'injection par bêchage rotatif permet d'éviter une contamination des eaux souterraines et satisfait aux prescriptions strictes applicables à la protection des eaux aux Pays-Bas (Mulder 2001). Les machines d'injection par bêchage rotatif se sont répandues dans un certain nombre de pays et pour différentes cultures, dont les fraises et les laitues (plein champ), les pommes de terre et les carottes en Belgique ; sur 1 000 ha de cultures (fraises, carottes, arbres fruitiers, pommes de terre) aux Pays-Bas ; environ 800 ha de fraises, de carottes, de laitues et d'autres cultures en France ; 300 ha de bulbes cultivés en champ et environ 400 ha de laitues en Afrique du Sud ; et pour la production de plusieurs cultures protégées dont les tomates et les poivrons au Chili (Carrasco 2003 ; Koppenol 2004 ; Peters 2004 ; Barel 2004). Dans certaines régions, le métam-sodium a la réputation d'être un fumigant d'efficacité variable. Cela tient probablement à une répartition inadéquate du fumigant, sauf dans des zones inhabituelles où l'on constate une dégradation accélérée. D'une manière générale, des techniques

d'application améliorées, comportant habituellement une répartition mécanique du métam-sodium dans le sol, ont conduit à une amélioration de la performance et de la fiabilité de ce fumigant.

1.2.2. Solutions de remplacement chimiques en cours de mise au point

Sulfure de diméthyle

Le sulfure de diméthyle a fait l'objet d'études et d'essais en France et en Italie ces dernières années. Appliqué sous film pratiquement imperméable, il a donné des rendements plus élevés que lorsqu'il est appliqué sous pellicule PEBD lors d'essais portant sur les fraises, mais dans les deux cas, les rendements ont été inférieurs à ceux obtenus avec un mélange standard bromure de méthyle/chloropicrine (Lopez-Aranda *et al.* 2004). Toutefois, le sulfure de diméthyle (125 kg/ha) associé à la chloropicrine (125 kg/ha) sous film pratiquement imperméable a donné des rendements égaux à ceux du bromure de méthyle lors d'essais sur les fraises (Lopez-Aranda *et al.* 2004). De nouvelles études sont nécessaires pour confirmer qu'il pourrait remplacer le bromure de méthyle.

Ethane dinitrile

L'éthane dinitrile (auss appelé cyanogène) donne des résultats prometteurs comme fumigant de remplacement du bromure de méthyle pour la désinfection des sols lors d'essais effectués en Australie pour les stolons de fraisiers, les fraises, les carottes et le gazon (Ren *et al.* 2003; Mattner *et al.* 2003). Lors d'une étude effectuée sur les stolons de fraisiers en Australie, l'éthane dinitrile a permis d'obtenir un rendement plus élevé (pour ce qui est du nombre de stolons) que le bromure de méthyle (Porter *et al.* 2004b). Les premiers résultats montrent qu'il possède un spectre d'efficacité étendu contre les organismes pathogènes et les mauvaises herbes et l'éthane dinitrile a assuré une protection contre les mauvaises herbes et les maladies de même que des rendements des cultures équivalents à ceux du bromure de méthyle lors d'essais préliminaires (VDPI, 2005). Toutefois, l'éthane dinitrile n'a pas été testé de manière approfondie contre les nématodes (Matner *et al.* 2003). Il reste dans le sol pendant peu de temps, en sorte que les délais de remise en culture pourraient être brefs (VDPI, 2005). Il exige une couverture à l'aide d'un film PEBD pour donner de meilleurs résultats. Une société s'efforce de faire homologuer l'éthane dinitrile en Australie (VDPI, 2005).

Iodure de méthyle

L'iodure de méthyle (iodométhane) continue à présenter des efficacités analogues à celles du bromure de méthyle dans le cadre d'essais (Ajwa *et al.* 2002, 2003; Hutchinson, 2004). La performance biologique de l'iodure de méthyle associé à la chloropicrine (50:50 et 33:67) a été constamment égale à celle du mélange bromure de méthyle/chloropicrine lorsqu'il était utilisé à des taux supérieurs à 330 g/ha en assurant un large spectre de protection contre les nématodes, les champignons pathogènes et les mauvaises herbes dans le cadre d'études de l'IR-4 (Norton, 2004). L'iodure de méthyle s'est révélé aussi efficace que le bromure de méthyle lors d'essais préliminaires effectués aux Etats-Unis sur des plantes ornementales, par exemple dans des pépinières de rosiers pour lutter contre les nématodes (Schneider *et al.* 2004) et dans des plantations de *Liatris* pour lutter contre les champignons du sol (Gerick, 2004). Les essais effectués avec cette substance chimique dans des cultures de *Ranunculus* au niveau des exploitations ont également donné des résultats satisfaisants (Johnson, 2005). En Australie, les premiers résultats donnent à penser que l'iodure de méthyle se comporte aussi bien que le bromure de méthyle dans la production de fleurs coupées (VSPI, 2005). L'iodure de méthyle a assuré des rendements supérieurs d'environ 22 % à ceux du bromure de méthyle (pour ce qui est du nombre de stolons par mètre de rang) lors d'une étude sur les stolons de fraisiers en Australie (Porter *et al.* 2004b). Des essais en champ effectués en Australie ont montré que l'iodure de méthyle assure une protection contre les mauvaises herbes, les maladies et les nématodes ainsi que des rendements des cultures qui sont équivalents à ceux du bromure de méthyle (VDPI, 2005).

Les études récentes sont axées sur l'abaissement de la dose unitaire et la validation de sa performance lorsqu'il est utilisé en association avec la chloropicrine (Browne *et al.* 2003; Dikson *et al.* 2003; Elmore *et al.* 2003; Ren *et al.* 2003; Schneider *et al.* 2003; Hutchinson, 2004). Dans le cadre des recherches, on étudie également comment réduire les risques d'exposition hors site au iodure de méthyle à la suite du dégazage post-fumigation. Son homologation a été demandée aux Etats-Unis où la décision pourrait intervenir avant la fin de 2005. En Australie, on effectue des essais d'homologation pour évaluer deux préparations d'iodure de méthyle/chloropicrine (50:50 et 30:70), et le fabricant s'efforce d'obtenir une homologation (VDPI, 2005).

Oxyde de propylène

Bien que l'oxyde de propylène soit homologué pour la protection de certaines denrées entreposées, des essais ont montré qu'il possède un spectre d'activités étendu comme fumigant du sol et qu'il donne de bons résultats contre les mauvaises herbes, les nématodes et les champignons pathogènes lorsqu'il est utilisé à des taux de 170 l/ha par acre ou davantage (Norton, 2003, 2004).

Des applications dans le sol à l'aide d'un injecteur à dents au taux d'environ 50 l/ha ont été aussi efficaces que celles d'autres fumigants utilisés lors d'essais effectués aux Etats-Unis, mais de nouvelles études sont nécessaires pour améliorer la régularité des traitements. Les essais effectués sur les fraises en Espagne en 2003/04 ont montré que l'oxyde de propylène sous film pratiquement imperméable donnait des rendements qui étaient statistiquement analogues à ceux du bromure de méthyle (Lopez-Aranda *et al.* 2004). L'oxyde de propylène a donné des rendements élevés pour le poivron lors d'essais effectués à Bundaberg, en Australie (VDPI, 2005).

Azide de sodium

On poursuit les essais entrepris aux Etats-Unis en vue d'évaluer les méthodes et les taux d'application efficaces d'azide de sodium pour assurer une protection régulière contre les mauvaises herbes, les nématodes et les champignons pathogènes. De bons résultats ont été obtenus lors d'essais sur les mauvaises herbes et les nématodes pour la tomate et le poivron, la fusariose du collet des tomates et l'herbe des Bermudes hybride en Alabama (Rodriguez-Kabana *et al.* 2003ab ; Guertal *et al.* 2003 ; Walker *et al.* 2003).

Lors de plusieurs essais effectués dans des pépinières/replantations de vigne en Californie, de l'azide de sodium a été appliqué par les lignes d'irrigation au goutte-à-goutte au taux de 36 kg/ha. A la fin des première et deuxième périodes de végétation, les populations de nématodes des racines sur les variétés sensibles de vigne avaient augmenté dans les parcelles traitées à l'azide pour atteindre des niveaux comparables à ceux constatés dans les parcelles témoins non traitées et étaient sensiblement plus élevés que dans les parcelles traitées au bromure de méthyle (Schneider *et al.* 2002a ; Schneider *et al.* 2003). A la récolte, de 20 à 70 % des plants des pépinières de vigne provenant des parcelles traitées à l'azide présentaient des galles des racines contre 75 % pour les parcelles non traitées et 0 % pour celles traitées au bromure de méthyle (Schneider *et al.* 2002b). Lors d'un autre essai effectué dans une pépinière/replantation de vigne, les traitements à l'azide ont ramené les populations de nématodes des agrumes au moment de la plantation à des niveaux comparables à ceux constatés dans les parcelles traitées au bromure de méthyle (Schneider *et al.* 2003). On ne dispose pas encore de données sur les niveaux de population de nématodes et l'ampleur de la galle des racines à la récolte. Des essais supplémentaires à l'aide de la préparation et du protocole d'application en plusieurs étapes utilisés en Alabama sont prévus.

Le programme de l'IR-4 a donné des résultats efficaces pour l'azide de sodium (SEP-100) lors des deux dernières saisons, alors que les années précédentes, les résultats avaient été irréguliers. Cette amélioration était due à une meilleure compréhension de la façon dont il convient d'appliquer le produit (Norton, 2004).

Fluorure de sulfuryle

Les résultats d'expériences effectuées antérieurement pour la tomate, le concombre et le tabac ont montré que le fluorure de sulfuryle à la dose de 25 à 50 g/m² présentait une bonne efficacité pour lutter à la fois contre les champignons pathogènes transmis par le sol et les nématodes (Cao, 2005). Le rendement des cultures après application de fluorure de sulfuryle était analogue à celui obtenu dans les parcelles traitées au bromure de méthyle. Le fluorure de sulfuryle peut être appliqué plus facilement que le bromure de méthyle car il est gazeux aux températures ambiantes normales.

Il peut être appliqué par temps froid sans qu'il soit nécessaire d'utiliser un pulvérisateur chauffé. Le fluorure de sulfuryle se décompose rapidement dans le sol, en sorte que le délai de remise en culture est plus court que pour le bromure de méthyle. En Chine, le fluorure de sulfuryle continue à faire l'objet d'essais et est en voie d'homologation comme fumigant du sol.

1.2.3. Progrès réalisés dans le domaine des solutions de remplacement non chimiques

On continue à considérer toute une série de traitements non chimiques comme des solutions de remplacement du bromure de méthyle, souvent dans le cadre de stratégie intégrée de gestion des nuisibles. Plusieurs méthodes non chimiques de désinfection des sols peuvent donner des rendements des cultures égaux ou supérieurs à ceux obtenus par fumigation du sol au bromure de méthyle (Shanks *et al.* 2004). Toutefois, la connaissance des facteurs environnementaux influant sur leur efficacité est souvent plus décisive que pour la fumigation (Shanks *et al.* 2004). Les méthodes non chimiques peuvent souvent être associées à des méthodes chimiques pour assurer une lutte optimale contre les organismes pathogènes, les nématodes et d'autres nuisibles. Ainsi, l'association d'un fumigant de remplacement à des pratiques d'hygiène améliorées et à des variétés résistantes peut donner des résultats supérieurs à ceux obtenus avec la seule fumigation (Shanks *et al.* 2004).

La présente section passe en revue certains des principaux changements intervenus en ce qui concerne plusieurs méthodes non chimiques de remplacement du bromure de méthyle, mais elle ne traite pas de l'ensemble des solutions envisagées ou adoptées pour remplacer le bromure de méthyle dans des circonstances particulières.

Biofumigation

On recourt actuellement à la biofumigation en association avec d'autres stratégies de remplacement dans certains secteurs en Australie. Dans le secteur des stolons de fraisiers, par exemple, on utilise des brassicas pour la biofumigation en rotation avec la production de stolons de fraisiers (Shanks *et al.* 2004).

Plants greffés

On recourt largement au greffage de plantes tant vivaces qu'annuelles (amandes, tomates, cucurbitacées), dans de nombreux pays car il offre divers avantages commerciaux. Associés à d'autres traitements, les plants greffés peuvent éviter d'avoir à procéder à une fumigation au bromure de méthyle (De Miguel, 2004b). En Italie, par exemple, on utilise des plants greffés avec des fumigants de remplacement (par exemple, le 1,3-dichloropropène ou la chloropicrine) à la place du bromure de méthyle (Spotti, 2003, 2004). Les résultats obtenus, pour ce qui est des rendements de valeur marchande, de l'indice de galle ou de la gravité des maladies, sont normalement aussi bons que pour le bromure de méthyle (Koren, 2002 ;

Besri, 2003 ; Browne *et al.* 2003 ; Hafez *et al.* 2003 ; Minuto *et al.* 2003). L'applicabilité des plants greffés peut être restreinte, car elle est fonction des porte-greffes tolérants aux maladies et aux nuisibles locaux qui sont disponibles.

Dans la région méditerranéenne, le greffage est une des solutions de remplacement du bromure de méthyle le plus souvent employées pour les cucurbitacées (pastèque, melon et concombre) (De Miguel 2004a, c). Des porte-greffes résistants sont disponibles pour des nuisibles et des organismes pathogènes comme *Meloidogyne* sp. et *Fusarium oxysporum* dans le cas du melon, de la pastèque et du concombre, *Monosporascus cannonballus* dans celui du melon, et *Phomopsis sclerotiodes* dans celui du concombre (De Miguel, 2004a, c).

En France, le greffage est utilisé sur 1 000 ha de melons où l'on a constaté qu'il était aussi efficace qu'une fumigation au bromure de méthyle pour *Phomopsis sclerotiodes*. Le greffage est un outil important pour lutter contre *Fusarium oxysporum* pour le concombre en Grèce et le melon en Turquie. Associé à d'autres pratiques, il a remplacé le recours au bromure de méthyle pour la pastèque en Espagne où quelque 30 millions de plants sont greffés tous les ans sur une superficie d'environ 12 000 ha (principalement à Almería, à Valence et à Murcie). Le greffage est utilisé pour 5 à 6 millions de plants de melons et environ 20 millions de plants de pastèques en Italie. La pratique du greffage se répand dans la production de cucurbitacées en Jordanie et en Israël (De Miguel, 2004a). Le greffage est utilisé couramment au Japon et en République de Corée pour les cucurbitacées et les aubergines (Lee, 2003). On a constaté que le greffage associé au cyanamide de calcium constituait une solution de remplacement efficace du bromure de méthyle pour lutter contre la fusariose des melons (Blestos *et al.* 2005).

En Espagne, le nombre de plants de tomates greffés est passé de un million il y a 4 ou 5 ans à environ 45 millions en 2003/04. Des plants de tomates greffés sont utilisés en France sur environ 2 800 ha pour prévenir des problèmes tels que la racine liégeuse due à *Pyrenochaeta lycopersici* (De Miguel, 2004b ; Beyries, 1974). En Grèce, l'association du greffage à la solarisation est considérée comme une bonne solution de remplacement au bromure de méthyle pour la tomate. Au Maroc, les plants de tomates greffés sont considérés comme une solution viable de remplacement du bromure de méthyle lorsqu'ils sont associés à des fumigants de remplacement (1,3-dichloropropène, chloropicrine, métam), à la solarisation, à la biofumigation ou à d'autres pratiques (De Miguel, 2004b ; Besri, 2000, 2003).

L'Italie a enregistré une augmentation continue de la demande de plants de tomates greffés. Quelque 10 à 12 millions de plants de tomates sont greffés tous les ans (Spotti, 2004 ; De Miguel, 2004b). Au cours des trois dernières années, l'Italie a connu une véritable « explosion » de la demande d'aubergines greffées. En Sardaigne, la production de plants de tomates greffés est passée de presque rien en 1996 à environ 1,7 million de plants en 2003 (Leoni et Ledda 2004). La zone de production de tomates fumigées au bromure de méthyle en Sardaigne est tombée de 50 % en 1992 à 4 % environ à l'heure actuelle, en raison de modifications agronomiques et notamment de l'adoption de plants greffés et de variétés résistantes (Leoni et Ledda, 2004 ; Leoni *et al.* 2004).

Traitements thermiques

La vaporisation est une méthode bien établie de désinfection des sols, notamment en remplacement du bromure de méthyle. Récemment, des traitements à l'eau chaude ont également été mis au point pour remplacer le bromure de méthyle. Des machines mobiles utilisant de l'air chaud en sont à un stade avancé de développement. Elles pourront sans doute être utilisées à la fois pour les cultures protégées et les systèmes de production extensive à petite échelle et semblent avoir un rendement énergétique supérieur à celui des systèmes de vaporisation pour le même apport d'énergie et le même coût.

