

# Biofumigation – principe et application (4.2.2008)

Auteur:

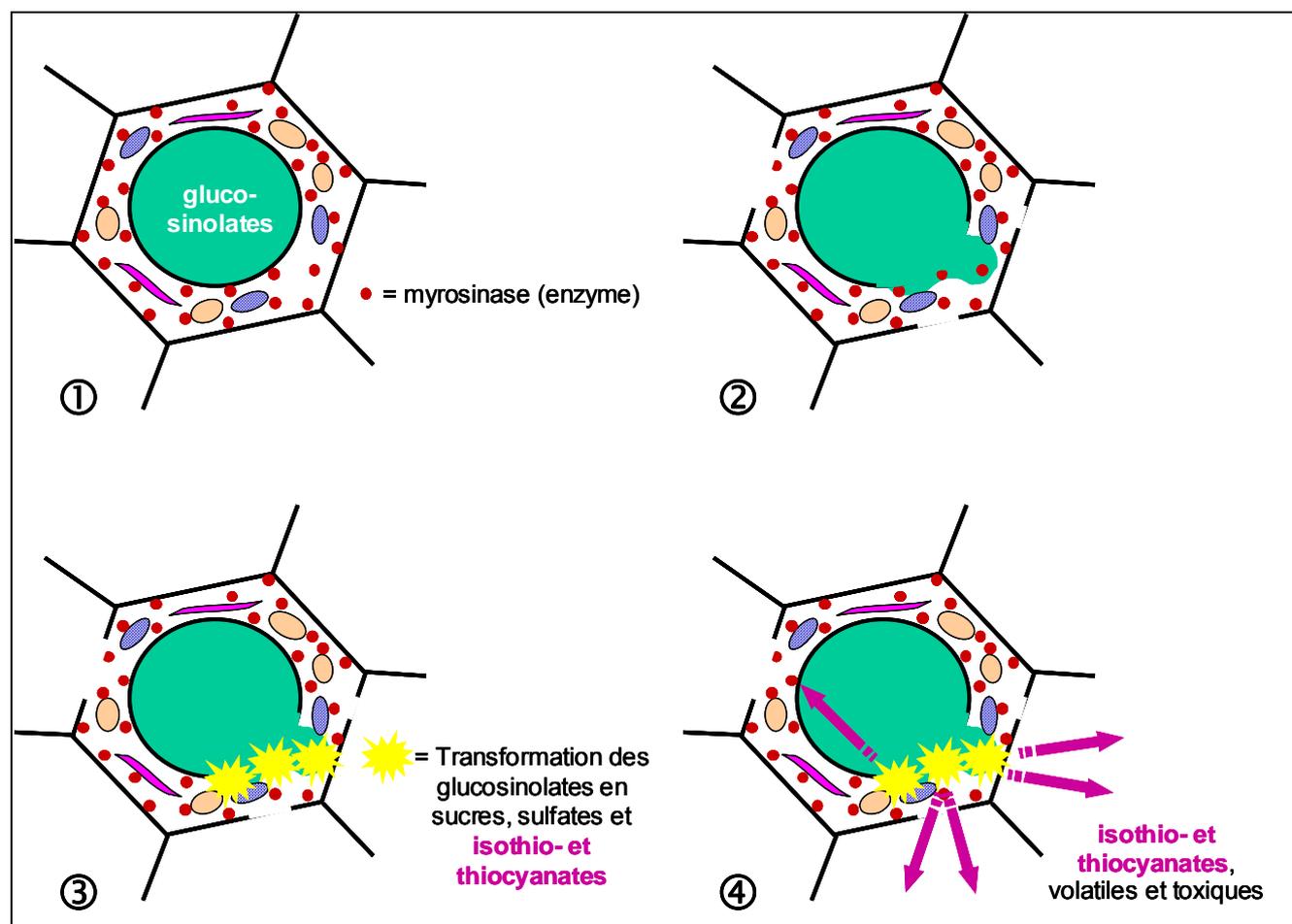
Vincent Michel, Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW

## Introduction

La biofumigation est une méthode culturale pour réduire le nombre de pathogènes, de ravageurs et de mauvaises herbes dans le sol. Elle est basée sur l'utilisation de plantes riches en glucosinolates, principalement de crucifères. Lors de la dégradation de ces plantes, les glucosinolates sont transformés en isothio- et thiocyanates. Ces substances sont volatiles et toxiques pour certains organismes du sol.

