

## **Caractérisation des pesticides retenus**

Les pesticides utilisés pour cette étude sont : l'Endosulfan (organochloré), la Cyperméthrine (pyréthrinöide) et le Malathion (organophosphoré). La cyperméthrine et le malathion sont respectivement les plus utilisés chez les pyréthrinöides et les organophosphorés au niveau de la zone maraichère des Niayes de Pikine. L'endosulfan quant à elle est très utilisée en production cotonnière. Cependant son application en maraichage n'est pas recommandée.

### 1.2.1. L'endosulfan : ( Endosulfan 350 EC ou calisulfan)

Encore appelé: thiosulfan, thiodan, thiomul, thionex, acide sulfurique, malix, ect.

Matière active : 350g/l

ISO : endosulfan

CEE : 602-052-00-5 ;

Nom chimique (IUPAC) : 3-Oxyde de 6,7,8,9,10,10-hexachloro-1,5,5a,6,9,9a-hexahydro-6,9-methano-2,4,3-benzodioxathiepine

Formule brute :  $C_9H_6Cl_6O_3S$

Poids moléculaire : 406.96

Solubilité dans l'eau : 0.32 mg/l insoluble à 22 °C

DJA = 0.006 mg/kg/j ; DT50 (exprimé en jours) - Min : 36 - Max : 93

C'est un insecticide du groupe des cyclodiènes utilisé sur une large variété de cultures. L'endosulfan a été réintroduit en culture du coton à partir de 1998, suite semble-t-il à la résistance des noctuelles (*Helicoverpa armigera*) aux organophosphorés et aux pyréthrinoïdes. Il comporte deux isomères  $\alpha$  et  $\beta$  ou communément l'endosulfan I ou II dans les proportions 7: 3.

### 1.2.2. Cyperméthrine ( Cysoft )

Egalement appelé ; Cymperator; Cynoff; Cypercure; Cypercopal; Cyperkill; Cypermar ; Cyrux.

Matière active : 100 g/l

ISO : cypermethrin

CEE : 257-842-9

Composition isomérique : cis/trans=40/60

Formule brute :  $C_{22}H_{19}Cl_2NO_3$

Nom chimique (IUPAC) : (1RS, 3RS; 1RS, 3SR)-3-(2,2-Dichlorovinyl)-2,2-dimethylcyclopropane-1-carboxylate-(RS)- alpha -cyano(3-phenoxyphenyl)méthyle

Poids moléculaire : 416.31

Solubilité dans l'eau < 9  $\mu$ g/l à 20 °C

La cyperméthrine est une pyréthrinoïde de synthèse largement utilisée en agriculture pour lutter contre des variétés d'insectes en particulier les parasites des feuilles. Cependant du fait de sa toxicité faible, elle n'est pas recommandée dans la lutte contre les parasites terrestres.

Elle peut être utilisée de très faibles doses. La matière active est en général pure à 90% et comporte huit isomères optiques dont deux isomères Cis-Trans (60 :40).

### 1.2.3. Malathion

Synonymes : calamathion, carbotex, carbofos, celthion, fosfotion, karbofos, malacide, sadofos.

Matière active : 500 g/l

ISO : malathion

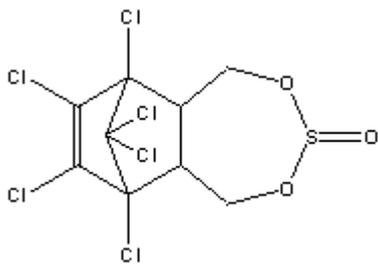
CEE : 015-041-00-X

Nom chimique (IUPAC) : Phosphorodithioate de S-[1,2-bis-(ethoxycarbonyl)]éthyle et de O,O-diméthyle

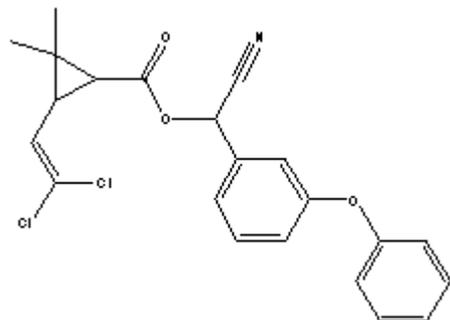
Poids moléculaire : 330.36

Formule brute :  $C_{10} H_{19} O_6 P S_2$

La principale utilisation du malathion est en tant que produit antiparasitaire (insecticide organophosphoré et acaricide), plus particulièrement dans la lutte contre les insectes suceurs, brouteurs.