Traitement à l'air chaud

Des machines télécommandées de stérilisation des sols qui utilisent de l'air chaud ont été mises au point en Israël et sont perfectionnées par une société néerlandaise (Peters, 2004). On a signalé qu'elles étaient aussi efficaces que le bromure de méthyle et d'autres fumigants pour la désinfection des sols (Cultiv, 2004). Ces machines peuvent traiter des bandes de sol d'une longueur allant jusqu'à 250 m en une heure environ. Des modèles de ces machines sont en cours de mise au point pour les systèmes de culture extensive et de culture protégée. De nouveaux perfectionnements et une transposition à l'échelle commerciale sont nécessaires avant que leur potentiel pour le remplacement du bromure de méthyle puisse être évalué pleinement avec précision.

Traitement à l'eau chaude

Le traitement à l'eau chaude consiste à appliquer de l'eau à 80-95°C sur le champ afin de porter la température du sol à des niveaux suffisamment élevés pour détruire les organismes pathogènes. Cette mesure de lutte a été récemment mise au point au Japon et est adoptée pour les tomates, le melon, le concombre, la pastèque, l'épinard, les fleurs coupées et d'autres cultures (Nishi, 2002). Le traitement à l'eau chaude est utile pour lutter contre les maladies fongiques, les maladies bactériennes, les nématodes et les mauvaises herbes mais il ne s'est pas révélé efficace contre les maladies virales (Uematsu *et al.*, 2003). Cette technique est testée depuis plus de dix ans et s'est révélée efficace pour lutter contre la verticilliose (*Verticillium dahliae*) et la racine liégeuse (*Pyrenochaeta lycopersici*) de la tomate. Il a également été signalé qu'elle permettait de bien désinfecter les substrats sans sol utilisés pour la production de gerberas (Uematsu *et al.* 2003b).

Des systèmes d'application de l'eau chaude sont fournis par neuf sociétés japonaises. Il existe deux types de systèmes : les systèmes à tubes et les systèmes tractés. Dans les systèmes à tubes, l'eau chaude est pulvérisée à l'aide de tubes installés sur le champ. Dans les systèmes tractés, l'eau chaude est apportée à la surface du sol à l'aide d'un matériel d'arrosage constitué de tuyaux métalliques conçus pour rouler sans heurt sur le sol lorsqu'ils sont tractés. Le prix du traitement varie de 27 000 à 64 000 dollars des E.-U. par hectare selon le système, et il est possible de traiter jusqu'à 300 m² par jour (Uematsu *et al.* 2003a).

Vaporisation

On recourt de plus en plus à la vaporisation ou pasteurisation comme solution de remplacement du bromure de méthyle, en particulier dans les systèmes de culture intensive protégée à haute valeur comme les fleurs et les légumes. Cela tient en grande partie au fait que l'on peut disposer d'équipements nouveaux et plus efficaces, par exemple pour la vaporisation en dépression et la vaporisation sous cloche (pour les planches de semis) ainsi que de matériel amélioré et plus souple pour la vaporisation sous bâche (Carrasco, 2003; Pacett, 2003; Runia, 2000; Barel, 2003a). La vaporisation en dépression permet de traiter les sols à une profondeur beaucoup plus grande que la vaporisation sous bâche et utilise moitié moins de combustibles que les méthodes sous bâche (Runia, 2000). Les différentes options offertes pour l'alimentation des chaudières en combustible, par exemple le gaz en Argentine et en Bolivie et le bois au Brésil (ONUDI, 2005a; Barel, 2005), aident les producteurs à réduire les coûts, qui restreignent souvent le recours à cette solution de remplacement.

La vaporisation est par exemple employée couramment à l'échelle commerciale en Australie (fleurs coupées), aux Etats-Unis (production de fleurs coupées en Californie), en Afrique du Sud (tomates, boutures de chrysanthèmes), au Kenya (boutures de chrysanthèmes), en Ouganda (boutures de chrysanthèmes), en Tanzanie (fleurs coupées et boutures de chrysanthèmes), en Colombie (fleurs coupées et boutures), au Brésil (fleurs et boutures), en Italie (fleurs coupées, plantes ornementales et boutures), en Belgique (fraises protégées), plants de tomates, de laitues, de poireaux et d'oignons), aux Pays-Bas (environ 50 % de la production de fleurs coupées dont 900 ha de chrysanthème, de boutures et de radis),

au Royaume-Uni (tomates et laitues protégées), au Liban (fraises) et au Guatemala (fleurs coupées), ainsi que pour d'autres cultures et dans d'autres pays mentionnés dans le rapport d'évaluation du Comité des choix techniques pour le bromure de méthyle de 2002 (Shanks *et al.* 2004; VDPI, 2004; Barel, 2004; Solís et Calderón, 2002; Haroutunian, 2003; Ellis, 1991; Gullino, 1992; Pizano, 2003). La vapeur a été utilisée sur environ 2 000 ha en France en 2000 (Fritsch, 2002).

La vaporisation est également comparable au bromure de méthyle pour la stérilisation des plateaux multicellules ou des plateaux de plantules. La stérilisation est réalisée le plus souvent dans une enceinte ou une chambre fermée à l'intérieur de laquelle on fait circuler la vapeur à une température contrôlée. Parmi les équipements courants qui peuvent être stérilisés par cette méthode figurent les plateaux et les pots pour la production de plantules de plantes tels que le tabac et les laitues. Ce système est utilisé dans de nombreux pays, dont les États-Unis, les Pays-Bas, la Belgique, le Chili, l'Afrique du Sud, l'Argentine et l'Ouganda (Nesmith, 1997; Hensley, 2002; Pearce et Palmer, 2002; Institut de technologie nutritionnelle et alimentaire, 2003; Melton et Broadwell, 2003).

La vapeur a remplacé le bromure de méthyle pour la stérilisation des substrats dans un certain nombre de domaines. Ainsi, certaines pépinières d'arbres forestiers ont adopté des traitements à la vapeur (systèmes en dépression) dans des casemates ou des conteneurs au Chili ; *Trichoderma* est mélangé au substrat après le traitement à la vapeur, ce qui assure aux boutures une protection permanente contre la maladie (Carrasco *et al.* 2002, 2003; Barel, 2003b). La Bolivie a récemment adopté de petites chaudières pour la stérilisation des substrats (neufs et réutilisés) pour les plants de pomme de terre, les légumes et les plantes ornementales, dans le cadre d'un projet du PNUD relatif à l'élimination du bromure de méthyle (Barel, 2005). On a également adopté la vapeur en remplacement du bromure de méthyle pour les substrats aux Pays-Bas et pour les pépinières en Afrique du Sud (Jansen, 2004; Runia, 2000).

La vaporisation de la tourbe est très difficile à l'aide des méthodes normales de vaporisation sous bâche, mais elle est très efficace lorsque l'on recourt aux méthodes en dépression. Dans le cas de la vaporisation en dépression, le rendement énergétique est meilleur que pour les autres méthodes de vaporisation (Barel, 2003a; Runia, 2000).

Cultivars résistants

La gamme des variétés résistantes aux organismes pathogènes qui exigeaient auparavant une fumigation au bromure de méthyle s'élargit, en particulier pour la tomate et le melon. Dans de nombreux systèmes de production végétale, on recourt largement aux cultivars résistants pour lutter contre de nombreux organismes pathogènes transmis par le sol (Laterrot, 2002). Des variétés résistantes de plusieurs fleurs cultivées commercialement – en particulier d'œillets présentant différents degrés de résistance à la fusariose – ont été mises au point dans plusieurs pays, par exemple en Italie, en Israël et en Espagne (Llauradó, 2004). Le recours à des cultivars résistants et au greffage comme seuls traitements ne permettraient généralement pas aux producteurs de remplacer le bromure de méthyle. Toutefois, une intégration à d'autres traitements ou des stratégies intégrées de gestion des nuisibles peuvent se révéler aussi efficaces que la fumigation au bromure de méthyle (Gantz *et al.* 2002; Sachs, 2002).

Solarisation

On continue à recourir de plus en plus à la solarisation à l'échelle commerciale dans certains pays où les conditions culturelles et climatiques font que cette technique constitue une solution de remplacement efficace du bromure de méthyle (Roe *et al.* 2004; Abdul-Baki *et al.* 2004; Cantliffe et Vansickle, 2003b). Au Costa Rica, par exemple, on estime que 20 % de la superficie consacrée à la culture du melon (environ 2 000 ha) sont désormais traités par solarisation, laquelle s'est révélée particulièrement efficace en association avec le métam-sodium (Chaverri, 2004). On a signalé une évolution analogue en Chine pour

la lutte contre les maladies transmises par le sol qui touchent les fraises et les tomates (Cao, 2005, communication personnelle).

Une méthode appelée « solarisation du sol à haute température » ou « solarisation sous double tente » a été mise au point au Centre agricole Davis and Kearney de l'Université de Californie Riverside comme mesure de lutte contre les ravageurs s'attaquant aux jeunes plants ou aux plants repiqués et aux plantes en conteneurs (y compris les plants) et pour les jardiniers amateurs (Stapleton *et al.* 1999, 2000). Ce système a été approuvé par le Department of Food and Agriculture de Californie pour le traitement de la terre en conteneurs. La terre doit se trouver dans des sacs de plantation en polyéthylène ou en tas n'ayant pas plus de 30 cm de haut, être placée sur une pellicule de film polyéthylène, une plateforme en béton ou dans un autre matériau qui ne permettra une réinfestation de la terre et être recouverte d'une feuille de polyéthylène clair. Une couche supplémentaire de polyéthylène clair est suspendue au-dessus de la première afin de créer au-dessus de la terre une chambre où l'air est calme. La teneur de la terre en humidité doit être proche de la capacité au champ. Il faut surveiller et enregistrer la température de la terre au centre du fond du tas ou du sac afin de veiller à ce qu'elle atteigne le niveau requis (70°C pendant 30 minutes continues ou 60°C pendant 60 minutes continues) (Stapleton *et al.* 1999, 2000).

Des travaux de recherche menés en Israël donnent à penser qu'il est possible d'accroître l'efficacité de la solarisation grâce à des couvertures plastiques spéciales, par exemple, à un double paillage constitué d'un polymère noir et d'un film anti-goutte, pour lutter contre le flétrissement soudain des melons (Arbel *et al.* 2003). La solarisation associée à des amendements organiques paraît constituer une solution de remplacement à long terme du bromure de méthyle pour les régions au climat chaud comme la Floride (Ozores-Hampton *et al.* 2004, 2005).

Au Brésil, un dispositif bon marché a été mis au point pour le traitement de petits volumes de substrats. Il repose sur le principe de la solarisation et est connu sous le nom de « collecteur solaire ». Il se compose de six tubes métalliques peints en noir de 15 cm de diamètre, disposés parallèlement dans une boîte en bois de 1,5 m de long, 1 m de large et 0,3 m de profondeur. On place un film plastique transparent au-dessus de la boîte et une feuille d'aluminium au fond afin d'accroître encore le réchauffement. La terre ou le substrat est ensuite placé à l'intérieur et récupéré au bout de 24 heures avec une journée d'ensoleillement complet. Sa température atteint entre 70 et 80°C, ce qui garantit une désinfection complète. Le substrat est prêt à l'emploi immédiatement après le traitement ou il peut être entreposé pour être utilisé ultérieurement ; il n'est possible de traiter que 120 l de substrat à la fois, mais le faible coût du collecteur permet aux producteurs de construire plusieurs unités pour répondre à leurs besoins. Des travaux de recherche ont révélé qu'une journée d'ensoleillement complet suffisait pour éliminer plusieurs champignons pathogènes, dont des espèces de *Fusarium*, *Pythium*, *Rhizoctonia*, *Sclerotium*, *Sclerotinia*, *Phytophthora*, ainsi que des nématodes comme *Meloydogyne* (galle des racines). Le coût annuel du traitement par mètre cube de substrat s'est révélé comparable à celui du bromure de méthyle. Au cours des dix dernières années, un grand nombre de producteurs, de pépinières et d'instituts de recherche ont adopté ce système en obtenant des résultats excellents (Ghini, 2004).

Substrats

La tendance à l'adoption de substrats pour les cultures intensives protégées (par exemple, pour les fleurs coupées, les plants de pépinières et les légumes) reste forte tant dans les pays visés au paragraphe 1 de l'article 5 que dans les pays qui n'y sont pas visés (De Hoog, 2001; Kipp *et al.*, 2000; Pizano, 2003; Savvas et Passam, 2002; ONUDI, 2004; Savvas, 2003; Urrestrazu, 2004; Pizano, 2004a, 2005; Leoni *et al.* 2004). Les investissements initiaux sont normalement élevés, mais il a été prouvé que l'accroissement de la productivité et du rendement dû à des densités de plantation plus élevées et/ou à une amélioration de la qualité compense rapidement les coûts supplémentaires (Valderrama et La Rota, 2003; Cavelier, 2003; Savvas et Passam, 2002; Schnitzler et Gruda, 2002; Maloupa *et al.* 1999). Ainsi, dans une étude

effectuée à Almería, il a été noté que la culture de poivron sur sol normal assurait un rendement de 105 000 kg/ha et un revenu net de 8 000 euros/ha, alors que sur substrat on obtenait des rendements de 160 000 kg/ha et un revenu net de 33 000 euros/ha (Caballero et De Miguel, 2002). Aux Pays-Bas, on a tendance à utiliser des systèmes de substrat plus intensifs assurant des rendements moyens de 260 000 kg/ha et un revenu net de 41 000 euros/ha (KWIN, 2003). Une étude économique comparative de la culture sur sol avec divers types de systèmes de substrats en Grèce a conclu que les substrats peuvent améliorer sensiblement les revenus des exploitants (Graziadellis *et al.* 2000). On est parvenu à des conclusions analogues pour les tomates, les concombres et les œillets en Turquie (Akkaya *et al.* 2004).

On utilise des substrats sur environ 12 000 ha en Europe occidentale (Stanghellini et van Os, 2004). En France, par exemple, la culture sur substrats a été adoptée initialement dans le Nord pour la fraise et s'est répandue considérablement, en particulier dans les régions méridionales, la superficie passant de 70 ha en 1999 à environ 300 ha en 2004 (Lieten, 2004; Commission européenne, 2005a). La superficie consacrée à la production sur substrats est passée récemment à 87 ha environ à Huelva, principale région productrice de fraises en Espagne. La région espagnole d'Almería produit des légumes de serre (tomates, poivrons, aubergines, concombres et melons) sur une grande superficie; des substrats comme la perlite sont utilisés sur quelque 3 600 à 4 000 ha, soit environ 10 % de la superficie des serres (Cantliffe et Vansickle, 2003). La culture sans sol se développe sensiblement comme solution de remplacement du bromure de méthyle pour la tomate en France; en 2002, les substrats avaient été adoptés sur environ 950 ha de tomate (Fritsch, 2002; Commission européenne, 2005a).

On continue à adopter de plus en plus les substrats en floriculture (protégé) dans de nombreux pays du monde entier. Dans la région de Victoria en Australie, par exemple, certaines serres produisent des fleurs comme les roses, les gerberas et les lys sur substrats. Les substrats (mélange de culture en pot ou fibre de coco/tourbe) par exemple ont aussi été adoptés par certains floriculteurs de la Nouvelle-Galles-du-Sud et du Queensland et par des maraîchers de la région de Sydney (VDPI, 2005). Les roses, les œillets et les gerberas sont les fleurs cultivées le plus couramment sur substrats, mais d'autres types de fleurs sont produits aussi avec ce système de culture (Nucifora, 2001; van Os *et al.* 2004; Gullino *et al.* 2003; Grillas *et al.* 2001; Pizano, 2005). Des évolutions analogues se produisent dans des pays visés au paragraphe 1 de l'article 5. Au Kenya, par exemple, plusieurs producteurs de fleurs coupées ont remplacé le bromure de méthyle par des substrats (principalement de la pierre ponce et de la fibre de coco) pour les roses et les œillets; les substrats seront adoptés dans un certain nombre d'exploitations bénéficiant d'une assistance au titre du projet d'élimination du bromure de méthyle (Mutitu et Barel, 2003).

Les substrats constituent aussi une option excellente pour la multiplication, notamment des plantes ligneuses comme les roses, pour lesquelles le système des « miniplantes » permet simultanément l'enracinement du porte-greffe et le greffage du greffon. Ce système est également très efficace pour ce qui est de la superficie de production (par exemple, nombre de plantes produites par unité de surface) (Vargas et Samper, 2003; Banque mondiale, 2002, 2005). Leoni et Ledda (2004) notent qu'en Sardaigne (Italie), les restrictions concernant le bromure de méthyle ont stimulé les études scientifiques et techniques ces dernières années ainsi que le développement de la culture sur substrats et de l'utilisation de plantes greffées dans la région. La culture sans sol se répand rapidement : la production sur substrats était inexistante il y a dix ans et représente maintenant environ 8 % de la production maraîchère de la Sardaigne (Leoni et Ledda, 2004; Leoni *et al.* 2004).