La recherche et le développement dans le domaine de la biofumigation se fait surtout dans des pays qui ont besoin de trouver une alternative au bromure de méthyle pour la lutte contre les organismes nuisibles du sol (Australie, Italie, Etats-Unis). L'utilisation du bromure de méthyle, qui endommage la couche d'ozone, est interdite dans les pays industrialisés depuis le 1 janvier 2005.

En Suisse, la biofumigation représente une méthode intéressante pour lutter contre les problèmes phytosanitaires du sol, particulièrement importants dans les cultures spéciales.



**Fig. 1:** Représentation schématique de la réaction au niveau de la cellule végétale, qui résulte dans la formation des gaz nécessaires pour la biofumigation. ① Cellule d'une crucifère avec la vacuole (au centre) contenant des glucosinolates et le cytoplasme contenant la myrosinase (une enzyme). ② Lors de la dégradation de la plante, les parois cellulaires sont abîmées et les glucosinolates quittent la vacuole. ③ En contact avec la myrosinase, les glucosinolates sont transformés en glucose, sulfate et isothio- et thiocyanates. ④ Les isothio- et thiocyanates, molécules toxiques et volatiles, quittent la cellule par des fissures dans la paroi cellulaire.

## Principe

Sous le terme biofumigation on comprend l'utilisation de gaz toxiques d'origine biologique qui peuvent éradiquer des pathogènes, ravageurs ou mauvaises herbes. Contrairement au bromure de méthyle, qui a un effet très large, les gaz de biofumigation sont sélectifs, c'est à dire ils n'ont d'effet que contre certains organismes nuisibles.

Plusieurs espèces végétales, mais aussi certaines espèces de champignons, se prêtent à la biofumigation, car elles dégagent des gaz toxiques lors de leur dégradation. Actuellement, ce sont surtout des crucifères, qui sont utilisées pour la biofumigation. Les cellules de ces plantes contiennent des glucosinolates qui sont transformés en isothio- et thiocyanates lors de dégradation de la plante (fig. 1).

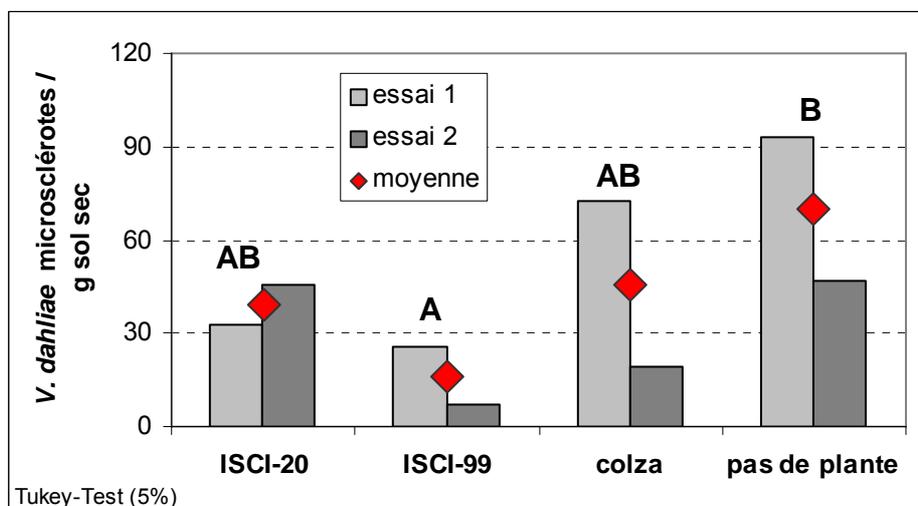
Selon l'espèce de plante, voire même la variété, est la composition de glucosinolates, qui est un groupe constitué de plusieurs molécules, différente. La composition de glucosinolates détermine quels isothio- et thiocyanates sont formés. Certains glucosinolates ne forment aucun isothio- et thiocyanate.