a) Endosulfan



b) Cyperméthrine

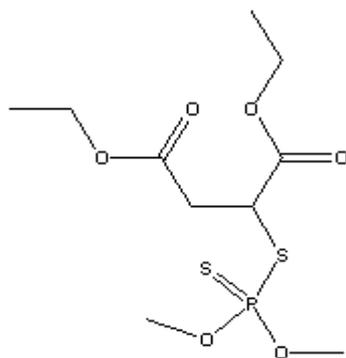


Figure 7 : structure des pesticides retenus pour l'étude : a) endosulfan, b) cyperméthrine et c) malathion

## **2. Méthode**

### **2.1. Échantillonnage des sols**

Un échantillonnage des sols en vue de caractériser les résidus de pesticides dans le sol et pour la mise en place de microcosmes au laboratoire a été effectué. Les prélèvements de sol ont été réalisés par carottage à l'aide d'une tarière sur les horizons 0-20 cm (planche 2). Des échantillons composites sont obtenus par un mélange de trois prélèvements suivant la longueur sur trois niveaux d'une parcelle de 7m x 5m.

Une quantité de 30 kg de sol est ramenée au laboratoire pour la constitution de dispositifs expérimentaux en conditions contrôlées. Le sol est séché à l'air ambiant puis tamisé à 2 mm de maillage et conservé à la température ordinaire.



Planche 1 : le site de la zone des Niayes de Pikine



Planche 2 : prélèvement d'échantillons composites de sol dans les horizons 0-20 cm

## 2.2. Dispositifs expérimentaux

Au début de chaque expérience, le sol est réactivé afin de restaurer son activité biotique. Le sol est humidifié à 50% de la capacité au champ qui correspond à 3ml d'eau pour 100g de sol. Les échantillons humidifiés sont alors incubés dans une étuve ventilée à 28°C pendant 72 heures.

### 2.2.1. Dispositif 1 : Suivi de la décomposition des pesticides

Le dispositif expérimental est basé sur le suivi de la décomposition des pesticides résiduels (planche 3). Ce dispositif permet d'analyser les pesticides résiduels dans le sol par HPLC et déterminer les activités enzymatiques de la FDA et de la DHA.

Les pesticides (endosulfan, cyperméthrine, malathion) sont apportés dans le sol à raison de 15 ppm. L'humidité du sol est complétée à 100% de sa capacité au champ. Le sol amendé avec les pesticides est placé dans 120 flacons pour la constitution de microcosmes. Ces flacons sont disposés ensuite dans des bocaux hermétiquement fermés contenant de la soude pour le piégeage du CO<sub>2</sub> libéré par les microorganismes. L'ensemble est incubé à 28°C pendant 30 jours. Tous les deux jours, les bocaux sont aérés. Durant la période d'incubation, des échantillons sont prélevés à 0, 5, 10, 20 et 30 (jours). Pour chaque échantillon prélevé, l'humidité est déterminée et les échantillons sont conservés -20°C en attendant les analyses.

### 2.2.2. Dispositif 2 : Minéralisation du carbone

Dans ce dispositif (planche 4), il s'agit d'une part d'étudier la minéralisation du carbone en présence de pesticides et d'autres par de mesurer cette minéralisation en présence d'un substrat carboné apporté au sol. Ces substrats servent de source de carbone et d'azote pour la croissance des microorganismes. Les mêmes traitements que ceux du dispositif 1, ont été effectués ; c'est-à-dire :

- 35g de sol des Niayes intact (Témoin)
- 35g de sol des Niayes + 15 ppm Endosulfan
- 35g de sol des Niayes + 15 ppm Cyperméthrine
- 35g de sol des Niayes + 15 ppm Malathion

La minéralisation du pesticide en présence d'un substrat carboné exogène, a été faite en ajoutant une quantité de 100  $\mu\text{g C.g}^{-1}$  sol de substrat au présent traitement. Ainsi nous avons retenu quatre types de substrats

- Un carbohydrate simple et son polymère : Glucose et Cellulose
- Un acide aminé et une protéine : la Caséine peptone et l'acide glutamique.