Il peut être nécessaire de se procurer localement les matériaux pour substrats, car les substrats importés peuvent être trop coûteux pour que cette solution soit rentable (Valderrama et La Rota, 2003; Cavelier, 2003; Savvas, 2003; Carrijo *et al.* 2002). Les producteurs de nombreux pays ont acquis de l'expérience avec des substrats très divers comme la balle de riz, les coques de café, les scories volcaniques, la pierre ponce, le mélange coco/tourbe ou le coir, le marc de raisin et de nombreux autres matériaux (Calderón, 2001; Lopez-Medina 2004; Urrestrazu, 2004; Savvas, 2003; Carrijo *et al.* 2002). Les substrats appelés

à être réutilisés doivent généralement être stérilisés. La vaporisation et la solarisation constituent des options possibles ne faisant pas appel au bromure de méthyle (Barel, 2004; Ghini, 2004).

Substrats pour la production de transplants (plants en motte)

Les plants (ou plantules, transplants) en motte offrent un moyen d'éviter les maladies transmises par le sol et la nécessité d'une fumigation au bromure de méthyle. L'adoption à grande échelle des plants de tabac en motte (produits sur plateaux flottants) a été signalée antérieurement par le Comité des choix techniques pour le bromure de méthyle (2002) ; on continue à les adopter de plus en plus dans les pays gros producteurs de tabac comme le Brésil, le Zimbabwe et l'Argentine (Sibanda et Way, 2004; PROZONO, 2003). On a également adopté les plans de laitue en motte comme solution de remplacement du bromure de méthyle en Afrique du Sud ; on ajoute également *Trichoderma* dans les mottes (Koppenol, 2005).

Les fraisiers en motte offrent une solution commerciale utile pour remplacer le bromure de méthyle en Europe du Nord et dans d'autres régions où leur emploi convient en raison de la brièveté des saisons de production. De nouvelles études sur les plants en motte sont nécessaires dans le cas des fraisiers cultivés sur de longues saisons de production comme la plupart des fraisiers en Californie. Les plants en motte ne représentent actuellement qu'une très faible proportion du marché des transplants dans les grandes régions de production de fraises de la planète (<1 %), et de nouvelles études sont nécessaires pour qu'elles puissent remplacer la fumigation en champ.

Pratiques culturales diverses

Les paillis peuvent aider à éliminer toute une série d'espèces de mauvaises herbes, y compris le souchet comestible. Il a été signalé que les paillis opaques synthétiques présentent une bonne efficacité comme outil de lutte contre un large éventail de mauvaises herbes, y compris le souchet comestible, le paturin, le mouron, la renouée, la petite mauve, la gnaphale, l'erodium à feuille de ciguë et la bourse à pasteur dans la production de fraises en Californie (California Strawberry Commission, 2003). En Floride, des études ont montré que les paillis classiques de polyéthylène inhibaient la croissance du souchet comestible (mais ne l'éliminaient pas) et que les exploitations sont la principale cause de la dispersion du souchet comestible dans les champs (Webster, 2005). Une étude préliminaire qui demande à être confirmée a donné à penser que les paillis noirs en polyéthylène utilisés couramment en horticulture dans les Etats du Sud-Est des Etats-Unis pourraient favoriser la croissance du souchet rond (Webster, 2005).

Pour lutter contre *Phytophthora* (pourriture du collet et galle des racines dans les fraises), il a été signalé que le contrôle de l'irrigation et des plants de pépinières propres présentaient une efficacité excellente comme outil de lutte contre les maladies employé dans la production de fraises en Californie (California Strawberry Commission 2003).

On recourt à la rotation culturale comme solution de remplacement du bromure de méthyle dans certaines régions en l'associant souvent à d'autres méthodes. En Afrique du Sud, par exemple, on a associé le métam-sodium à une rotation culturale pour la laitue, le chou, les carottes, les lys et d'autres bulbes (Koppenol, 2005). Des guides de vulgarisation sur la lutte contre les nématodes aux Pays-Bas ont recensé les cultures qui abritent ou répriment différentes espèces de nématodes, ce qui a aidé les producteurs à mettre au point des rotations appropriées pour les cultures de plein champ comme le dahlia, le glaieul, le lys et la tulipe (Molendijk, 2000; Beers et Molendijk, 2004).

1.2.4 Stratégies pour des cultures particulières

La section qui suit donne un aperçu des principales stratégies adoptées pour des cultures majeures.

Plantes ornementales

La production de fleurs coupées se déplace de plus en plus vers les pays en développement. Les pays industrialisés se concentrent sur la mise au point de nouvelles variétés et la production/l'exportation de matériaux de multiplication. Malgré cela, la floriculture reste une activité économique importante dans de nombreux pays non visés au paragraphe 1 de l'article 5. Les cinq principaux producteurs floraux du monde industrialisé (fleurs et plants) sont les Etats-Unis, les Pays-Bas, l'Allemagne, la France et l'Italie. A l'exception de l'Allemagne, ces pays figurent tous parmi les dix principaux importateurs. La floriculture est un secteur complexe dans le contexte mondial. Elle fait intervenir différents pays, types de fleurs et systèmes de culture (Pizano, 2004).

Du fait que la floriculture exige généralement un investissement élevé et que les produits doivent satisfaire à des normes de qualité strictes, de nombreux floriculteurs des pays industrialisés faisaient traditionnellement appel au bromure de méthyle pour la désinfection des sols. Toutefois, il existe désormais de nombreux exemples de solutions de rechange en place et des progrès sensibles ont été réalisés en matière d'élimination. Ainsi, les Pays-Bas, principal exportateur mondial de fleurs, n'a pas utilisé de bromure de méthyle pour la fumigation du sol depuis 1992. L'Allemagne n'autorise pas l'emploi de fumigant des sols comme le bromure de méthyle. De nombreux floriculteurs d'Europe et de pays visés au paragraphe 1 de l'article 5 ont adopté des solutions de remplacement du bromure de méthyle afin de se conformer aux codes de bonne pratique commerciale édictés par des groupes de supermarchés et d'autres organismes (comme EUREP-GAP, MPS, FLORVERDE).

Pour passer à des solutions de remplacement, les producteurs doivent souvent modifier sensiblement les pratiques de production, moyennant parfois un investissement accru, mais ils obtiennent souvent une qualité et des rendements améliorés comme on l'a constaté avec les substrats. Les contraintes pesant sur le secteur des fleurs coupées sont généralement les mêmes que pour d'autres cultures : problèmes réglementaires (par exemple, plafonds fixés par les municipalités aux Etats-Unis) et homologation des produits nouveaux (par exemple, iodométhane et mélanges de fumigants).

Substrats dans le secteur des plantes ornementales

On continue à adopter de plus en plus les substrats en floriculture (protégée) dans de nombreux pays du monde entier. Les roses, les œillets et les gerberas sont les plantes cultivées le plus couramment sur substrats, mais ont produit aussi d'autres types de plantes à l'aide de ce système de culture (Nucifora, 2001; van Os *et al.* 2004; Gullino *et al.* 2003; Grillas *et al.* 2001; Pizano, 2005; Savvas, 2003). On utilise des substrats sur quelque 600 ha (environ 400 exploitations) pour la production de roses aux Pays-Bas (Station de recherche pour la floriculture, 2001; Pizano, 2004a). 100 % des roses produites en Israël sont obtenues par culture sans sol. Les substrats préférés sont généralement ceux que l'on peut se procurer localement, comme le tuf ou la pierre ponce, mais la fibre de coco se popularise également ; l'expérience acquise avec les roses ouvre la voie à l'adoption de substrats pour d'autres cultures comme la gerbera, le lys, l'anémone et l'œillet (Ausher, 2004). Les floriculteurs d'Australie passent au substrats et obtiennent des rendements accrus (jusqu'à 30 %) et une qualité meilleure (quasi-doublement de la longueur de la tige des roses). Parmi les fleurs produites sur substrats en 2003 dans le Victoria figuraient les tulipes (70 %), les lys (10 %, principalement dans des boîtes), les gerberas (25 %) et les roses (25 %) (FAQ, 2003). 40 % des fleurs produites en Colombie sont cultivées sur substrats (Pizano, 2004b).

Le coût initial de la mise en place d'un système de production sans sol est élevé, mais les producteurs sont en mesure de compenser les coûts supplémentaires grâce à des rendements et à une qualité sensiblement supérieurs résultant d'une densité de plantation plus élevée, d'une nutrition optimale des plantes et d'une meilleure protection contre les nuisibles et les maladies. Des études et publications récentes l'ont confirmé à nouveau dans le secteur des fleurs (Grafadellis *et al.* 2000; Akkaya *et al.* 2004; Pizano, 2004a).

Solarisation et biofumigation dans le secteur des plantes ornementales

La solarisation donne de bons résultats dans les conditions climatiques particulières propres à plusieurs régions de production, par exemple en Israël (Reuven *et al.* 2002). Des essais de solarisation + biofumigation ont assuré une bonne protection contre les mauvaises herbes dans des régions de Californie à fort ensoleillement en réduisant les mauvaises herbes annuelles de 99 % (Elmore *et al.* 2003). Il apparaît que l'on adopte de plus en plus une option économique et simple mise au point au Brésil pour la stérilisation des substrats et connue sous le nom de « collecteur solaire » (Ghini, 2004). Ce réacteur est idéal pour les petits exploitants et beaucoup plus rapide que la solarisation normale.

Vaporisation dans le secteur des plantes ornementales

La vaporisation est certes coûteuse mais assure, pour les champignons du sol, des niveaux de protection comparables à ceux du bromure de méthyle lorsqu'elle est appliquée convenablement (Reuven *et al.* 2005; Barel, 2003b). La vapeur convient généralement pour la production de fleurs protégée et pour la stérilisation de substrats réutilisés. Une option moins coûteuse à laquelle on recourt de plus en plus au Brésil est celle des chaudières alimentées en bois ; le bois provient de plantations commerciales d'eucalyptus et constitue donc une ressource renouvelable (ONUDI, 2005a).

Parmi les autres combustibles qui peuvent rendre la vaporisation rentable localement et qui sont utilisés actuellement figurent le gaz (utilisé en Argentine) et le charbon (utilisé en Colombie).

Solutions de remplacement chimiques dans le secteur des plantes ornementales

Certaines substances chimiques comme le dazomet, le métam-sodium et le 1,3-dichloropropène se sont révélées aussi efficaces que le bromure de méthyle en Israël (Reuven *et al.* 2002). Les méthodes d'injection améliorent l'efficacité et la régularité du métam-sodium (Barel, 2004).

L'InLine/Telone C-35 (1,3-dichloropropène/chloropicrine) s'est révélée constituer une solution de remplacement possible pour les pépinières de roses (Schneider *et al.* 2003) et pour d'autres fleurs cultivées en champ aux Etats-Unis. L'Agrocelhone (1,3-dichloropropène/chloropicrine) s'est révélé aussi efficace que le bromure de méthyle pour lutter contre les parasites et les maladies transmis par le sol pour les œillets dans le sud de l'Espagne (Peguero, 2004). L'association de substances chimiques comme le 1,3-dichloropropène, la chloropicrine et le métam-sodium ou le dazomet ont donné de « bons résultats répétables » pour lutter contre les nuisibles et les maladies dans les fleurs cultivées en champ aux Etats-Unis (Elmore *et al.* 2003).

Fraises

Solutions de remplacement chimiques dans le secteur des fraises

Jusqu'ici, les substances chimiques de remplacement qui se sont révélées les plus efficaces pour la production de fraises sont le 1,3-dichloropropène + chloropicrine et les préparations de chloropicrine seule ou de 1,3-dichloropropène/chloropicrine appliquées au goutte-à-goutte, avec ou sans traitement complémentaire au métam-sodium (Porter *et al.* 2004a). En Californie, par exemple, la superficie

consacrée à la production de fraises qui a été traitée à l'aide de fumigants de remplacement (1,3-dichloropropène, 1,3-dichloropropène/chloropicrine, chloropicrine seule, métam-sodium) est passée de 248 ha en 2000 à quelque 2077 ha en 2002. La superficie cultivée en fraise en Californie qui a été traitée à la chloropicrine est passée de 79 ha en 2000 à 590 ha en 2002. La superficie traitée à l'aide de préparations de 1,3-dichloropropène (y compris les mélanges 1,3-dichloropropène/chloropicrine) est passée de 42 ha en 2000 à un chiffre estimé de 2 176 ha en 2003 (Trout et Damodaran, 2004). En 2001, on a utilisé du bromure de méthyle sur environ 88 % de la superficie de production de fraises qui a été fumigée en Californie et des fumigants de remplacement sur 12 % environ (Trout et Damodaran, 2004). On continue à adopter des solutions de remplacement. En 2003, une enquête effectuée par la California Strawberry Commission a révélé qu'environ 69 % de la superficie de production de fraises avaient été traités à l'aide de bromure de méthyle et 31 % au moyen de fumigants de remplacement (Legard, 2004).

Une analyse de la performance comparative moyenne des substances chimiques de remplacement par rapport au bromure de méthyle dans le secteur de la fraise en Australie a fait apparaître des rendements relatifs de 123 % pour le mélange 1,3-dichloropropène/chloropicrine (TC35), de 101 % pour la chloropicrine, de 97 % pour le métam-sodium et de 101 % pour l'association métam + chloropicrine ainsi que de 101 % pour le dazomet contre 100 % pour le bromure de méthyle et 84 % en moyenne pour les témoins non traités. Une analyse analogue d'études concernant la fraise en Espagne a fait état de rendements relatifs de 103 % pour un mélange 1,3-dichloropropène/dichloropicrine (TC35), de 104 % pour la chloropicrine seule et de rendements inférieurs pour le métam-sodium et le dazomet utilisés seuls, contre 100 % pour le bromure de méthyle et 78 % pour les témoins non traités. Il ressort d'une revue d'études sur la fraise aux Etats-Unis que les rendements relatifs moyens étaient de 101 % pour un mélange 1,3-dichloropropène/chloropicrine (TC35), de 108 % pour un mélange 1,3-dichloropropène/chloropicrine appliqué au goutte-à-goutte (InLine), de 104 % pour la chloropicrine EC, de 98 % pour la chloropicrine injectée et de 98 % pour le dazomet, contre 100 % pour le bromure de méthyle et 68 % en moyenne pour les témoins non traités.

Bien qu'elles n'aient pas fait l'objet d'une méta-analyse complète, ces données démontrent que l'association de différents fumigants permet d'assurer une protection à large spectre contre les nuisibles transmis par le sol. Ainsi, le mélange 1,3-dichloropropène/chloropicrine, qu'il soit injecté ou appliqué au goutte-à-goutte, a toujours été efficace dans toutes les grandes régions de production des Etats-Unis, d'Espagne et d'Australie et a déjà été adopté avec succès pour une proportion non négligeable de la production de fraises dans chaque pays (Porter *et al.* 2004a). Dans le Victoria et l'Australie occidentale, par exemple, on a largement adopté le mélange 1,3-dichloropropène/chloropicrine pour les fraises (VDPI, 2005). Quelques cas de phytotoxicité ont été signalés au début. Le problème était dû, semble-t-il, à l'exiguïté des trous de plantation pratiqués dans le plastique, car il ne se pose pas avec des trous plus grands (~ 10 cm) (VDPI, 2005). A la suite de son adoption avec succès dans la production de fraises en Australie, aucune demande de dérogation pour utilisations critiques dans ce secteur n'a été présentée pour 2006.

L'association chloropicrine et métam appliqués consécutivement a suscité un regain d'intérêt, en particulier dans les régions où des restrictions réglementaires limitent l'emploi du 1,3-dichloropropène. Des travaux de recherche antérieurs ont montré que l'application de métam-sodium après des taux réduits de mélange 1,3-dichloropropène/chloropicrine (InLine) ou de chloropicrine a protégé contre les parasites du sol dans les fraises et donnait des rendements en fruits équivalents à ceux d'une fumigation standard à l'aide de bromure de méthyle/chloropicrine (Ajwa *et al.* 2004). Des essais de démonstration ont confirmé des études antérieures selon lesquelles le métam peut être utilisé pour réduire les taux d'application d'InLine et de chloropicrine sans perte de rendement en fraises en Californie, malgré une pression pathogène sévère (Ajwa *et al.* 2004).

En Chine, la bonne efficacité de la chloropicrine pour la production de fraises est admise par les producteurs et l'emploi de la chloropicrine et du dazomet comme substances de remplacement du bromure de méthyle s'étend dans ce secteur, en sorte que la consommation de chloropicrine augmente progressivement pour les fraises en Chine.