Les isothio- et thiocyanates englobent un groupe de molécules qui sont d'une part volatiles et d'autre part toxiques. C'est la composition des molécules formées qui détermine l'efficacité du gaz libéré, car la toxicité varie selon la molécule. Outre la toxicité potentielle du gaz c'est la sensibilité de l'organisme visé (champignon, bactérie, insecte, néma-

tode, mauvaises herbes) qui détermine l'efficacité de la biofumigation. Un isothiocyanate qui se trouve dans les racines de colza est par exemple vingt fois plus toxique pour les champignon du genre *Sclerotinia* que pour ceux du genre *Alternaria* (Smith & Kirkegaard, 2002).

## Utilisation

Différentes espèces de moutarde, mais aussi de navets ou d'autres plantes riches en glucosinolates peuvent être utilisées pour la biofumigation. Pour obtenir un effet optimal, il faut utiliser des variétés sélectionnées spécifiquement pour la biofumigation, telles que les variétés vendues sous le label Bluformula ([www.bluformula.com](http://www.bluformula.com)) par la société Cerealtoscana. Ces variétés ont été créées par l'ISCI, un institut de recherche pour les plantes industrielles situé à Bologna. Actuellement, trois variétés de moutarde brune (*Brassica juncea*) et une variété de roquette (*Eruca sativa*) sont commercialisées sous ce label. Pour les essais conduits à Agroscope ACW, ce sont les variétés de moutarde brune ISCI-20 et ISCI-99 qui ont été utilisées. La variété ISCI-99, qui contient 25% plus de glucosinolates qu'ISCI-20, a obtenu les meilleurs résultats contre *Verticillium dahliae*, un pathogène du sol (fig. 2). Pour cette raison, les producteurs devront plutôt utiliser ISCI-99 qu'ISCI-20. Des conseils concernant leur utilisation se trouvent à la fin de cette fiche technique.



**Fig. 2:** Effet des deux variétés de moutarde brune (*Brassica juncea*) ISCI-20 et ISCI-99 ainsi que du colza (variété Talent) sur le nombre de microsclérotés (= forme de survie qui peut persister plusieurs années dans le sol) de *Verticillium dahliae*, l'agent pathogène causant la verticilliose.

Les expériences dans la culture de la moutarde brune en Suisse se limitent actuellement à un semis au printemps ou en été. Il n'existe pour l'instant pas de connaissances sur le comportement de cette plante après un semis en automne et son aptitude pour l'hivernage. Les expériences en Suisse se limitent pour l'instant à des semis au printemps ou en été. Après un semis au printemps, il faut compter avec environ deux mois pour atteindre le stade de **pleine floraison**, qui est le stade optimal pour incorporer les plantes. Après ce stade, la teneur en glucosinolates commence à diminuer. L'incorporation trop tardive des plantes augmente aussi le risque que les premiers

grains atteignent la maturité ce qui entraîne des problèmes de mauvaises herbes dans la culture suivante.

Avant l'incorporation, les plantes doivent être **broyées** le plus finement possible afin que le plus grand nombre de cellules soient blessées, permettant ainsi la transformation des glucosinolates en isothio- et thiocyanates. Le broyage se fait à l'aide d'un girobroyeur à marteau (fig. 3). De cette façon, de nombreuses cellules seront écrasées, mettant en route rapidement le processus de la biofumigation. Une autre possibilité est l'utilisation d'une faucheuse équipée d'un éclateur (à rouleaux de préférence). Cette méthode, qui n'a pas été testée jusqu'à

présent, devrait aussi permettre d'écraser une grande partie des cellules.