Traitements	Répétition	Substrats			
		Glucose	Cellulose	Acide glutamique	Casamino-acide
Sol Témoin	3				
Sol + Substrat	3	SGlu	SCell	SaG	SCasa
Sol + Substrat + Endosulfan	3	SGluEndo	SCelEndo	SaGEndo	SCasaEndo
Sol + Substrat + Cyperméthrine	3	SGluCyp	SCellCyp	SaGCyp	SCasaCyp
Sol + Substrat + Malathion	3	SGluMal	SCellMal	SaGMal	SCasaMal

Tableau IV : Dispositif de la minéralisation du carbone en présence de substrats exogènes carboné

## 2.3. Analyses

### 2.3.1. Extraction des résidus de pesticides du sol

L'extraction a été adaptée selon la méthode de Malin Akerblom (1995). Cette procédure est applicable à l'extraction de la plupart des pesticides non ioniques des échantillons de sol (Figure 8).

Une solution de chlorure d'ammonium est ajoutée à l'échantillon afin de faciliter l'accès du solvant d'extraction aux résidus de pesticides. L'extraction des résidus est réalisée avec une solution de cyclohexane/acétone. Concernant les modifications, la prise d'essai est ramenée au 1/4 alors que le solvant d'extraction est ajusté au 1/2 de son volume. L'extraction comporte trois étapes principaux :

-Solubilisation/dissolution : par le chlorure d'ammonium ( $\text{NH}_4\text{Cl}$  0,2 M)

-Extraction/séparation : avec une solution de cyclohexane-acétone (v/v)

-Séchage/évaporation : avec du sulfate de sodium anhydre ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )

L'extraction des pesticides est réalisée en agitant 5 g de sol avec 14 ml d'une solution de chlorure d'ammonium pendant 4 mn. Après une période de décantation de 15 mn, l'ensemble est encore agité pendant au moins une heure avec 50 ml d'une solution de cyclohexane-acétone (1 :1) et laissé au repos toute la nuit. Le mélange est agité toutes les 30 mn pendant deux heures et décanté. On procède à la séparation des phases (organiques et de démixtion) par addition d'eau. La phase organique est transférée (séchée) dans un Erlen contenant 20 g de sulfate de sodium. L'extraction est encore reprise avec 15 ml d'une solution de cyclohexane-acétone. Les phases organiques récupérées sont filtrées (filtre millipore de 0,2  $\mu\text{m}$ ) puis concentrées par évaporation au rotavapore à 45°C jusqu'à un volume de 2 ml grâce à un mélange acétonitrile-eau (60- 40%). L'extrait ainsi obtenu est analysé au chromatographe liquide haute performance.