Parmi les produits chimiques prometteurs qui ne sont pas homologués figurent l'iodure de méthyle, l'éthane dinitrile, l'oxyde de propylène et l'azide de sodium (Mattner *et al.* 2003; Norton 2003, 2004). Une revue de 18 études effectuées aux Etats-Unis a montré que le rendement moyen procuré par l'iodure de méthyle était analogue à celui du bromure de méthyle (rendement moyen de 101 % pour l'iodure de méthyle, contre 100 % pour le bromure de méthyle) (Porter *et al.* 2004a).

Solutions de remplacement non chimiques dans le secteur des fraises

La production de fraises sur substrats représente 5 % de la production mondiale, mais les substrats ne se prêtent essentiellement qu'à la production en serre et sous des climats frais à cycles de culture courts pour les marchés de primeurs ou des créneaux commerciaux. Les Pays-Bas, le Japon, l'Italie, la Nouvelle-Zélande, le Royaume-Uni et la Chine seront quelques-uns des principaux producteurs qui utilisent des substrats pour la production de fraises.

En Europe du Nord, on utilise généralement de la tourbe et de la fibre de coco pour les systèmes sur substrats qui produisent annuellement environ 45 % de fraises de plus que les cultures sur sol fumigé au bromure de méthyle (Nuyten, 2000). Il ressort d'études de cas que le coût des systèmes sur substrats est supérieur d'environ 60 % à celui d'une production sur sol traité au bromure de méthyle en Europe du Nord, mais qu'un système sur substrats est plus rentable à partir de la troisième année (Nuyten, 2000). En Europe du Sud, les matériaux pour substrats utilisés généralement dans la production de fraises comprennent la tourbe, la fibre de coco, la laine de roche, la perlite, le marc de raisin et le liège, seuls ou en mélange. Certains matériaux, comme la fibre de coco, sont plus faciles d'emploi que d'autres. Des études effectuées à Huelva, principale région productrice de fraises en Espagne, ont conclu que la fibre de coco permet une production précoce et des rendements totaux plus élevés que les cultures de fraises conventionnelles sur sol. Dans cette région, les substrats permettent d'étendre la période de végétation et de récolter les fruits au moment où leurs prix sont plus avantageux (López-Medina *et al.* 2004). L'investissement initial pour le système de culture de fraises sur substrats le meilleur marché à Huelva est d'environ 5 à 7 euros/m²; toutefois, le revenu net procuré par les substrats est de 9 à 10 euros/m², contre 1 à 2 euros/m² pour une production conventionnelle sur sol (López-Medina *et al.* 2004). Les efforts faits pour réduire les frais de premier établissement pour les systèmes sur substrats devraient amener à les adopter davantage comme solutions de remplacement du bromure de méthyle dans le monde entier.

Sous les climats chauds, la solarisation offre une solution de remplacement efficace pour la désinfection des sols aux fins de la production de fraises à condition que les périodes chaudes cadrent avec la rotation culturale. La solarisation, seule ou associée à une gestion intégrée des nuisibles (amendements organiques), est utilisée comme solution de remplacement du bromure de méthyle dans plusieurs régions arides (par exemple, en Jordanie), mais son efficacité a varié dans d'autres régions (Porter *et al.* 2004a). La solarisation coûte jusqu'à 80 % moins cher que l'application de bromure de méthyle et peut, si elle est utilisée avec une rotation culturale appropriée, donner des rendements acceptables (Batchelor, 2000).

Association de traitements chimiques et non chimiques dans le secteur des fraises

Entre 20 et 30 % des fraises produites dans le monde sont cultivées sans fumigation au bromure de méthyle grâce à une série de techniques de gestion intégrée des nuisibles (Porter *et al.* 2004a). Les principales sont notamment les plantes mères et les stolons propres, une bonne rotation culturale, la biofumigation, les bains de fongicides, les herbicides et l'emploi stratégique d'amendements organiques (Batchelor, 2000). Nombre de ces méthodes ne remplacent pas directement le bromure de méthyle, mais

si l'on sait comment en optimiser l'emploi pour les cultures de fraises, on pourra améliorer de façon spectaculaire la protection contre les nuisibles et les maladies ainsi que les rendements (Bull *et al.* 2002; Mattner *et al.* 2004).

Secteur des pépinières de fraises

Dans le cas des régions de production de plants de fraise qui, traditionnellement, étaient lourdement tributaires du bromure de méthyle, de nouveaux travaux sont généralement nécessaires pour obtenir des résultats égaux à ceux que donne le bromure de méthyle. Des essais préliminaires effectués à l'aide d'éthane dinitrile en Australie ont permis d'obtenir des rendements (nombre de stolons par mètre de lit) nettement plus élevés qu'avec le bromure de méthyle (Porter *et al.* 2004b). Un certain nombre d'essais effectués avec un mélange iodure de méthyle/chloropicrine en Australie donnent à penser que ces produits peuvent donner de meilleurs résultats que d'autres solutions de remplacement testées jusqu'ici (Mattner *et al.* 2004).

Certains progrès ont été accomplis en ce qui concerne l'essai et l'adoption de solutions de remplacement du bromure de méthyle dans les pépinières de fraise. En 2003, par exemple, les producteurs de plants de fraisier de Victoria, en Australie, sont passés à l'utilisation à l'échelle commerciale du mélange 1,3-dichloropropène/chloropicrine sur environ 10 % de la superficie, et 30 % ont recouru à la biofumigation dans le cadre d'une rotation culturale avec les stolons de fraisiers (VDPI, 2005).

Secteur du tabac

Le secteur du tabac a accompli des progrès très sensibles dans l'élimination du bromure de méthyle. Dans le cas du tabac, les systèmes de plateaux flottants constituent la technologie de substitution la plus largement acceptée pour les petites comme pour les grandes exploitations, tant dans les pays qui ne sont pas visés au paragraphe 1 de l'article 5 que dans les pays qui y sont visés. On continue à l'adopter de plus en plus chez les plus gros producteurs mondiaux de tabac comme le Brésil, le Zimbabwe et l'Argentine (Sibanda et Way, 2004; PROZONO, 2003). En Chine, par exemple, les systèmes des plateaux flottants ont été adoptés largement pour remplacer le bromure de méthyle. La consommation de bromure de méthyle dans le secteur du tabac en Chine décline rapidement et l'on estime que le bromure de méthyle sera complètement éliminé dans ce secteur en Chine au cours des deux ou trois années à venir. Dans les pays visés au paragraphe 1 de l'article 5, le système des plateaux flottants l'a emporté sur les autres solutions de remplacement à cause de plusieurs facteurs :

- Malgré l'investissement initial requis pour le mettre en place, il est apparu que le système des plateaux flottants constitue la technologie de remplacement la plus rentable, fiable et viable tant lors d'essais de démonstration que dans la pratique commerciale réelle.
- La technologie des plateaux flottants a été mise au point au début des années 90, puis s'est répandue très rapidement dans les principaux pays industrialisés producteurs de tabac. Dans le cas des pays visés au paragraphe 1 de l'article 5, les projets du Fonds multilatéral ont offert la possibilité de démontrer le système, puis, grâce à des projets d'investissement, d'éliminer les principaux obstacles à son adoption étendue, à savoir le coût initial élevé des moyens de production et la nécessité pour les producteurs de tabac d'acquérir le savoir-faire correspondant.
- Des sociétés tabacoles appuient vigoureusement le passage au système des plateaux flottants en raison des avantages qu'il présente, tels qu'une productivité accrue et un moindre recours aux produits chimiques, et parce que la nécessité d'utiliser des semences enrobées leur permet de mieux contrôler les variétés utilisées par les producteurs.

Secteur des tomates et des légumes

Un certain nombre de pays en développement ont testé des solutions de remplacement dans le cadre de projets de démonstration du Fonds multilatéral et mettent maintenant en œuvre des projets d'élimination du bromure de méthyle. Au Liban, par exemple, 97 % du bromure de méthyle utilisé pour la production maraîchère ont été éliminés grâce au recours à la solarisation des sols, à la biofumigation, au greffage et au 1,3-dichloropropène (Besri, 2004; Hafez *et al.* 2003). En Turquie, le bromure de méthyle doit être éliminé d'ici 2008 grâce à l'adoption de méthodes non chimiques (biofumigation, solarisation, lutte biologique, substrats et substances chimiques comme le 1,3-dichloropropène, le métam-sodium et le dazomet (Besri, 2004; Ozturk *et al.* 2002)).

Des progrès ont également été accomplis dans plusieurs pays développés. Le secteur maraîcher de Bundaberg, qui fut autrefois le principal utilisateur de bromure de méthyle en Australie, en a presque éliminé l'emploi ; en 2004, seuls 5 % des producteurs ont encore utilisé le bromure de méthyle (VDPI, 2005). Parmi les principales cultures pour lesquelles on utilisait beaucoup de bromure de méthyle figurent les tomates et les poivrons. Pour ces cultures, on a adopté avec succès toute une série de solutions de remplacement comme les suivantes :

- Le métam-sodium est désormais largement utilisé et appliqué par injection directe ou au goutte-à-goutte
- 1,3-dichloropropène/chloropicrine
- Nématicides divers, dont l'utilisation fait l'objet d'essais et d'une surveillance
- Herbicides qui ont été évalués et utilisés dans diverses cultures ; des mesures de lutte supplémentaire sont cependant nécessaires pour le souchet
- Pratiques culturales comme les variétés résistantes aux maladies et rotations culturales plus étendues (location de champs à d'autres exploitants qui produisent des cultures toute différentes comme la canne à sucre).

Un nombre appréciable de solutions de remplacement chimiques et non chimiques utilisées actuellement à l'échelle commerciale se sont révélés aussi efficaces que le bromure de méthyle pour lutter contre les organismes pathogènes de la tomate transmis par le sol dans de nombreux pays développés comme la Belgique, l'Espagne, l'Italie, la Grèce et la France (Besri, 2004). Ces solutions associent notamment des substances chimiques (par exemple, 1,3-dichloropropène, chloropicrine, métam-sodium et dazomet) et des méthodes non chimiques (par exemple, substrats, greffage, variétés résistantes, biofumigation et solarisation) (Besri, 2004). En Europe du Nord, la principale solution de remplacement du bromure de méthyle dans la production de tomate est la culture sans sol (souvent en association avec d'autres solutions comme les cultivars résistants et le greffage), alors qu'en Europe du Sud et en Méditerranée, on recourt à des solutions de rechange beaucoup plus diverses qui sont choisies en fonction de leur adaptation au système de culture et aux conditions environnementales (Besri, 2004).

Secteur des cucurbitacées

En Europe, les cucurbitacées greffées sont largement utilisées dans de nombreux pays car elles offrent toute une série d'avantages commerciaux. Associés à divers traitements, les plants greffés peuvent éviter une fumigation au bromure de méthyle (De Miguel, 2004b). En Italie, par exemple, on utilise des plants greffés avec des fumigants de remplacement (par exemple, 1,3-dichloropropène ou chloropicrine) à la place du bromure de méthyle (Spotti, 2003, 2004). L'applicabilité des plants greffés peut être limitée car elle est fonction des porte-greffes tolérants aux maladies et aux nuisibles locaux qui sont disponibles.

Dans la région méditerranéenne, le greffage est une des solutions de remplacement du bromure de méthyle le plus souvent utilisée pour les cucurbitacées (pastèque, melon et concombre). Des porte-greffes résistants sont disponibles pour des nuisibles et des organismes pathogènes comme *Meloidogyne* sp. et

Fusarium oxysporum dans le cas du melon, de la pastèque et du concombre, *Monosporascus cannonballus* dans celui du melon, et *Phomopsis sclerotiodes* dans celui du concombre (De Miguel 2004ac).

En France, le greffage est utilisé sur 1 000 ha de melons, où il s'est révélé aussi efficace que la fumigation au bromure de méthyle pour *Phomopsis sclerotiodes*. Le greffage est un outil important pour lutter contre *Fusarium oxysporum* dans les concombres en Grèce et les melons en Turquie. Le greffage associé à d'autres pratiques a remplacé le bromure de méthyle dans les pastèques en Espagne, où l'on greffe annuellement environ 30 millions de plants sur une superficie de quelque 12 000 ha (principalement à Almería, à Valence et à Murcie). Le greffage est utilisé pour 5 à 6 millions de plants de melon et environ 20 millions de plants de pastèque en Italie. La pratique du greffage se répand également dans la production de cucurbitacées en Jordanie et en Israël (De Miguel, 2004a). Il est utilisé couramment au Japon et en République de Corée pour les cucurbitacées (Lee, 2003). Le greffage associé au cyanamide de calcium s'est révélé constituer une solution de remplacement efficace du bromure de méthyle pour lutter contre la fusariose dans les melons (Blestos *et al.* 2005).

Aux Etats-Unis, on s'est intéressé principalement aux fumigants de remplacement, associés au besoin à des mesures supplémentaires de lutte contre les mauvaises herbes, et les plants greffés n'ont pas joué un grand rôle comme solution de remplacement du bromure de méthyle.

1.3 Solutions de remplacement pour les traitements post-récolte et le traitement des structures - mise à jour

Les principales solutions de remplacement pour la désinfection des minoteries et des locaux des entreprises agroalimentaires sont le fluorure de sulfuryle (vendu dans certains pays sous le nom commercial ProFume de Dow AgroSciences) et la chaleur. La phosphine sous forme de gaz produit rapidement a elle aussi bien progressé et devient une solution de remplacement importante dans certaines applications. L'adoption de chacune de ces solutions de remplacement a progressé.

Fluorure de sulfuryle

ProFume (une préparation de fluorure de sulfuryle détenue par Dow AgroSciences LLC et conçue pour les locaux des industries agroalimentaires et les produits alimentaires) a reçu une homologation fédérale de l'Agence pour la protection de l'environnement des Etats-Unis, section 3, en janvier 2004. A la suite de cette homologation fédérale, le produit a été homologué par de nombreux Etats en 2004 et 2005, à l'exception notable de la Californie et de l'Etat de New York. Toutefois, ProFume a déjà été homologué en Californie pour plusieurs utilisations clés dans le secteur des fruits séchés et des fruits à coque. Dow AgroSciences collabore depuis plusieurs années avec la Dried Fruit Association en vue de mettre ce fumigant de remplacement à la disposition de l'industrie.

Dow AgroSciences a signalé au Comité des choix techniques pour le bromure de méthyle que depuis l'approbation de l'homologation fédérale, des minotiers, des transformateurs de produits alimentaires et des fumigateurs ont procédé à 50 fumigations commerciales dans 30 installations des Etats-Unis. De nombreuses fumigations expérimentales ont également été effectuées aux Etats-Unis dans le cadre d'un vaste processus de formation des fumigateurs détenteurs d'une licence pour la lutte contre les nuisibles. Dow signale que jusqu'à 30 % des installations choisissent ProFume pour leur programme actuel de gestion des nuisibles (Dow AgroSciences, 2005).

En Europe, ProFume a d'abord été homologué pour les minoteries vides en Suisse en juillet 2003, puis en Italie (avril 2004) et au Royaume-Uni (juillet 2004) (Bell, 2004). Les progrès se sont poursuivis en Europe avec la formation de fumigateurs, l'exécution de fumigations expérimentales et son adoption commerciale. Ce processus a été quelque peu ralenti par le problème des prescriptions réglementaires

exigeant que les minoteries soient complètement vides de farine car il n'existait aucune limite des résidus pour la farine.

L'Allemagne a cependant réalisé des progrès dans ce domaine. Le fluorure de sulfuryle a été homologué en Allemagne en décembre 2004 pour la désinfection des espaces et des structures vides et pour le traitement des fruits séchés. Au cours du premier trimestre de 2005, l'organisme d'homologation a accepté une valeur résiduelle pour le fluorure dans le cas des grains et de la farine de l'ordre de 5 à 10 mg/kg, qui offre la possibilité de traiter les locaux des entreprises agroalimentaires susceptibles de contenir des grains ou de la farine dans des cellules de stockage étanches aux gaz (Reichmuth, 2005). Dans des travaux de recherche récents, Reichmuth et al (2003) ont indiqué les résultats d'essais effectués à l'aide de fluorure de sulfuryle dans des minoteries. Des produits au tétrachlorure de carbone à la dose de 1 860 à 2 255 gh/m³ ont été efficaces pour éliminer (> 99 %) divers insectes ravageurs des produits entreposés dans des minoteries dans un délai de 36 à 49 heures. La température a été portée à 25-30°C à l'aide d'appareils de chauffage.