**Fig. 3:** Le broyage le plus fin possible des plantes de moutarde avant l'incorporation est absolument nécessaire pour une bonne réussite de la biofumigation.

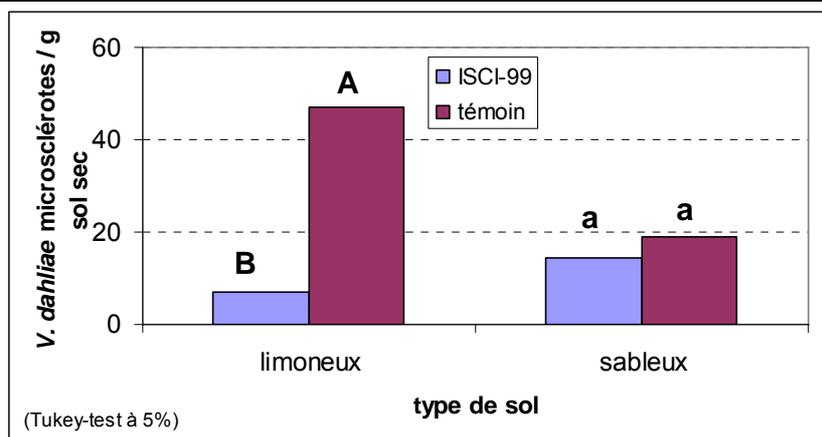
La moutarde doit être **incorporée** dans le sol immédiatement après le broyage. Il existe deux possibilités dont la première est l'enfouissement mécanique à l'aide d'une fraise ou d'une bêcheuse (fig. 4). Une bêcheuse permet un enfouissement plus profond (~20 cm) de la moutarde qu'une fraise 10 – 15 cm).

La deuxième possibilité est une irrigation abondante qui entraîne les substances contenues dans les cellules depuis la surface dans des couches plus profondes du sol. Des travaux de recherches en Australie montraient que cette méthode est au moins aussi efficace pour une profondeur de 5 – 15 cm qu'un enfouissement mécanique (Matthiessen *et al.*, 2004), à condition que le broyage des plantes soit suffisamment fin et que la quantité d'eau appliquée soit assez élevée (40 mm ou plus). Une irrigation ne permet pas seulement un enfouissement des substances actives mais améliore aussi les conditions de transformation des glucosinolates en isothio- et thiocyanates. Cette réaction biochimique nécessite de l'eau. Pour cette raison une certaine **humidité** du sol est une condition indispensable pour le bon déroulement de la biofumigation. Surtout dans des conditions de sol sèches, une irrigation est alors incontournable.



**Fig. 4:** Enfouissement immédiatement après le broyage soit avec une fraise (en haut) ou une bêcheuse (en bas)..

A part l'humidité du sol c'est la **température** du sol qui influence la vitesse de transformation des glucosinolates en isothio- et thiocyanates. Lors d'un semis au printemps ou tôt en été, l'incorporation se fait à un moment où le sol est bien réchauffé. En revanche, un semis tard en été peut conduire à des températures relativement basses (moins que 10°C) lors de l'incorporation, avec comme conséquence une transformation ralentie des glucosinolates qui ne permet pas d'atteindre les concentrations nécessaires de gaz toxiques. Un autre risque d'un semis tardif est un gel précoce avant l'incorporation, qui entraîne l'éclatement des cellules des plantes et provoque ainsi une réaction de biofumigation avant l'enfouissement des plantes dans le sol.



**Fig. 5:** Effet de la biofumigation (avec la variété de moutarde brune ISCI-99) sur le nombre de microscélérotes vivantes de *Verticillium dahliae*, dans deux types de sol. La texture du sol (% sable/limon/argile) était: sol limoneux 47,5/44,1/8,4 – sol sableux 80,5/14,3/5,2.