### Méthode d'extraction des résidus de pesticides (Malin Akerblom, 1995)

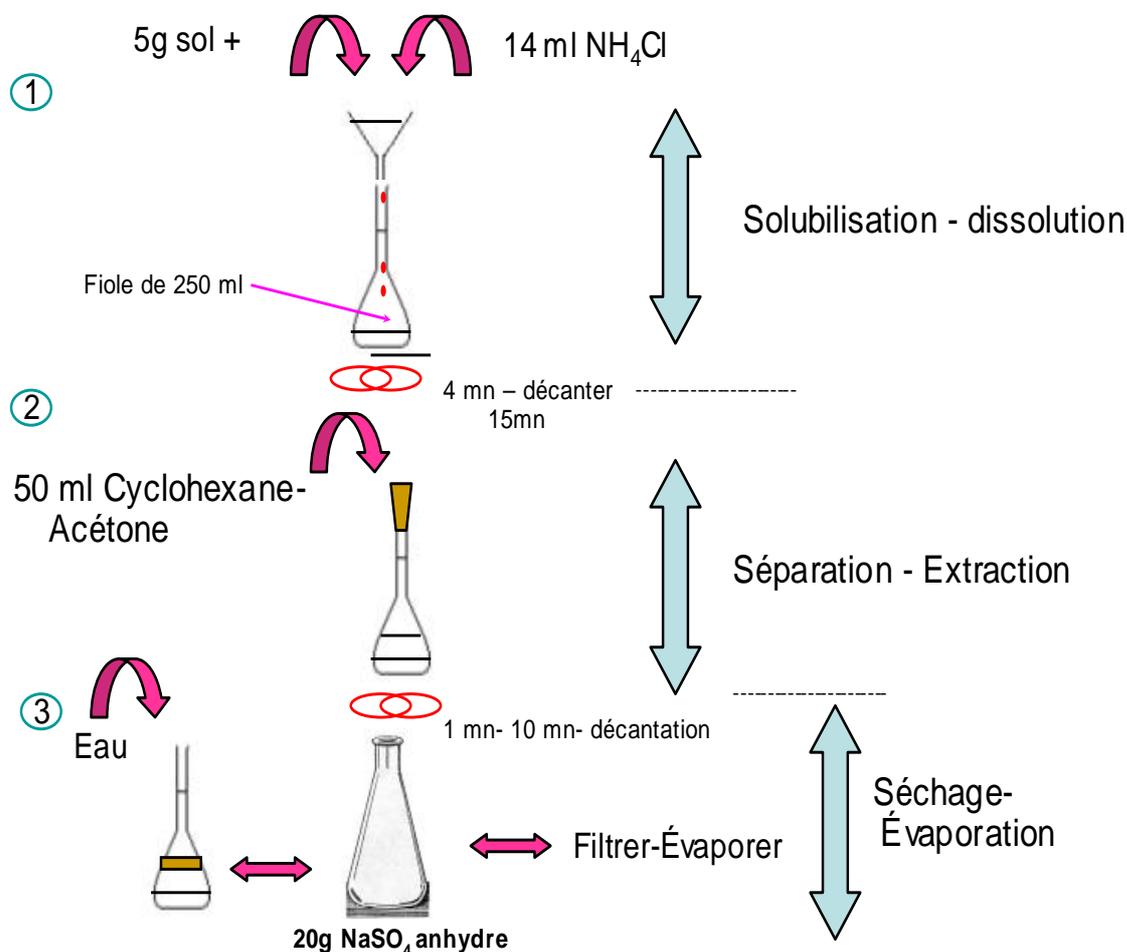


Figure 8 : Schéma global de l'extraction des résidus de pesticides dans le sol

### 2.3.2. Analyse des pesticides résiduels

L'appareil utilisé pour le dosage des pesticides est un chromatographe HPLC (système LCD analytical ; model : Consta Metric 3200 et 3500) équipé de deux pompes, d'un système d'interface, d'un détecteur (spectrophotomètre UV visible 5000 à barrette d'iode) en sortie de colonne couplé à un intégrateur PC 1000 version 2.5. La colonne analytique utilisée est un RP 18 (250 mm x 4,6 mm ; BIO RAD).

- Les conditions opératoires sont:

Eluant : mélange Acétonitrile-Eau (60-40%) en isocratique.

Débit de la pompe : 1 ml.mn<sup>-1</sup>

Volume d'injection : 20 µl (injecteur constitué d'une vanne rhéodyne munie d'une boucle d'injection)

La température de la colonne : 30°C

Longueurs d'ondes de détections : scan de 210 nm à 310 nm avec la barrette d'iode

La détermination des teneurs en pesticides dans les échantillons analysés est effectuée à l'aide d'étalons purs (standards). Les échantillons étant analysés dans les mêmes conditions que les étalons. Les pics chromatographiques sont donc identifiés par rapport aux pics standards et des spectres UV sur la gamme 210-310 nm.

### 2.3.3. Mesure de la Minéralisation du carbone

La minéralisation du carbone est basée sur la mesure des quantités de CO<sub>2</sub> dégagées par rapport au volume total d'air en fonction du temps, par l'échantillon de sol contenu dans un flacon hermétiquement fermé.