Une évaluation pratique des résultats obtenus dans des minoteries des Etats-Unis fumigées au fluorure de sulfuryle montre qu'il faut poursuivre les travaux en vue d'adapter, de comprendre et d'évaluer l'efficacité technique et économique du fluorure de sulfuryle pour qu'il soit pleinement accepté à l'échelle commerciale. Un rapport sur le traitement de la Miller Milling of Winchester en Virginie qui a été soumis au Comité des choix techniques pour le bromure de méthyle a indiqué que la minoterie était infectée huit semaines après un traitement au fluorure de sulfuryle (Ball, 2004). Dans le cadre de cet essai, des recherches ultérieures en laboratoire ont établi que des œufs présents dans la farine n'avaient pas été tués par le traitement d'où l'infestation ultérieure. Quel que soit le moyen employé – fumigants chimiques, bromure de méthyle ou chaleur – la désinfection d'une minoterie exige une connaissance approfondie du produit et de l'installation concernée, sinon tout traitement de désinfection risque d'échouer. Dans une étude de cas sur la commercialisation du fluorure de sulfuryle comme substitut du bromure de méthyle, on a passé en revue les réponses de minotiers et de fumigateurs à certaines questions concernant l'emploi du fluorure de sulfuryle et noté que la démonstration de l'efficacité et de la viabilité économique du fluorure de sulfuryle auprès des minotiers se poursuit (Marcotte, 2004).

Au Japon, où l'on doit traiter le bois importé afin de protéger la santé des arbres japonais, le fluorure de sulfuryle a récemment été homologué comme traitement pour lutter contre les nuisibles dans le bois importé (Note 16-967 du Ministère japonais de l'agriculture, des forêts et de la pêche, publiée le 28 décembre 2004) (Tateya et Mizobuchi, 2005).

Traitements thermiques

On a procédé à des travaux de recherche et à des essais d'introduction commerciale considérables sur le traitement thermique dans les minoteries et d'autres installations de transformation d'aliments ces dernières années. Il n'en est que très peu question dans les ouvrages publiés. Les fabricants de matériel de traitement thermique ont perfectionné leurs systèmes conçus pour les minoteries et ont adapté le matériel thermique conçu à l'origine pour l'industrie de la construction afin qu'il puisse être utilisé dans le secteur de la transformation des aliments. Un fabricant de matériel thermique, Temp-Air, a fait état, dans de la documentation adressée au Comité des choix techniques pour le bromure de méthyle, de plusieurs essais commerciaux de son matériel dans des minoteries et des installations de transformation d'aliments (Temp-Air, 2005).

Fields (2004), lors de travaux menés avec des minoteries canadiennes, a testé deux types de matériel thermique qui ont donné des résultats variables et a procédé à une analyse économique qui a montré que le traitement thermique était beaucoup plus coûteux, du moins dans les conditions canadiennes.

Plusieurs essais et un recours croissant au traitement thermique ont été signalés en Allemagne. Hofmeir (2002) ainsi que Segur-Cabanac et Enispieler (2004) ont mentionné des traitements thermiques effectués à environ 55°C pour désinfecter des minoteries vides et des locaux analogues en deux à trois jours. Un système faisant appel à des appareils de chauffage électriques mobiles pour chauffer les minoteries aux alentours de 55°C pendant deux jours environ est recommandé pour la désinfection d'espaces vides en Allemagne (Kassel, 2004). Le facteur limitant reste, semble-t-il, la taille. Un volume supérieur à environ 40 000 m³ est considéré comme trop important pour un traitement économiquement viable en une campagne (résumé de Hofmeir). La méthode à tester ensuite consiste à diviser les locaux en parties de moins de 40 000 m³ qui seront traitées consécutivement. Toutefois, les minotiers craignent que cette méthode permette aux insectes de quitter les parties traitées du bâtiment et d'y revenir plus tard. Il s'ensuit que pour traiter efficacement une minoterie à la chaleur, il faudra beaucoup plus de jours qu'à l'habitude, ce qui se traduira par des pertes de chiffres d'affaires non négligeables pour les minotiers.

Phosphine

Parmi les solutions de rechange disponibles pour les biens durables figure la phosphine (généralement utilisée maintenant sous forme de gaz produit rapidement) et le formate d'éthyle. La phosphine a conquis une grande partie du marché de la désinfection des fruits séchés lorsqu'un traitement rapide n'est pas nécessaire.

Les transformateurs de pistaches de Californie sont en train de remplacer les préparations solides de phosphine et le bromure de méthyle par la phosphine en bouteille pour la fumigation de leurs produits. La plupart des fruits à coque sont fumigés en chambre ou dans de grands silos de stockage. Le plus gros producteur, qui représente 65 % de la production de pistaches, utilise actuellement de la phosphine en bouteille pour 80 % de ses produits. Cette solution de remplacement a été adoptée à l'échelle commerciale au cours des deux dernières années. Des plans ont été établis en vue de la construction de chambres et de silos supplémentaires afin d'accroître la capacité de stockage de manière à pouvoir allonger le temps d'exposition lorsque de la phosphine en bouteille est utilisée. Ces agrandissements devraient être achevés au cours des deux années à venir et réduiront sensiblement, voire élimineront, la nécessité de recourir au bromure de méthyle. L'industrie est préoccupée par les rapports selon lesquels les expéditions de fruits à coque sont refusées en Europe si elles ont été fumigées au bromure de méthyle.

Un nouvel appareil en caisson a été mis au point en Allemagne pour la production rapide de phosphine gazeuse à partir de préparations solides (par exemple, du phosphure de magnésium). Le gaz est pompé dans la zone traitée à partir de l'extérieur. Cet appareil semble convenir pour le traitement des piles de sacs de cacao et les produits analogues (Jakob et Schmidt, 2003). En outre, les préparations gazeuses de phosphine sont désormais utilisées dans les grands ports pour désinfecter les arrivages de céréales. Récemment, au Japon, un appareil accélérant la production de phosphine gazeuse, destiné à être installé hors d'élévateurs à grains, a été mis au point et homologué pour être utilisé contre les organismes non de quarantaine dans le blé importé. Cette technologie est actuellement employée dans 22 ports japonais (Tateya et Mizobuchi, 2005).

Formate d'éthyle

Le formate d'éthyle dans du CO₂ (vendu en Australie sous le nom commercial Vapormate de la société BOC Ltd) a récemment été homologué en Australie pour la désinfection des céréales stockés, des graines oléagineuses, des locaux et du matériel de stockage des céréales ainsi que des produits horticoles. Il agit aussi rapidement que le bromure de méthyle contre les nuisibles adultes.

Iodure de méthyle

Le bromure de méthyle reste important pour lutter contre les ravageurs dans le bois importé. Au Japon, où le bois importé doit être traité en vue de protéger la santé des arbres japonais, l'iodure de méthyle a récemment été homologué comme traitement contre les ravageurs dans le bois importé et un calendrier de fumigation prévoyant son utilisation comme traitement de quarantaine est en préparation (Tateya et Mizobuchi, 2005).

Mélange d'isothiocyanate de méthyle et de fluorure de sulfuryle

Au Japon, un mélange d'isothiocyanate de méthyle et de fluorure de sulfuryle a récemment été homologué comme traitement contre les ravageurs dans le bois importé et un calendrier de fumigation prévoyant son utilisation comme traitement de quarantaine est en préparation (Tateya et Mizobuchi, 2005).

1.4 Aperçu des solutions de remplacement dans les pays visés au paragraphe 1 de l'article 5

La consommation de bromure de méthyle dans les régions visées au paragraphe 1 de l'article 5 est tombée à environ 11 858 tonnes en 2003 après avoir atteint un pic d'environ 18 140 tonnes en 1998 (calculé d'après les données du Secrétariat de l'Ozone d'avril 2005). Des réductions substantielles sont assurées dans le cadre de projets d'élimination du Fonds multilatéral. Dans le secteur de la floriculture, par exemple, plus de 60 % de la consommation signalée pour 2001 seront éliminés grâce à ces projets d'ici 2008, soit bien avant la date limite de 2015 fixée par le Protocole (Fonds multilatéral, 2004).

Il ressort des données du Secrétariat de l'Ozone que presque tous les pays visés au paragraphe 1 de l'article 5 étaient parvenus à respecter le gel de la consommation en 2002 conformément aux dispositions de l'article 2H et que la plupart d'entre eux avaient atteint, en 2003, l'étape de réduction de 20 % prévue pour 2005 (pour plus de précisions, voir le tableau 1 dans la section 1.4).

Toutefois, plusieurs facteurs extérieurs menacent les progrès considérables réalisés à ce jour dans les pays visés au paragraphe 1 de l'article 5 en ce qui concerne les réductions du bromure de méthyle. Les progrès se ralentissent dans le cadre de certains projets pour des raisons tenant à la commercialisation du bromure de méthyle et à l'administration des projets plutôt que pour des problèmes techniques et il existe un risque réel que la consommation de bromure de méthyle commence à augmenter dans certains pays à cause de circonstances récentes. Les pays visés au paragraphe 1 de l'article 5 ont indiqué les raisons suivantes pour expliquer la lenteur des progrès dans certains cas : a) importantes dérogations pour utilisations critiques demandées par certains utilisateurs de bromure de méthyle dans les pays non visés au paragraphe 1 de l'article 5, qui créent un désavantage concurrentiel pour les solutions de remplacement ; b) poursuite de la promotion de produits au bromure de méthyle (ainsi qu'il a été noté dans des rapports antérieurs du Groupe de l'évaluation technique et économique) et c) offre mondiale excédentaire de bromure de méthyle, qui entraînent une baisse des prix du bromure de méthyle dans certains pays visés au paragraphe 1 de l'article 5.

Ainsi, le prix du bromure de méthyle en Argentine a baissé d'environ 10 % récemment, ce qui le rend plus intéressant pour les utilisateurs. Le coût d'une fumigation au bromure de méthyle est relativement faible au Maroc (1 250 dollars des Etats-Unis/ha), ce qui ne représente que 2 % des coûts de production agricoles dans le cas de la tomate (61 585 dollars des Etats-Unis/ha) (Besri, 2003). On a constaté que le traitement d'un hectare de terre au bromure de méthyle au Guatemala et au Honduras coûtait 2 430 dollars des Etats-Unis, contre 3 142 dollars pour le greffage, 3 350 dollars pour le métam-sodium et 3 400 dollars pour le mélange 1,3-dichloropropène/chloropicrine (ONUDI, 2005cd). En Equateur, il a été indiqué que le traitement au bromure de méthyle coûtait 4 100 dollars des Etats-Unis par hectare (Banque mondiale, 2005) et bien qu'il n'existe aucune analyse économique comparant le coût des solutions de remplacement en Equateur pour le moment, il faut s'attendre à ce que celles-ci soient plus coûteuses (à titre de point de

référence, en Colombie, le coût du traitement d'un hectare au dazomet est estimé à 5 850 dollars des Etats-Unis et celui d'un traitement au 1,3-dichlorpropène à 8 600 dollars des Etats-Unis, Trujillo 2004, communication personnelle).

1.4.1 Adoption des solutions de remplacement

L'adoption commerciale des solutions de remplacement du bromure de méthyle continue à s'étendre dans les pays visés au paragraphe 1 de l'article 5 où elle est souvent facilitée par des projets d'investissement du Fonds multilatéral. En Equateur, par exemple, 56 % du bromure de méthyle consommé dans le pays, qui était utilisé dans les pépinières de roses, ont été éliminés, les producteurs concernés se convertissant à la production de « miniplantes » sur substrats (Banque mondiale, 2005). Au Honduras et au Guatemala, le greffage et le mélange 1,3-dichlorpropène/chloropicrine remplacent le bromure de méthyle dans les secteurs des melons et des pastèques avec le concours de projets de l'ONUDI, une réduction du bromure de méthyle de 22 % ayant été obtenue au cours de la saison 2004/05 dans le cas du Honduras (ONUDI, 2005d). Au Costa Rica, de gros producteurs de melons recourent à la solarisation depuis quatre ou cinq ans en obtenant des résultats très positifs; cette solution de remplacement est maintenant mise en œuvre sur une superficie estimée à 2 000 ha. Il a également été indiqué que le métam-sodium et le mélange 1,3-dichlorpropène/chloropicrine constituent des solutions de remplacement efficaces pour ce secteur (PNUD, 2005). Trois des plus gros producteurs mondiaux de tabac, à savoir le Brésil, la Chine et le Zimbabwe, ont progressé sensiblement dans l'élimination du bromure de méthyle dans ce secteur grâce à l'adoption du système des plateaux flottants pour la production de plants (Sibanda et Way, 2004; PROZONO, 2003; ONUDI, 2005a). Au Pérou, l'utilisation de bromure de méthyle dans le secteur du tabac, des poivrons et des oignons a été complètement éliminée et des projets du Service national de l'Ozone et du Fonds multilatéral permettent d'éviter de nouvelles utilisations (par exemple, pour les fraises et les artichauts) (OTO Pérou, 2003, 2005). D'autres exemples importants sont cités dans les sections précédentes de ce rapport.

Des solutions de remplacement ont également été adoptées à l'échelle commerciale grâce aux efforts déployés au niveau des producteurs/du secteur privé et à des activités nationales. Dans certains pays visés au paragraphe 1 de l'article 5, l'utilisation de bromure de méthyle est interdite ou restreinte par la législation nationale. Dans quelques cas (par exemple, au Brésil et au Costa Rica), des hausses du prix du bromure de méthyle ont rendu les solutions de remplacement plus concurrentielles. Au Brésil, par exemple, les horticulteurs utilisent des chaudières chauffées au bois pour stériliser les sols et les substrats à la vapeur (le bois provient de plantations commerciales d'eucalyptus et constitue donc une ressource renouvelable); en Argentine, les producteurs de fraises utilisent des chaudières au gaz (ONUDI, 2005b). La production sans sol ou sur substrats se développe également dans la floriculture en Ouganda, au Kenya, en Equateur, au Brésil et en Colombie notamment (Pizano, 2004b, 2005). La solarisation a connu un certain développement antérieurement aux projets d'investissement et de démonstration consacrés aux solutions de remplacement dans le secteur des melons au Costa Rica (PNUD, 2005). Dans de nombreux cas, toutefois, le bromure de méthyle n'est pas un fumigant coûteux comparé aux solutions de remplacement dans les pays visés au paragraphe 1 de l'article 5 (ONUDI, 2005bcd; Banque mondiale, 2005; PNUD, 2005)

1.4.2 Réduction des émissions et des doses

Les doses de bromure de méthyle utilisées dans les pays visés au paragraphe 1 de l'article 5 varient beaucoup et sont souvent élevées, mais on constate une tendance à la réduction des doses grâce à l'emploi d'un film pratiquement imperméable. Des films de ce type sont maintenant disponibles et utilisés dans de nombreux pays visés au paragraphe 1 de l'article 5, par exemple au Brésil, en Uruguay, au Costa Rica, en Argentine, au Honduras et au Guatemala, et sont volontiers utilisés par les producteurs qui ont économiquement avantage à réduire les quantités de bromure de méthyle nécessaires. Il s'agit là d'une stratégie de transition efficace. A titre d'avantage supplémentaire, il a été montré que les films

pratiquement imperméables accroissent également l'efficacité des fumigants de remplacement des sols comme le mélange 1,3-dichloropropène/chloropicrine et le métam-sodium (Gilreath *et al.* 2003; Fennimore, 2004; Fennimore *et al.* 2003).

Souvent, la seule préparation de bromure de méthyle homologuée dans les pays visés au paragraphe 1 de l'article 5 est une préparation 98:2, en sorte que les préparations contenant plus de chloropicrine et moins de bromure de méthyle – qui sont également utilisées comme mesure de transition – ne sont pas disponibles. On utilise encore couramment des récipients jetables de bromure de méthyle (généralement d'environ 454 gr) dans de nombreux pays visés au paragraphe 1 de l'article 5. Certains pays visés au paragraphe 1 de l'article 5 et la plupart des pays qui n'y sont pas visés, par exemple, le Kenya et l'Afrique du Sud, n'en autorisent plus l'emploi, généralement pour des raisons de sécurité. Bien que ses exigences en matière de technologie et d'investissement soient très réduites, ce système est relativement inefficace pour l'application du bromure de méthyle. Toutefois, il est généralement plus difficile d'appliquer de nombreuses solutions de remplacement en nature (fumigants) que d'employer des récipients jetables de bromure de méthyle. La mise au point d'une méthode directe et simple de remplacement du système des récipients jetables de bromure de méthyle destinée à être utilisée à petite échelle pose des problèmes. En Chine, toutefois, l'homologation et l'adoption récente à l'échelle commerciale de chloropicrine encapsulée a offert un exemple de produit de remplacement novateur d'emploi relativement simple pour les petits exploitants.

1.4.3 *Entraves à l'adoption et leçons tirées*

Une entrave à l'adoption des solutions de remplacement chimiques réside dans l'absence d'homologation. Cela est particulièrement vrai dans le cas du mélange 1,3-dichloropropène/chloropicrine (Télon et Agrocelhone par exemple). Cette solution de remplacement possible n'est pas homologuée dans plusieurs pays visés au paragraphe 1 de l'article 5, comme le Brésil, le Pérou, l'Equateur et le Zimbabwe.