La réaction de biofumigation survient dans les deux jours suivant l'incorporation de la moutarde broyée. Pendant ces deux jours, la concentration nécessaire de gaz toxiques devrait être atteinte. Selon le **type de sol**, ces gaz s'échappent plus ou moins vite. Dans un essai conduit à Agroscope ACW, la biofumigation n'avait pas d'effet dans un sol avec un taux de sable très élevée (80%, fig. 5). Dans la littérature, des informations sur l'influence du type de sol sont quasi inexistantes. Il est alors prévu de concentrer la recherche à Agroscope ACW sur ce point.

La culture suivante peut être semée ou plantée **une semaine** après l'incorporation. Un délai plus long doit éventuellement être envisagé lors de l'enfouissement de très grandes quantités de plantes. Un tel apport de matière organique augmente fortement l'activité microbologique dans le sol avec comme conséquence un manque d'oxygène dans le sol. Ce phénomène a été observé une seule fois dans les essais à Agroscope ACW, mais uniquement dans un procédé où du compost a été ajouté à la moutarde verte avant l'incorporation.

#### Avantages et inconvénients de la moutarde

La culture de moutarde apporte d'autres avantages que la biofumigation. Avec son système racinaire à croissance rapide et profond elle améliore la structure du sol, surtout au niveau de la porosité, et fixe le nitrate dans le sol. Dans des rotations de cultures sans crucifères elle est une plante non-hôte pour la plupart des pathogènes et ravageurs des autres cultures. Son appartenance aux crucifères est en revanche un inconvénient dans des rotations contenant d'autres crucifères, ce qui est souvent le cas dans la production maraîchère typique en Suisse. Son impact sur l'hernie du chou (*Plasmodiophora brassicae*), le pathogène fongique principal en Suisse dans les cultures de choux et autres crucifères, est pour l'instant inconnu. Des résultats encourageants ont été publiés récemment en Nouvelle-Zélande. Ces travaux ont montré que dans un sol contaminé par l'hernie du chou, la biofumigation avec des navets (*Brassica rapa*) a eu un effet positif sur la culture de chou-fleur suivante. Le taux de plantes attaquées par cette maladie a été réduit et le rendement a été augmenté de façon significative (Cheah *et al.*, 2006).

#### Culture sur butte profitable

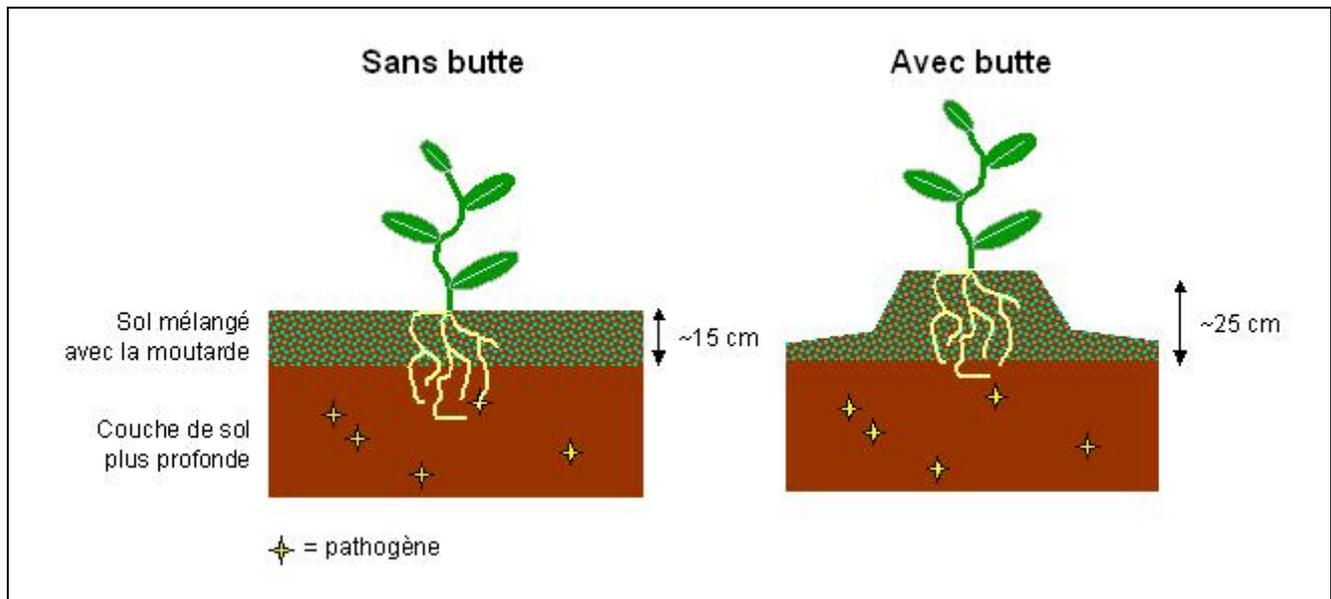
Un problème général dans la lutte contre les maladies du sol est le volume de sol restreint qui peut être traité par les méthodes de lutte. Dans le cas de la biofumigation il se limite à la profondeur dans laquelle les plantes broyées peuvent être incorporées, c'est à dire avec les machines courantes à 10 – 20 cm. La culture sur butte représente une possibilité d'augmenter ce volume est (fig. 6). En plus d'augmenter le volume, la butte améliore le drainage, qui est à son tour un avantage dans des sols contaminés par l'hernie du chou.