Au temps T<sub>0</sub> (début de l'incubation), on procède au barbotage des échantillons à l'air comprimé afin de déterminer la quantité initiale de CO<sub>2</sub> dans le flacon. Les échantillons sont ensuite incubés à 28°C pendant 30 jours durant lesquels le flux du CO<sub>2</sub> est mesuré par injection directe au chromatographe en phase gazeuse de type SRA Analytical Instruments (MTI P 200 Microsensor Technology Inc., Fremont, CA, USA) muni d'un détecteur à conductibilité thermique (TCD) et d'une colonne Poraplot et qui utilise l'hélium comme gaz vecteur. L'analyseur est équipé d'un micro-ordinateur muni d'un logiciel EZChrom sous windows qui quantifie le CO<sub>2</sub> par rapport à un étalonnage préalable.

La minéralisation apparente du carbone des substrats apportés a été calculée par la différence entre la quantité de CO<sub>2</sub> enregistré dans les sols amendés avec l'ensemble (pesticide substrat) et la quantité de CO<sub>2</sub> produit dans le sol témoin (sol non amendé). On suppose dans ce cas, que le «priming effect» dû à l'apport de substrats sur la matière organique native du sol, est soit négligeable soit comparable pour tous les traitements. Par contre, les variations sont calculées par la différence entre le C-CO<sub>2</sub> libéré par l'ensemble pesticide et substrat et le C-CO<sub>2</sub> produit par le substrat seul.

### **2.3.4. Mesure des activités enzymatiques**

L'influence des pesticides sur la microflore du sol a été aussi déterminée par la mesure des activités enzymatiques. Au cours de notre étude, deux activités enzymatiques ont été étudiées : la déshydrogénase (intracellulaire) et la Fluorescéine diacétate (extracellulaire). La mesure est basée sur le dosage colorimétrique du produit libéré lors de la réaction au spectrophotomètre.

Pour la détermination des activités enzymatiques, des études préliminaires ont été effectuées en vue de l'optimisation de certains paramètres. En effet, la mesure des activités enzymatiques en conditions contrôlées dépend de certains facteurs qui peuvent affecter directement ou indirectement ces dernières. Parmi ces facteurs, on peut citer : la concentration du substrat, le pH, la prise d'essai (poids du sol), la température et le temps d'incubation. On a procédé ainsi pour chaque activité enzymatique à une optimisation de la quantité de sol, du temps et de la température d'incubation. Les mesures des activités enzymatiques vont porter sur les échantillons J0, J5, J10, J20 et J30.

#### **2.3.4.1. L'activité de la déshydrogénase**

La mesure de l'activité de la déshydrogénase est effectuée selon la méthode modifiée Thalman (1968). La prise d'essai est ramenée à 1g de sol et le temps de réaction à 24 heures. Le principe est basé sur la réduction du Triphényltétrazolium chloride (TTC) en Triphénylformazan (TPF). Ainsi les échantillons de 1g de sol sont suspendus avec 1 ml de TTC (0,4%) contenu dans une solution tampon Tris-HCl (0,1M) et incubés à l'obscurité à 25°C. A la fin de l'incubation, le TPF (coloration rose) produit est extrait avec une solution de 5ml d'acétone. Après une période d'agitation de 2 heures, la densité optique est lue au

spectrophotomètre (spectronic 401) à 546 nm. L'activité de la déshydrogénase est exprimée en  $\mu\text{g TPF produit.g}^{-1} \text{ sol.h}^{-1}$ .

#### **2.3.4.2. L'activité de la fluorescéine diacétate (FDA)**

L'activité de la fluorescéine diacétate (FDA : 3' 6'-diacetyl-fluorescéine) concerne plusieurs groupes d'enzymes : les estérases non spécifiques, les protéases et les lipases (Adam Duncan, 2001). Le principe de base consiste à mesurer l'hydrolyse de la FDA (incolore) en un produit coloré la fluorescéine visible au spectrophotomètre à 490 nm. L'activité FDA a été mesurée selon la méthode d'Adam et Duncan (2001) modifiée. Ces modifications portent sur la prise d'essai et le temps de réaction. Une quantité de 1g de sol est suspendue dans 200 $\mu\text{l}$  d'une solution de FDA ( $1\text{mg.ml}^{-1}$ ) contenant 15 ml de tampon potassium phosphate (60mM) à pH 7,6. Le mélange ainsi obtenu est homogénéisé pendant 3 mn à 2000 tr/mn et incubé pendant une heure à 30°C. La fluorescéine libérée est extraite avec de l'acétone et la DO est lue aussi spectrophotomètre (spectronic 401). La quantité de fluorescéine est exprimée en  $\mu\text{g fl produit.g}^{-1} \text{ sol.h}^{-1}$ .