Les autres entraves à l'adoption sont liées aux niches commerciales – en particulier dans le secteur des cucurbitacées et parfois en floriculture – où les délais plus longs de remise en culture observés pour les substances chimiques de remplacement peuvent modifier sensiblement les temps de récolte et/ou il peut être techniquement ou économiquement difficile d'ajuster les calendriers de plantation dans certains cas.

Les points ci-après résument les leçons tirées de l'expérience acquise en ce qui concerne l'élimination du bromure de méthyle dans les pays visés au paragraphe 1 de l'article 5 :

- Des solutions de remplacement efficaces du bromure de méthyle ont été trouvées dans la grande majorité des cas. Ces solutions donnent les meilleurs résultats lorsqu'elles sont utilisées dans le cadre d'une gestion intégrée des nuisibles et une formation en la matière est indispensable (Comité des choix techniques pour le bromure de méthyle, 2002).
- La capacité d'adapter une solution de remplacement aux conditions locales est indispensable à son succès. C'est par exemple ce que l'on constate actuellement pour l'utilisation de substrats bon marché d'origine locale aux fins d'une production sans sol (ONUDI, 2004) et des chaudières de fabrication locale pour la vaporisation, qui peuvent fonctionner à l'aide de combustibles meilleur marché comme le gaz ou le bois (ONUDI, 2005ab; Barel, 2005). Les solutions de remplacement évaluées peuvent être introduites dans les pays en développement dans un délai de deux à trois ans. De fait, des projets de démonstration ont amené des gros producteurs ou des producteurs mieux préparés techniquement à adopter des solutions de remplacement de leur propre initiative (par exemple au Kenya, au Costa Rica et en Equateur) (PNUD, 2004, 2005; Banque mondiale, 2005). Un grand nombre de producteurs ont été formés en un laps de temps relativement court dans le cadre de certains projets du Fonds multilatéral (ainsi, environ 2 760 petits exploitants ont été formés

à l'emploi de solutions de remplacement d'une autre nature au cours de la première année d'un projet mené en Argentine (Valeiro, 2003).

1.5 Homologation et réhomologation des solutions de remplacement

1.5.1 Etat d'homologation des solutions de remplacement pour les sols

Un rapport complet sur l'homologation, la réhomologation et la déshomologation des solutions de remplacement du bromure de méthyle de même nature doit être inclus dans le rapport du Groupe de l'évaluation technique et économique/Comité des choix techniques pour le bromure de méthyle d'octobre 2005, conformément aux alinéas i) et j) du paragraphe 9 de la décision Ex.I/4. Certaines informations préliminaires sont données ici.

Le tableau 7-2 ci-après présente les données disponibles sur l'état d'homologation des principales solutions de remplacement chimiques pour lutter contre les nuisibles et les maladies transmis par le sol. Il indique que le métam-sodium et le dazomet sont largement homologués et que le 1,3-dichloropropène et la chloropicrine sont également homologués dans un certain nombre de pays. Le tétrathiocarbonate de sodium (enzone) n'est homologué que dans quelques pays. L'homologation de mélanges de fumigants (1,3-dichloropropène + chloropicrine en particulier) s'étend. En plus des pays énumérés au tableau 2, le mélange 1,3-dichloropropène/chloropicrine a été homologué dans des pays visés au paragraphe 1 de l'article 5 comme le Chili, le Costa Rica, Cuba et le Maroc, et on cherche à le faire homologuer dans des pays comme la Jordanie, l'Argentine et la Chine (Carrera *et al.* 2004). Dans certains pays, les fumigants doivent être homologués comme mélanges s'ils sont destinés à être appliqués simultanément, alors que dans d'autres les fumigants peuvent être appliqués simultanément (co-application) sans qu'une homologation supplémentaire soit nécessaire.

L'Agence pour la protection de l'environnement des Etats-Unis a récemment homologué plusieurs produits pour la lutte contre les mauvaises herbes, notamment *Cyperus* spp. Parmi ces produits figurent l'halosulfuron-méthyle (Sanda) destiné à être utilisé pour les légumes – fruits et les cucurbitacées ainsi que le trifloxysulfuron-sodium (Envoke) pour les tomates (Norton, 2004).

Il a été signalé que les fumigants du sol suivants étaient en cours d'homologation : iodométhane aux Etats-Unis (pour les poivrons, les tomates, les fraises et les plantes ornementales), le dazomet aux Etats-Unis (pour les fraises et les tomates), le furfural aux Etats-Unis (pour les plantes ornementales protégées et en champ), l'azide de sodium aux Etats-Unis (pour le gazon et les terrains de golf), le mélange 1,3-dichloropropène/chloropicrine en Italie, la chloropicrine en France, le dazomet en Hongrie, l'éthane dinitrile (cyanogène) en Australie et le disulfure de diméthyle en France.

Aux Etats-Unis et dans l'Union européenne, un certain nombre de fumigants des sols sont en cours de réhomologation. Le métam-sodium et la chloropicrine ainsi que le bromure de méthyle font actuellement l'objet d'une procédure de réhomologation aux Etats-Unis et les décisions devraient intervenir en 2006. A ce jour, le 1,3-dichloropropène est le seul fumigant des sols pour lequel le processus de réhomologation était achevé aux Etats-Unis. L'Agence pour la protection de l'environnement des Etats-Unis procède en outre à une « analyse en grappe » sur les fumigants des sols (métam-sodium, iodométhane, chloropicrine, 1,3-dichloropropène, dazomet et bromure de méthyle), qui a pour objet a) de les mettre sur un pied d'égalité en évaluant les fumigants du sol simultanément et de manière cohérente et b) de veiller à ce que les décisions en matière de gestion des risques ne débouchent pas sur des compromis risque/avantage qui n'améliorent pas la sécurité et n'aident pas l'agriculture.

Les produits de lutte biologique doivent normalement être homologués mais ne figurent pas dans le tableau 7-2 parce qu'ils ne sont pas considérés normalement comme des solutions de remplacement du bromure de méthyle en raison de leur spectre d'activité étroit, bien qu'ils puissent jouer un rôle utile

comme appoints à des solutions de remplacement comme les fumigants, la vapeur ou les substrats. Il convient de noter que de nombreux traitements non chimiques n'ont pas besoin d'être homologués en vertu de la législation de l'Union européenne sur les produits pesticides; il en va ainsi pour des traitements comme la vaporisation, les traitements thermiques, les substrats, les plants greffés, les variétés culturales et d'autres pratiques résistantes (Smeets 2004). De nombreux autres pays n'exigent pas non plus que les traitements non chimiques soient homologués; il s'ensuit que les produits non chimiques sont disponibles plus rapidement que les nouveaux produits chimiques.

Tableau 7-2: Etat d'homologation des solutions de remplacement chimiques pour les sols

Le présent tableau a été établi d'après les bases de données sur l'homologation et les solutions de remplacement disponibles qui ont été soumises par les Parties au Secrétariat (Commission européenne, 2005a), et des informations communiquées dans les demandes de dérogation pour utilisations critiques. Les conditions d'utilisation et les prescriptions locales peuvent faire qu'un fumigant homologué ne soit pas utilisable pour certaines cultures ou en certains endroits, bien qu'il bénéficie d'une homologation générale.

Pays	Produits fumigants							Produits non fumigants		
	1,3-D	daz	met	pic	Enz	1,3-D+pic	1,3-D+ITCM	nem	fong	herb
Australie	H	H	H	H		H		H	H	H
Belgique	H	H	H	H				H	H	H
Canada a)	H b)	H	H			H	H			
Espagne	H	H	H	H	H	H d)		H	H	H
Etats-Unis	H b)	H c)	H	H		H		H	H	H e)
France	H	H	H		H			H	H	H
Grèce	H	H	H	H d)	H			H	H	H
Irlande	H	H	H	H						
Italie	H	H	H	H				H	H	H
Pologne		H	H					H	H	H
Portugal	H	H	H			H d)		H	H	H
Royaume-Uni	H	H	H	H				H	H	H

NB. Dans certains cas, les fumigants sont homologués pour certaines cultures alors que dans d'autres, ils le sont pour la fumigation des sols en général. a) Les informations sur les homologations concernent exclusivement les stolons de fraise. b) Non autorisés dans certaines zones. c) Homologués pour des cultures non alimentaires. d) Provisoire pour le moment en attendant l'achèvement de la réhomologation des fumigations en cours aux Etats-Unis. e) Pour certains types de mauvaises herbes seulement.

- H homologué
- 1,3-D 1,3-dichloropropène
- daz dazomet
- met métam-sodium et/ou métam-potassium
- pic chloropicrine
- enz tétrathiocarbonate de sodium (enzone)
- ITCM isothiocyanate de méthyle
- nem divers produits nématocides, par exemple, l'oxamyle
- fong divers produits fongicides – normalement spécifiques à certains groupes de champignons
- herb divers herbicides – normalement spécifiques à certains types de mauvaises herbes

1.5.2. Etat d'homologation des solutions de remplacement post-récolte et structurelles

Le tableau 7-3 ci-après présente les données disponibles sur l'état d'homologation de solutions de remplacement chimiques importantes pour lutter contre les nuisibles dans les denrées stockées et/ou les installations de stockage. La phosphine (préparations solides) est homologuée dans de nombreux pays. L'homologation des formes gazeuses de phosphine (en bouteille) et de fluorure de sulfuryle s'étend. Certains pays ont homologués le fluorure de sulfuryle (FS) il y a un certain nombre d'années pour les installations ne contenant pas de denrées alimentaires comme les bâtiments historiques dans certains pays d'Europe, ou les habitations domestiques (en remplacement d'une grande quantité de bromure de méthyle) aux Etats-Unis. Plus récemment, des préparations de fluorure de sulfuryle conçues pour certaines denrées ou pour les minoteries vides ont été homologuées aux Etats-Unis et dans certaines parties de l'Europe. Il a été signalé que le fluorure de sulfuryle faisait l'objet d'une procédure d'homologation en France, au Benelux, en Espagne (Lange, 2004) et au Canada.

Deux fumigants homologués, à savoir l'ITCM et l'iodométhane, ne figurent pas dans le tableau ci-après. Apparemment, l'ITCM est homologué au Canada pour les minoteries d'après une liste de solutions de remplacement homologuées que le Canada a communiquée récemment au Secrétariat de l'Ozone. L'iodométhane a récemment été homologué au Japon comme produit à large spectre pour lutter contre les insectes dans le bois importé (PNUE, 2004).

La plupart des fumigants utilisés après récolte (substances actives), à l'exception du fluorure de sulfuryle, font l'objet d'une procédure de réhomologation dans l'Union européenne.

Tableau 7-3: Etat d'homologation des solutions de remplacement après récolte

Le tableau a été établi à partir des bases de données sur l'homologation et les solutions de remplacement disponibles qui ont été communiquées par les Parties au Secrétariat de l'Ozone (Commission européenne, 2005 b), des informations communiquées sur les dérogations pour utilisation critique et d'autres sources

Pays	Produits fumigants						Autres traitements	
	FE	HCN	PH3 solide	PH3 gazeuse	OP	FS	ins	irr
Allemagne			H	H		H a b f)	H	H e)
Australie	H		H	H			H	H g)
Autriche		H b)	H			H a)	H	
Belgique			H				H	H e)
Canada			H	H			H	H e h)
Danemark			H	H			H	H e)
Espagne		H	H				H	H e)
Etats-Unis			H	H	H d)	H a b c)	H	H e h g f)
France		H i)	H				H	H e h f)
Grèce			H				H	H e)
Irlande			H				H	H e)
Italie			H			H b)	H	H e)
Pologne			H				H	H e)
Royaume-Uni			H			H b)	H	H e)
Suède			H			H a)	H	H e)
Suisse			H			H b)	H	

a) Constructions autres que les installations alimentaires, par exemple, bâtiments historiques. b) Installations alimentaires vides (par exemple, minoteries). c) Fruits séchés, fruits à coque, céréales. d) Denrées agricoles stockées :

chair de fruits à coque, cacao, épices; l'OP mélangé à du CO₂ est homologué pour les fruits à coque stockés.
e) Autorisée pour les herbes et les épices. f) Fruits séchés. g) Certains fruits et légumes frais aux fins d'une désinfection. h) Certains grains et céréales ou farine. i) Avion.

H	homologué	
FE	formate d'éthyle	
HCN	cyanure d'hydrogène, cyanures de calcium ou de sodium	
PH ₃ solide	phosphine (préparations solides)	
PH ₃ gazeuse	phosphine gazeuse dans le dioxyde de carbone ou l'azote	(bouteille)
OP	oxyde de propylène	
FS	fluorure de sulfuryle	
ins	insecticides résiduels ou aérosols insecticides pouvant être utilisés pour des programmes de gestion intégrée des nuisibles	
irr	irradiation	

1.5.3. Réhomologation et réexamen du bromure de méthyle

Dans l'Union européenne, on évalue le bromure de méthyle en vue de sa réhomologation dans le cadre de l'examen général des pesticides (substances actives) par le Conseil. Les examens comportent des évaluations scientifiques des données sur la sécurité et l'environnement communiquées par les demandeurs. Dans le cadre de la Directive du Conseil sur les produits phytopharmaceutiques (91/414/CE), un dossier sur le bromure de méthyle est à l'examen et une décision devrait être prise au plus tard à la fin de 2008 pour les utilisations comme pesticide réglementé par cette directive. Le bromure de méthyle a été "identifié" dans la Directive sur les biocides (98/8/CE), ce qui signifie que les produits biocides contenant du bromure de méthyle ne pourront être mis sur le marché de l'Union européenne que jusqu'au 1^{er} septembre 2006, conformément au paragraphe 2 de l'article 4 du Règlement 2032/2003 (Arash, communication personnelle 2005). On ne sait pas si une interdiction de l'utilisation du bromure de méthyle dans l'Union européenne entraînerait une interdiction de l'importation de produits cultivés ou traités en utilisant du bromure de méthyle et l'on n'a pas encore déterminé dans quelle mesure cela influencerait sur l'utilisation du bromure de méthyle dans le monde.

Aux Etats-Unis, le bromure de méthyle est en cours de réhomologation et une décision doit intervenir en 2006. Le bromure de méthyle figure également parmi les fumigants faisant l'objet d'une « analyse en grappe », comme il a été indiqué plus haut.

On trouvera une analyse de la toxicité et des effets environnementaux du bromure de méthyle dans le document PISC/OMS (1995).

1.6. Récupération, recyclage et destruction

L'adoption des techniques de récupération susceptibles d'entraîner une réduction des émissions de bromure de méthyle vers la couche d'ozone reste limitée là où l'on continue à utiliser le bromure de méthyle ou ses applications aux fins de quarantaine et de traitements préalables à l'expédition. Là où ces techniques sont adoptées, les investissements dans les systèmes de récupération ont été généralement motivés par des préoccupations concernant l'environnement ou la santé et la sécurité des travailleurs.

Le système Nordiko de récupération/destruction est maintenant exploité commercialement dans plusieurs circonstances différentes en Australie (Brash, 2005). Des systèmes sont associés aux fumigations « sous bâche » et aux chambres de fumigation permanentes et peuvent être montés comme groupes amovibles sur les conteneurs fumigés. Ce système comporte une récupération sur charbon actif, une destruction du

bromure de méthyle sorbé au moyen de thiosulfate de sodium ainsi qu'un lavage et un séchage du charbon traité en vue de sa réutilisation.