#### Biofumigation: Les points importants

- ▶ Utiliser des variétés sélectionnées pour la biofumigation ([www.blufomula.com](http://www.blufomula.com), [www.terraprotect.com](http://www.terraprotect.com))
- ▶ Incorporer au stade pleine floraison
- ▶ Broyer le plus finement possible avant incorporation, si possible écraser les plantes
- ▶ Incorporer immédiatement et le plus profondément possible, év. utiliser une irrigation (> 40 mm)
- ▶ Irriguer après incorporation, surtout en conditions sèches, ceci améliore l'efficacité
- ▶ Incorporer pendant la saison chaude
- ▶ Attendre 1 semaine avant semis ou plantation suivants

Pour faciliter l'**achat de semences de biofumigation**, une commande groupée est prévue en collaboration avec des commerçants de semences suisses. Elle se limite pour l'instant à la **variété ISCI-99** (moutarde brune), qui est vendue en sacs de **5 kg**. Si vous êtes intéressé à l'achat de telles semences veuillez SVP envoyer votre demande à l'adresse suivante (jusqu'au 15 mars 2008):

Vincent Michel  
 Agroscope ACW Centre de Recherche Conthey  
 1964 Conthey  
 Fax: 027 346 30 17  
 E-mail: [vincent.michel@acw.admin.ch](mailto:vincent.michel@acw.admin.ch)



**Fig. 6:** La formation de butte avec la couche de sol supérieure, dans laquelle la moutarde a été incorporée, augmente le volume de sol qui a été exposé à la biofumigation. La part des racines qui pénètrent dans la partie du sol toujours contaminée avec des pathogènes diminue réduisant ainsi la probabilité d'infection de la plante.

### Efficacité prouvée

L'efficacité de la biofumigation a été prouvée contre certaines maladies. La liste suivante indique des essais au champ où la biofumigation avec des plantes appartenant au genre *Brassica* a permis d'obtenir une augmentation significative du rendement.

Carottes – Fonte des semis (*Rhizoctonia solani*), Villeneuve *et al.*, 2004.

Pomme de terre – gale commune (*Streptomyces scabiei*), Gouws & Wehner, 2004.

Pomme de terre – verticilliose (*Verticillium dahliae*), McGuire, 2004.

Lys – Pourriture de l'oignon (*Rhizoctonia solani*), van Os *et al.*, 2004.

Chou-fleur – Hernie du chou (*Plasmodiophora brassicae*), Cheah *et al.*, 2006

Tomate – Maladie des racines liégeuses (*Pyrenochaeta lycopersici*), Amenduni *et al.*, 2004.