## **2.4. Analyses statistiques**

Toutes les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel *SuperANOVA* (version 1.01). Ces traitements statistiques des résultats utilisent une méthode de comparaison de moyenne avec le test de Fisher (Fisher's Protected LSD ;  $p < 0.05$ ).

## **CHAPITRE 3 : RESULTATS**

## 1.1. Minéralisation du carbone

### 1.1.1. Minéralisation du carbone en présence de Pesticides

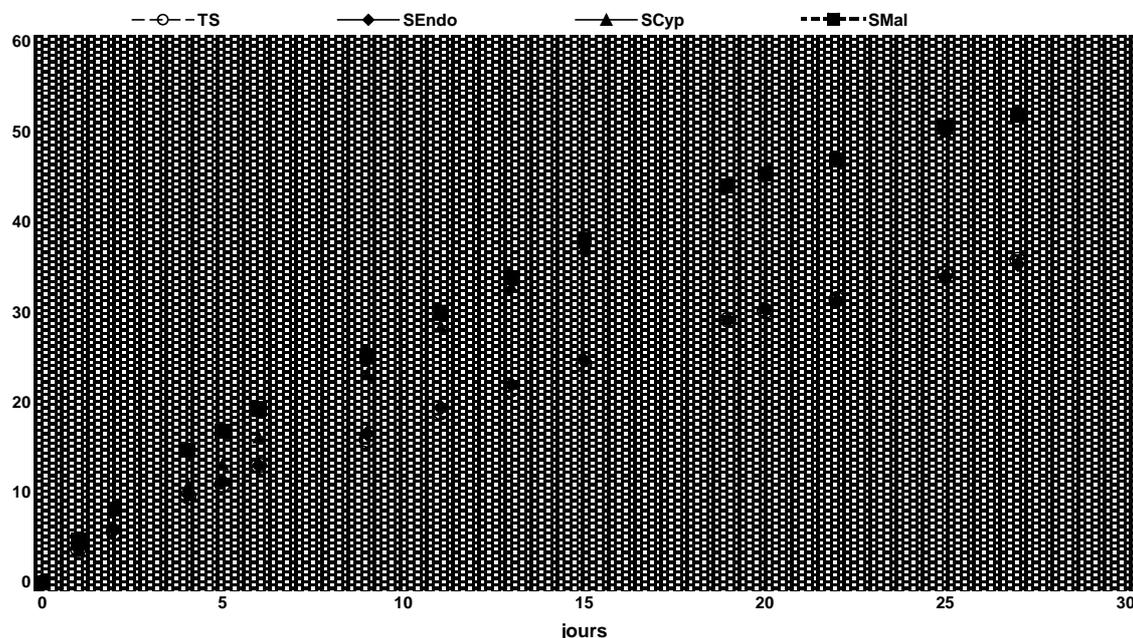


Figure 9: Effet des pesticides sur la minéralisation du carbone. Chaque valeur est une moyenne de trois répétitions. Les barres représentent les écart-types.