1.7. Références

- Abdul-Baki, A., Bryan, H., Klassen, W., Carrera, L., Li, Y.C. and Wang, Q. 2004. Low production cost alternative systems are the avenue for future sustainability of vegetable growers in the U.S. *Acta Hort.* 638: 197 - 200.
- Ajwa H.A., Fennimore, S., Kabin, Z., Martin, F., Duniway, J., Browne, G., Trout, T., Kahn, A. and Daugovish, O. 2004. Strawberry yield with chloropicrin and inline in combination with metam sodium and VIF. In: Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions 3-6 November 2004, Orlando, Florida, USA.
- Ajwa, H.A. S. Fennimore, Z. Kabir, F. Martin, J. Duniway, G. Browne, T. Trout, R. Goodhue, and L. Guerrero. 2003. Strawberry yield under reduced application rates of chloropicrin and InLine in combination with metam sodium and VIF. In: Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions, 3-6 November 2003, San Diego, California, USA.
- Ajwa, H.A. Trout, T., Fennimore, S., Winterbottom, C., Martin, F., Duniway, J., Browne, G., Westerdahl, B., Goodhue, R. and Guerrero L. 2002. Strawberry production with alternative fumigants applied through drip irrigation systems. In: Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions 6-8 November 2002, Orlando, Florida, USA.
- Akkaya, F., Ozturk, A. and Ozkan, B. 2004. An economic analysis of alternatives to use of methyl bromide for greenhouse vegetables (tomatoes, cucumbers) and cut flowers (carnation). *Acta Hort.* 638: 479 – 485.
- Anon. 2005. Registration database. Information on re-registration, de-registration and review of alternatives to methyl bromide uses for the applications reflected in Critical Use Exemptions (Montreal Protocol Decision Ex.I/4(9)(i)). Submitted to the Ozone Secretariat. European Commission, Brussels.
- Arash, B. 2005. Personal communication. Bobby Arash, DG ENV B4, European Commission, Brussels.
- Arbel, A., Siti, M., Barak, Katan, J. and Gamiel, A. 2003. Innovative plastic films enhance solarization efficacy and pest control. In: Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions Nov 3-6, 2003, San Diego, California USA.
- Ausher, R. 2004. Personal communication. Rehovot, Israel
- Ball K. R. 2004. Miller Milling of Winchester Virginia. Pest Management Alternative Workshop.
- Barel, M. 2003a. Steam training course manual, UNDP, New York.
- Barel, M. 2003b. Report on visit to UNDP project in Chile. UNDP, New York.
- Barel, M. 2004. Metham sodium as an alternative for cut flower production in Europe and Africa. Proc. Fifth Int. Conf. On Alternatives to MB Lisbon, Portugal Sept 2004.
- Barel, M. 2005. Report on UNDP project mission in Bolivia, 19 - 22 April 2005. Project No. UNDP BOL/02/G62-11606. Report to National Ozone Unit, Bolivia.

- Beers van, T.G. and Molendijk, L.P.G., 2004. Digi-aal a new tool in nematode control. Abstracts 56th International Symposium on Crop Protection, Ghent, Belgium.
- Besri, 2004. Leading Methyl Bromide alternatives in commercial use for tomato production in different geographic regions except the United States. Fifth International Conference On Alternatives to Methyl Bromide, 26-30 September, 2004, Lisbon, Portugal Sept 2004.
- Besri M.2003. Tomato grafting as an alternative to Methyl Bromide in Morocco. Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions , Nov. 3-6, 2003, San Diego, California, p. 12-1.
- Blestos, F.A. 2005. Use of grafting and calcium cyanamide as alternatives to methyl bromide soil fumigation and their effects on growth, yield, quality and Fusarium wilt control in melon. *Journal of Phytopathology* 153 (3), 155-161.
- Branham, B.E., Hardebeck, G. A., Meyer, J.W. and Reicher, Z. J. 2004. Turfgrass renovation using Dazomet to control the *Poa annua* L. soil seed bank. *HortScience* 39(7).
- Brash, K. 2005 Personal communication. Nordiko Quarantine Systems.
- Browne, G., J. Connell, H. Becherer, S. McLaughlin, S. Schneider, R. Lee, and Hosoda, E. 2003. Evaluation of rootstocks and fumigants for control of almond replant disease. Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions, Nov. 3-6, 2003, San Diego, California, 11.1 –11.2.
- Caballero, P and De Miguel, M.D. 2002. Costes e intensificación en la hortofruti-cultura Mediterránea. In: JM Garca (ed.). *La Agricultura Mediterránea en el Siglo XXI*. Instituto Cajamar, Almería. pp. 222-244.
- Calderón, F. 2001: Qué son los cultivos hidropónicos y el por qué de la hidroponía. Primer Curso de Hidroponía para la Floricultura. Mayo 31 – Junio 2, 2001. Bogotá, Colombia. 1-20.
- California Strawberry Commission. 2003. Efficacy of weed management tools used in California Strawberries. In: California Strawberry Commission and California Minor Crops Council. 2003. *A Pest Management Strategic Plan for Strawberry Production in California*. p. 49.
- Cantliffe, D.J. and Vansickle, J.J. 2003. Competitiveness of the Dutch and Spanish greenhouse industries with the Florida fresh vegetable industry. *Univesrity of Florida Extension Service Bulletin HS918*.
- Cantliffe, J. Shaw, N., Smither-Kopperl, M. and Stansly, P.A. 2003. Greenhouse production with soil- less media as a Methyl Bromide alternative. Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions, Nov. 3-6, 2003, San Diego, California, pp. 135.1 – 135.2.
- Cao, A. 2005. Personal Communication, Beijing, China.
- Carrasco, J., Altamirano, S., Droguet, L., Olavaria, M. and Pastén, D. (eds). 2002. Alternativas al Bromuro de Metilo para la Desinfección de Suelos en Tomate y Pimiento. *Boletín INIA No 88*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura, San Fernando, Chile, 131pp.
- Carrasco, J., Altamirano, S., Droguet, L., Olavaria, M. and Pastén, D. 2003. Results of UNDP Methyl Bromide Phase-out Project Trials. INIA, Santiago.

- Carrera, T, Carrera, A and Pedros, A. 2004. Use of 1,3-dichloropropene / chloropicrin for the production of strawberries in Spain. Proceedings of International Conference on Alternatives to Methyl Bromide. 27-30 September 2004. Lisbon.
- Carrijo, O.A., Liz, R.S, and Makishima, N. 2002. Fibra da Casca do Coco Verde como substrato Agrícola. *Horticultura Brasileira* 20 (4): 533 – 535.
- Cavelier, A. 2003. Personal communication, La Gaitana Flowers, Bogotá, Colombia
- Chaverri, F. 2004. Personal communication, IRET, Costa Rica.
- De Cal, A., Martínez-Terceno, A., López-Aranda, J.M. and Melgarejo P. 2004 Alternatives to methyl bromide in Spanish strawberry nurseries. *Plant Disease* 88(2): 210-214.
- De Hoog, J. (ed.) 2001. Handbook for Modern Greenhouse Cultivation, Applied Plant Research, Research Station for Floriculture and Glasshouse Vegetables, Aalsmeer, the Netherlands, 219 pp.
- De Miguel, A., Maroto, J.V., Bautista, A.S., Bauxauli, C., Cebolla, V., Pascual, B., Lopez, S. and Guardiola, J.L. 2004c. The grafting of triploid watermelon is an advantageous alternative to soil fumigation by methyl bromide for control of Fusarium wilt. *Scientia Hort.* 103(1): 917.
- De Miguel, A. 2004a. Use of grafted cucurbits in the Mediterranean region as an alternative to Methyl Bromide. Fifth International Conference On Alternatives to Methyl Bromide, 26-30 September, 2004, Lisbon, Portugal Sept 2004.
- De Miguel, A. 2004b. Use of grafted plants and IPM methods for the production of tomatoes in the Mediterranean region. Fifth International Conference On Alternatives to Methyl Bromide, 26-30 September, 2004, Lisbon, Portugal Sept 2004.
- Dickson, D. W., Mendes, M. and Hamil, J. 2003. Comparison of methyl iodide formulations with methyl bromide and an untreated control on the management of root-knot nematodes, weeds and yield of tomato in Florida. Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions, Nov. 3-6, 2003, San Diego, California, pp. 22.1 – 22.4.
- Dow AgroSciences. 1998. Telone C-35 Specimen Label. EPA Registration No. 62719-302. EPA-accepted: 12-07-1998. Dow AgroSciences LLC, Indianapolis. 8pp.
- Dow AgroSciences. 2001. Telone C-35 Specimen Label. EPA Registration No. 62719-348. EPA-accepted: 04-23-2001. Dow AgroSciences LLC, Indianapolis. 7pp.
- Dow AgroSciences. 2005. Information from Dow AgroSciences 2005.LLC (DAS) on the US methyl bromide (MB) critical use nominations (CUN) for 2006 and 2007. April. 19 pp.
- Ellis, R.G. 1991. A Review of Sterilisation of Glasshouse Soils. Horticultural Development Research Council. Report PC/34. Petersfield.
- Elmore, C., Roncoroni, J. and Tjosvold, S. 2003. Treatment combinations to improve efficacy in field-grown flowers. In: Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions. November 3 – 6, 2003, San Diego, California, USA. p. 112-1

Executive Committee. 2004. Desk study on Methyl Bromide Projects. UNEP/OzL.Pro/ExCom/43/. 43rd Meeting of the Executive Committee of the Multilateral Fund for the Implementation of the Montreal Protocol, Montreal.

[Fennimore, S. 2004. Weed response to chloropicrin and InLine™ dose under VIF and standard film.](#) In: Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions Nov 3-6, 2004, Orlando, Florida. USA.

Fennimore, S., Kabir, Z., Ajwa, H., Daugovish, O., Roth, K. and Valdez, J. 2003. Chloropicrin and Inline dose response under VIF and HDPE film: Weed control results. In: Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions, Nov 3-6, 2003, San Diego, California, USA.

Fields P. 2004. Comparative evaluation of heat treatment technologies as alternatives to methyl bromide fumigations for control of stored product pests in Canadian grain milling facilities. Cereal Research Center, Agriculture and Agri-Food Canada.

Flower Association of Queensland, Australia (FAQ) 2004.

Fritsch, J. 2002. The current status of alternatives to methyl bromide in vegetable crops in France. International Conference on Alternatives to Methyl Bromide. March 5-8 2002. Sevilla, 193-195.

Gantz, S., Sachs Y., Zaidan, O., Dotan, S., Cahlon, Y., Urieli, E., Kadmon, A., Yogeve, E. and Singer M. 2002. Methyl Bromide substitute on tomato crops. International Methyl Bromide Compliance Workshop, December 8-13, Israel, 48 pp.

Gerik, J.S. 2004. Soil fumigation for Liatris production. Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions. Nov. 3-6, 2004, Orlando, Florida. pp. 6.1 – 6.4.

Ghini, R. 2004. A decade of solar collector use for substrate desinfestation in Brazil. Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions. Nov. 3-6, 2004, Orlando, Florida.

Gilreath, J.P., Motis, T. N., Santos, B. M. and Noling, J.W. 2003. Retention of 1,3-dichloropropene and nutsedge control with Virtually Impermeable Film. In: Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions Nov 3-6, 2003, San Diego, California USA.

Gilreath, J.P., Motis, T.N. and Santos, B.M. 2005. *Cyperus* spp. control with reduced methyl bromide plus chloropicrin doses under virtually impermeable films in pepper. Crop Protection 24(3): 285 - 287.

Grafiadellis, I., Mattas, K., Tzouramani, I. and Galanopoulos, K. 2000. An economic analysis of soilless culture in gerbera production. HortScience 35(2): 300 – 303.

Grillas, S., Lucas, M., Bardopolou, E., and Sarafopoulus, S. 2001. Perlite based soilless culture systems: Current commercial applications and prospects. Acta Hort. 548:105 – 113.

Guertal, E., Rodriguez-Kabana, R. and Walker, R. 2003. SEP-100 (Sodium Azide) efficacy against hybrid and common bermudagrass. Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions, Nov. 3-6, 2003, San Diego, California, p. 106-1.

- Gullino, M.L., Camponogara, A., Gasparini, A., Rizzo, V., Cini, C. and Garibaldi, A. 2003. Replacing Methyl Bromide for soil disinfestation. The Italian experience and its implications for other countries. *Plant Disease* 87 (9): 1012 – 1019.
- Gullino, ML. 1992. Methyl bromide and alternatives in Italy. International Workshop on Alternatives to Methyl Bromide for Soil Fumigation. October 19-23 1992, Rotterdam and Rome/Latina.
- Hafez S.L., Haroutunian G. and Sundararaj P. 2003. Constraints and remedies in the adoption of non-chemical Methyl Bromide alternatives for vegetable production in Lebanon. Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions, Nov. 3-6, 2003, San Diego, California, 14.1-14.2.
- Hamill, J.E., Dickson, D.W., T-Ou L., Allen, L.H., Burelle, N.K. and Mendes, M.L. 2004. Reduced rates of MBr and C35 under LDPE and VIF for control of soil pests and pathogens. Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions. 3-6 November 2004, Orlando, Florida, USA.
- Haroutunian, G. 2003. Report of UNIDO Project on the Phase-out of Methyl Bromide in Lebanon. Hensley D.2002 Disease Management in Transplant Production; Kentucky 2002 Tobacco Production Guide 2002.
- Hofmeir, H. 2002: Wärmeentwesung nach dem ThermoNox[®]-Verfahren - Schädlingsbekämpfung ohne Gift [Disinfestation with warm air following the ThermoNox[®]-method - pest control without poison]. *Mühle + Mischfutter*. 139, 153-160.
- Hutchinson, C.M., McGiffen, M.E., Sims, J.J. and Becker, J.O.2004. Fumigant combinations for *Cyperus esculentum* L control. *Pest Management Science* 60(4), 369-374.
- Johnson, B. 2005. Methyl Bromide alternatives. New research opens up alternatives for MB use with Ranunculus. *Grower Talks*, March 2005, 36.
- Kassel, A. 2004: Warmluftentwesung im Umlaufverfahren – Praktische Erfahrungen [Disinfestation with warm air with recirculation – practical experiences]. *Der praktische Schädlingsbekämpfer* 56 (11), 10.
- Kipp, J.A., G. Wever, and C. de Kreij, 2000. International Substrate Manual. Research Station for Floriculture and Glasshouse Vegetables, Aalsmeer, the Netherlands. Elsevier International, Doetinchem, The Netherlands, 94 pp.
- Koppenol, M. 2004. Personal communication. Soil Fumigation Services Pty. Ltd, Tarlton, South Africa.
- Koren A., 2002 Grafting vegetable transplants in Israel, 2002. International Methyl Bromide Compliance Workshop, December 8-13, 2002, Israel, 46 pp.
- KWIN 2003. Kwantitatieve Informatie Glastuinbouw 2003. Proefstation Bloemisterij en Glasgroente, Naaldwijk.
- Lange, H. 2004. Methyl bromide alternatives used in northern Europe and central Europe for the disinfestations of structures. Proceedings of International Conference on Alternatives to Methyl Bromide. 27-30 September 2004. Lisbon.
- Laterrot H, 2002. Lutte génétique contre les pathogènes des légumes en cultures abritées. *Phytoma-La Défense des Végétaux*, 552, 29-31.

- Lee, J. M. 2003. Advances in Vegetable Grafting. *Chronica Horticultural* 43(2): 13-19.
- Legard, D. 2004. Commentary from California Strawberry Commission. Issues limiting the use of alternative fumigants in California strawberry fruit production. California Strawberry Commission.
- Leoni, S and Ledda, L. 2004. Influenza delle limitazioni nell'uso del bromuro di metilo sull'orticoltura in serra della Sardegna. Workshop Internazionale: La Produzione in Serra dopo l'era del Bromuro di Metile. April 1-3, 2004, Comiso, 253-263.
- Leoni, S., Ledda, L. and Marras, G.F. 2004b. Adoption of Methyl Bromide alternatives in tomato and vegetable production in Sardinia. Fifth International Conference On Alternatives to Methyl Bromide, 27-30 September 2004. Lisbon.
- Lieten, F. 2004. Substrates as an alternative to methyl bromide for strawberry fruit production in Northern Europe in both protected and field production. Proceedings of International Conference on Alternatives to Methyl Bromide. 27-30 September 2004. Lisbon.
- Llauradó, M. 2004. Production of carnations without Methyl Bromide. Proceedings of International Conference on Alternatives to Methyl Bromide. 27-30 September 2004. Lisbon.
- Lopez-Aranda, J.M., Miranda, L., Romero, F., De Los Santos, B., Soria, C., Medina, J.J., Montes, F., Vega, J.M., Páez, J.I., Bascón, J., Martínez-Treceño, A., García-Sinovas, D., García-Méndez, E., Becerril, M., De Cal, A., Salto, T., Martínez-Beringola, M.L. and Melgarejo, P. 2004. Main results of trials on methyl bromide alternatives for strawberry fruit and runners produced in Spain. Proceedings of International Conference on Alternatives to Methyl Bromide. 27-30 September 2004. Lisbon.
- López-Medina, J., Peralbo, A., Fernández, M.A., Hernanz, D., Toscano, G., Hernández, M.C. and Flores. 2004. Substrate systems for production of strawberry fruit in Spain and Mediterranean climates. Proceedings of International Conference on Alternatives to Methyl Bromide. 27-30 September 2004. Lisbon.
- Loumakis, N. 2004. Protected vegetable production in Mediterranean regions without the use of Methyl Bromide. Proceedings of International Conference on Alternatives to Methyl Bromide. 27-30 September 2004. Lisbon.
- MBTOC 2002. 2002 Assessment Report of the Methyl Bromide Technical Options Committee. UNEP, Nairobi. 468pp.
- Maloupa, E, Gerasopoulos, D, Zervaki, D, and Traka-Mavrona, A. 1999. Evolution of soilless culture technique in Greece. Regional Working Group Greenhouse Crop Production in the Mediterranean Region. Pric. 1st Meeting FAO Thematic Working Group Soilless Culture. 2 September 1999. Technical Publication No. 3, Halkidiki, Greece.
- Marcotte M. 2004. EPA Case Study – Alternatives to Methyl Bromide for post-harvest applications. Dow AgroScience and ProFume marketing a new fumigant – answering the tough questions. US Environmental Protection Agency.
- Martin, F.N. 2003. Development of alternative strategies for management of soilborne pathogens currently controlled with methyl bromide. *Annual Review of Phytopathology* 41:325-350.