### Bibliographie

- Amenduni M., D'Amico M., Coltella C., Citrulli M., 2004. Effect of *Brassicaceae* greenmanures and soil-solarization on corky root of tomato. *Agroindustria* 3, 303-307.
- Cheah L. H., Gowers S., Marsh A. T., 2006. Clubroot control using Brassica break crops. *Acta Horticulturae* 706, 329-332.
- Gouws R., Wehner F. C., 2004. Biofumigation as alternative control measure for common scab on seed potatoes in South Africa. *Agroindustria* 3, 309-312.
- Matthiessen J. N., Warton B., Shackleton M. A., 2004. The importance of plant maceration and water addition in achieving high *Brassica*-derived isothiocyanate levels in soil. *Agroindustria* 3, 277-280.
- McGuire A. M., 2004. Mustard green manures replace fumigant and improve infiltration in potato cropping system. *Agroindustria* 3, 331-333.
- Smith B. J., Kirkegaard J. A., 2002. *In vitro* inhibition of soil microorganisms by 2-phenylethyl isothiocyanate. *Plant Pathology* 51: 585-593.
- van Os G. J., Bijman V., van Bruggen S. S., de Boer F. A., Breeuwsma S., van der Bent J., de Boer M., Lazzeri L., 2004. Biofumigation against soil borne diseases in flower bulb culture. *Agroindustria* 3, 295-301.
- Villeneuve F., Raynal-Lacroix C., Lempire C., Maignien G., 2004. Possibility of using biofumigation in vegetable crops for controlling soilborne pathogens. *Agroindustria* 3, 395-398.

## **Technique de culture de *Brassica juncea* ISCI-20** { aussi valable pour ISCI-99 }

(Texte original de L. Lazzeri, ISCI, Bologna, Italie. Texte en bleu: Remarques de V. Michel)

Lit de semis assez fin { comme pour le colza }

### **Semis**

Date de semis: Deux semaines avant le crambe (*Crambe abyssinica*). { fin mars / début avril }

Densité: 250 plantes / m<sup>2</sup>, 6 kg./ha de semences. Nous proposons d'utiliser une quantité plus élevée lors de la première mise en culture (7-8 kg/ha)

Type de semis: Semoir en ligne (comme pour le blé) avec 15-20 cm entre les lignes

Profondeur: maximum 3 cm

**Engrais** { Normes de fumure pour colza de printemps }

N: 120 kg/ha : 50% au semis, 50% au stade rosette

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 60 kg/ha : Avant semis

K<sub>2</sub>O: 95 kg/ha : Avant semis

MgO: 15 kg/ha : Avant semis

**Nous suggérons d'utiliser des engrais qui contiennent du soufre**

### **Lutte contre les mauvaises herbes**

Chimique: Trifluralin (1,2 kg/ha) avant le semis / avant levée, seulement dans sols avec beaucoup de mauvaises herbes (en Suisse, aucun herbicide n'est homologué dans la culture de la moutarde).

### **Protection des plantes**

Pas de traitement suggéré (en Suisse, aucun fongicide n'est homologué dans la culture de la moutarde. De fortes attaques de pucerons ont été observées sur moutarde en Suisse. Plusieurs insecticides sont homologués contre les pucerons dans les cultures maraîchères en général).

### **Irrigation**

Pas nécessaire (sur des sols légers et dans des conditions séchardes conseillée pour obtenir une bonne croissance)

**“Récolte”** (c'est à dire le moment de l'enfouissement de la culture)

Stade: pleine floraison (similaire au colza)

Mécanisation: Broyage et enfouissement en deux passages avec une fraise à 20 cm de profondeur. {Broyage avec girobroyeur et incorporation avec bêcheuse, sinon les plantes ne sont pas assez finement broyées et ne sont pas assez profondément enfouies. Dans des conditions séchardes, une irrigation (30 – 40 mm) est nécessaire après l'enfouissement. Après l'incorporation il faut attendre 1 semaine jusqu'au semis ou à la plantation suivants. }

#### **Copyright**

© 2008, Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW, Centre de recherche Conthey, 1964 Conthey  
[www.acw.admin.ch](http://www.acw.admin.ch)