Martinez, C., Fennimore, S. and Ajwa, H. 2000. Strawberry Production with methyl bromide alternatives: a farmer's perspective. Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emission Reductions, Orlando, Florida.

Matthiessen, J., and Warton, B. 2003. Sand, calcium and high soil pH – a high risk combination for enhanced biodegradation. Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions, November 3-6, 2003, San Diego, California, pp. 17.1 – 17.2.

Mattner, S.W., Gregorio, R., Ren Y.L., Hyland T.W., Gounder, R.K., Sarwar, M. and Porter, I.J. 2003. Application techniques influence the efficacy of ethanedinitrile (C₂N₂) for soil disinfestation. Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emission Reductions, Nov. 3-6, San Diego, California, pp. 127.1-127.4.

Melton T. and Broadwell, A. 2003. Disease Management. In: 2003 Flue-Cured Tobacco Information. North Carolina State University.

Minuto A., Bogoescu M, Amadio A., Clini C., Gulino M.L., 2003a. A project to phase out methyl Bromide in Romania: Preliminary results. Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emission Reductions, November 3-6, 2003, San Diego, California, pp. 13.1- 13.2.

Minuto, A., Garibaldi, A. And Gullino, M.L. 2003b. Chemical alternatives to Methyl Bromide in Italy: an update. Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emission Reductions, November 3-6, 2003, San Diego, California, USA.

Mulder, A. 2001. Soil fumigation: development of a new application machine, the rotary spading injector. Hilbrand Laboratory, Assen, The Netherlands.

Mutitu, E and Barel, M. 2003. Examples of MB alternatives used in commercial practice. Stakeholders Workshop on Methyl bromide, February 2003. Nairobi.

Navas Becerra, J.A., Basallote Ureba, B.J. and López Herrera, J.L. 2000. Comparative effectiveness of several methods of soil disinfestation to control fusarium wilt of carnation. *Acta Hort.* 532: 247 – 251.

Noling, JW, and Gilreath, JP. 2004. Use of virtually impermeable plastic mulches (VIF) in Florida strawberry. Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions, 3-6 November, Orlando, Florida, USA.

Norton, J. 2003. A review of potential Methyl Bromide alternatives (MBA) from IR-4 MBA programs In: Annual International Research Proceedings of the Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions, Nov. 3-6, 2003, San Diego, California, USA.

Nucifora, S., Vasquez, G. and Giuffrida, F. 2001. Spread of soilless cultivation in the area of Ragusa (Italy). *Acta Hort.* 554: 305 – 309.

Nuyten, H. 2000. Case study 9. Strawberries in Scotland: natural substrates. In: Batchelor, TA (ed.) 2000. Case Studies on Alternatives to Methyl Bromide. UNEP DTIE, Paris.

OTO – Perú. Oficina Técnica del Ozono, Ministerio de la Producción, División de Ambiente, Lima, Perú.

OTO, Oficina Técnica del Ozono, Perú, 2003. Eliminación del Bromuro de Metilo en la fumigación de suelos en el Perú. Proceedings of the Closing Seminar for the UNDP project PER/00/G61. Lima, Peru, 212 pp.

- Ozone Secretariat, 2004. UNEP, United Nations Environment Program, Nairobi, Kenya
- Ozores-Hampton, M., McSorley, R., Stansly, P.A., Roe, N.E. and Chellemi, D.O. 2004. Long term large scale soil solarization as a low-input production system for Florida vegetables. *Acta Hort.* 638:177-188.
- Ozores-Hampton, M.P., Stansly, A., McSorley, R. and Obreza, T.A. 2005. Effects of long-term organic amendments and soil solarization on pepper and watermelon growth, yield, and soil fertility. *HortScience* 40(1).
- Pacett, M. 2003. Report on UNDP Project for Methyl Bromide Phase-out in Bolivia. National MB phase-out project, La Paz.
- Park, B.S., and Landschoot, P.J. 2003. Evaluation of dazomet for golf course fairway renovation. In: Annual International Research Proceedings of the Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions, Nov. 3-6, 2003, San Diego, California.
- Pearce, B. and Palmer, G. 2002. Management of Tobacco Float Systems; North Carolina State University Fact Sheet, 2002.
- Peguero, A. 2004. Use of Agrocellhone in cut flower production in southern Spain. Proceedings of International Conference on Alternatives to Methyl Bromide. 27-30 September 2004. Lisbon.
- Peters, F. 2004. Personal communication. IMANTS BV, Reusel, the Netherlands.
- Pizano, M. 2003. Commercial adoption of alternatives to MB in floriculture in developing countries. In: Annual International Research Proceedings of the Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions, Nov. 3-6, 2003, San Diego, California, pp. 31.1 – 31.4.
- Pizano, M. 2004a. Overview of alternatives to Methyl Bromide for cut flower production in industrialized countries. Proceedings of International Conference on Alternatives to Methyl Bromide. 27-30 September 2004. Lisbon.
- Pizano, M. 2004b. Alternatives to MB for the production of cut flowers and bulbs in developing countries. Proceedings of International Conference on Alternatives to Methyl Bromide. 27-30 September 2004. Lisbon.
- Pizano, M. 2005. World-wide trends in substrate use. *FloraCulture International*, March 20 – 21.
- Porter I., Mattner, S., Gounder, R., Mann, R., Banks, J. and Fraser, P. 2004a. Strawberry fruit production: summaries of alternatives to methyl bromide fumigation and trials in different geographic regions. Proceedings of International Conference on Alternatives to Methyl Bromide. 27-30 September 2004. Lisbon.
- Porter, I., Mattner, S., Mann, R. and Gounder, R. 2004b. Strawberry nurseries: summaries of alternatives to methyl bromide fumigation and trials in different geographic regions. Proceedings of International Conference on Alternatives to Methyl Bromide. 27-30 September 2004. Lisbon.
- PROZONO, 2003. Manual de producción de plantas de tabaco en bandejas flotantes. INTA Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires, Argentina 139 pp.
- Reichmuth, Ch., Rassmann, W., Binker, G., Fröba, G. und Drinkall, M.J. (2003): Disinfestation of rust-red flour beetle (*Tribolium castaneum*), saw-toothed grain beetle (*Oryzaephilus surinamensis*), yellow meal worm (*Tenebrio molitor*), Mediterranean flour moth (*Ephesia kuehniella*) and Indian meal moth (*Plodia*

interpunctella) with sulfuryl fluoride in flour mills. In: Proceedings of the 8th International Working Conference on Stored Product Protection. 22-26 July 2002, York, UK, Credland, P. F., Armitage, D. M., Bell, C. H., Cogan, P. M., Highley, E. Hrsg.(eds) CAB International, Biddles Ltd, UK, 736-738.

Ren, Y., C. Waterford, J. Matthiessen, S. Mattner, R. Gregorio, and M. Sarwar. 2003. First results from ethanedinitrile (C₂N₂) field trials in Australia. Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions, Nov.3 - 6, 2003, San Diego, California, pp. 25.1 – 25.3.

Research Station for Floriculture, 2001. Handbook for modern greenhouse rose Cultivation.193 pp.

Reuven, M., A. Zevebil and A. Gamliel 2000. Fusarium Control in Carnation using Reduced Dosages of Methyl Bromide and Metham Sodium. Acta Hort. 532: 205 – 210.

Reuven, M., Y. Ben-Yephet, Y. Sznulewich, I. Kolesnik, A. Gamliel, V. Zilberg, M. Mor and Y. Cahlon 2002. Control of Fusarium and root-knot nematodes in carnations using steam and chemicals. In: International Workshop on Methyl Bromide Compliance Assistance. Dec 8 - 13, 2002, Israel.

Reuven, M., Szmulewich, Y., Kolesnik, I., Gamliel, A., Zilberg, V., Mor, M., Cahlon, Y. and Ben-Yephet, Y. 2005. Methyl Bromide alternatives for controlling fusarium wilt and root knot of nematodes in carnations. Acta Hort. (in press).

Rodriguez-Kabana, R. and Akridge, J. 2003a. Sodium azide (Sep-100) for control of nematodes and weed problems in green pepper production. Proceedings of the Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions, Nov. 3-6, 2003, San Diego, California, pp. 46.1 – 46.5.

Rodriguez-Kabana, R., Akridge, J. and Burkett, J. 2003b. Sodium azide (Sep-100) for control of nutsedge, root-knot nematode, and Fusarium crown rot in tomato production. Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions. Nov. 3-6, 2003, San Diego, California, pp. 21.1 – 21.12.

Roe, N., Ozores-Hampton, M. and Stansly, P.A. 2004. Solarization effects on weed populations in warm climates. Acta Hort. 638:197-200.

Runia, W. 2000. Steaming methods for soils and substrates. Proceedings of the Fifth International Symposium on Chemical and Non-Chemical Soil and Substrate Disinfestation. Acta Hort. 532:115-123.

Sachs Y., 2002. Vegetable industry: Recommendations for use of Methyl Bromide alternatives and gaps in know-how. International Methyl Bromide Compliance Workshop, Israel, December 8-13, 2002, p. 51.

Savvas, D. 2003. Hydroponics: A modern technology supporting the application of integrated crop management in greenhouse. Food, Agriculture and Environment 1 (1): 80 – 86.

Savvas, D. and Passman, H (Eds). 2002. Hydroponic production of vegetables and ornamentals. Emrbyo Publications, Athens, Greece, 463 pp.

Schneider S.M, Ajwa, H., Trout, T., Browne, G. and Sims, J. 2002a. Vineyard Replant Disorder – Results after 1, 2, and 4 Growing Seasons. Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions, Nov. 6-8 Orlando, Florida, pp. 4.1 – 4.6.

Schneider S.M, Trout, T. Gerik, J. Ramming, D. and Ajwa, H. 2003. Methyl Bromide alternatives for perennial field nurseries – 1st and 2nd year performance. Annual International Research Conference on

Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions, Nov. 3-6, San Diego, California, 2003, pp. 7.1 – 7.5.

Schneider S.M, Trout, T., Gerik, J. and Ajwa, J. 2002b. Methyl Bromide alternatives for tree, vine, and rose field nurseries. Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions, Nov. 6-8 Orlando, Florida, 2002, pp. 21.1 – 21.5.

Schnitzler and Gruda 2002. Hydroponics and product quality. In: D Savvas and H Passam (ed) 2002. Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals. Embryo Publications. Athens. pp. 373-412.

Ségur-Cabanac, A. und Einspieler, I. 2004: Wärme in der Schädlingsbekämpfung: Heißluftentwesung nach dem IFS-Verfahren [Elevated temperature in pest control: disinfestation with hot air following the IFS-method]. Der praktische Schädlingsbekämpfer 56 (11), 14.

Shanks, A., Mattner, S., Brett, R., Porter, I., Tostovrsnik, N. and Dignam, B. 2004. Getting the most from Methyl Bromide alternatives. A guide to soil disinfestation strategies in the absence of Methyl Bromide. Department of Primary Industries, Knoxfield, Victoria, Australia.

Sibanda, Z. and Way, J. 2004. Chemical alternatives to Methyl Bromide for seedbed fumigation. Acta Hort. 635:165-173.

Smeets, L. 2004. Update on the review of pesticides in the European Union and implications for methyl bromide and chemical alternatives. Proceedings of International Conference on Alternatives to Methyl Bromide. 27-30 September 2004. Lisbon.

Solís, LF and Calderón, LF. 2002. Alternatives to methyl bromide for cut flower production in Guatemala. International Conference on Alternatives to Methyl Bromide. March 5-8 2002. Sevilla, 253-255.

Spotti, C. 2004. The use of fumigants and grafted plants as alternatives to Methyl Bromide for the production of tomatoes and vegetables in Italy. Proceedings of International Conference on Alternatives to Methyl Bromide. 27-30 September 2004. Lisbon.

Stanghellini, C and van Os, EA. 2004. Colture protette in Olanda: Normativa ambientale e situazione economica. Workshop Internazionale: La Produzione in serra dopo l'era del bromuro di metile. 1-3 April 2004. Comiso, Italy.

Stapleton, J.J., McKenry, M.V. and Ferguson, L. 1999. Methyl bromide alternatives: CDFA approves a solarisation technique to ensure against nematode pest infestation of containerised nursery stock. UC Plant Protection Quarterly 9(2):14.

Stapleton, J.J., Prather, T.S., Mallek, S.B., Ruiz, T.S. and Elmore C. L. 2000. High temperature solarization for weed control in container soil and potting mixes. 52nd Annual Conference of the California Weed Science Society 52:204-207.

Tateya A. and Mizobuchi M. 2005. Contribution for MBTOC progress report on the recent knowledge on the development of alternatives in Japan. May.

TEAP. 2005. May 2005 report of the Technology and Economic Assessment Panel. Critical Use Nominations – Section III and Former “Unable to Assess” from Annex 1 Decision XVI/2. Final Report. UNEP:Nairobi.

- Temp-Air. Thermal remediation from Temp-Air, an alternative to methyl bromide. April 2005.
- Triagriberia. 2002. Tripicrin™ pesticide registration document. Registration of Ministero della Salute [Ministry of Health], Italy. Triagriberia SL, Madrid and Trinity Manufacturing Inc. North Carolina.
- Trout T. and Damodaran, N. 2004 Adoption of methyl bromide alternatives by California strawberry growers. Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions. 3rd 6 November, 2004, Orlando, Florida, USA.
- Trujillo, A. 2004. Flexport de Colombia, Bogotá, Colombia (personal communication).
- UNDP 2004. Technology transfer leading to methyl bromide phase-out in soil fumigation in cut flower component in Kenya. KEN/FUM/38/INV/31
- UNDP 2005. Project for phasing-out MB in melons, flowers and small uses in Costa Rica. COS/FUM/35/INV/25 and COS/FUM/43/INV/33
- UNEP. 2004. Iodomethane fumigant, a promising methyl bromide alternative (Japan). OzoNews. 7 December 2004. UNEP DTIE OzonAction Programme, Paris.
- UNIDO 2005a. Methyl Bromide Phase – Out Project in Brazil’s flower and horticulture Sector MP/BRA/04/124/11-52. Project Document. May 2005.
- UNIDO 2005b. Phase-out of methyl bromide in strawberry, protected vegetables and cut flower production in Argentina. ARG/FUM/30/inv/105.
- UNIDO, 2004. Phase-out of methyl bromide in Uganda’s flower sector. UGA/FUM/34/INV/08
- UNIDO, 2005 d. Phase-out of methyl bromide in the melon and banana production sectors and tobacco seedlings in Honduras HON/FUM/37/INV/10.
- UNIDO, 2005c. Project for National phase-out of MB in Guatemala, GUA/FUM/38/INV/29
- Urrestarazu, M. 2004 3 Ed. Tratado de cultivo sin suelo. Mundi prensa Libros, Spain, 928 pp.
- Valderrama, H.; La Rota, R. 2003. Personal communication, Flores Sagaró, Bogotá, Colombia.
- Valeiro, A. 2003. Annual progress report. Argentina’s project to phase-out methyl bromide in soil fumigation of tobacco and open-field vegetables sectors. Report of activities year 1. UNDP project ARG/02/G61. INTA, Tucumán.
- Vargas, A. and Samper, G. 2003. Personal communication. Rosen, Tantau, Colombia.
- VDPI. 2004. *National Methyl Bromide Update*. Issue No. 12, May 2004. Victoria Department of Primary Industries, Australia.
- VDPI. 2005. *National Methyl Bromide Update*. Issue No. 13, February 2005. Victoria Department of Primary Industries, Australia.
- Walker, R., Rodriguez-Kabana, R. Belcher, J. Guertal, E. and Teem, D. 2003. Weed efficacy of SEP 100: rate, tillage and tarp effects. Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions, Nov. 3-6, 2003, San Diego, California, pp. 105.1 – 105.2.

Webster, TM. 2005. Should I stay or should I grow? The nutsedge dilemma in polyethylene mulch systems. Crop Protection and Management Research Unit, USDA-ARS, Tifton, Georgia.

World Bank, 2002, 2005. Investment project “Technology change for the phase-out of methyl bromide in the rose plant nursery sector in Ecuador” ECU/FUM/38/inv/31.

World Bank. 2005. Report on project for phasing/our MB consumption in rose propagation ECU/FUM/38/INV/31. World Bank, Washington D