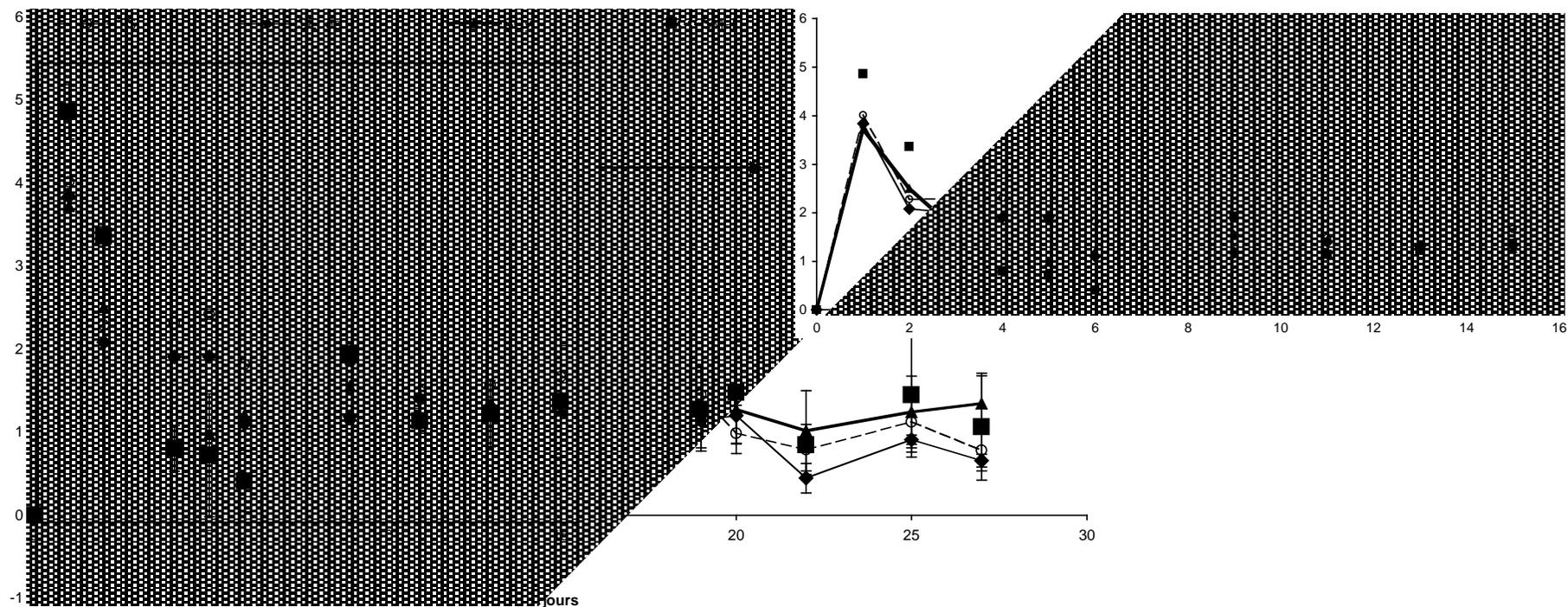
\*TS= sol témoin ; SEndo= sol+Endosulfan ; SCyp= sol+ Cyperméthrine ; SMal=sol+Malathion

La figure 9 montre l'évolution des quantités de CO<sub>2</sub> libérées pendant 30 jours par les échantillons incubés en présence de pesticides. Les quantités totales de CO<sub>2</sub> produites varient au cours du temps et selon le type de pesticide.

Pendant les cinq premiers jours, la quantité de CO<sub>2</sub> produite est significativement plus élevée dans le sol traité avec le malathion (16.9 µg.g<sup>-1</sup> sol) que dans les sols traités avec l'endosulfan et la cyperméthrine (11.3 et 13.2 µg .g<sup>-1</sup> sol). Cela s'explique par le flux élevé de CO<sub>2</sub> (4.9 µg .g<sup>-1</sup>.j<sup>-1</sup>) enregistré au cours de la période 1-2 jours dans le sol incubé en présence du malathion (figure 10). Par la suite, le flux diminue considérablement et devient constant à partir du 10<sup>ème</sup> jour. Pendant cette période, les flux de CO<sub>2</sub> produits dans les sols traités avec l'endosulfan (3.8 µg .g<sup>-1</sup>.j<sup>-1</sup>) et la cyperméthrine (3.7 µg .g<sup>-1</sup>.j<sup>-1</sup>) sont équivalents. Au cours de la période 5-15 jours, la production de CO<sub>2</sub> augmente fortement dans le sol traité avec la cyperméthrine pour atteindre la quantité CO<sub>2</sub> produite par le malathion par la suite.

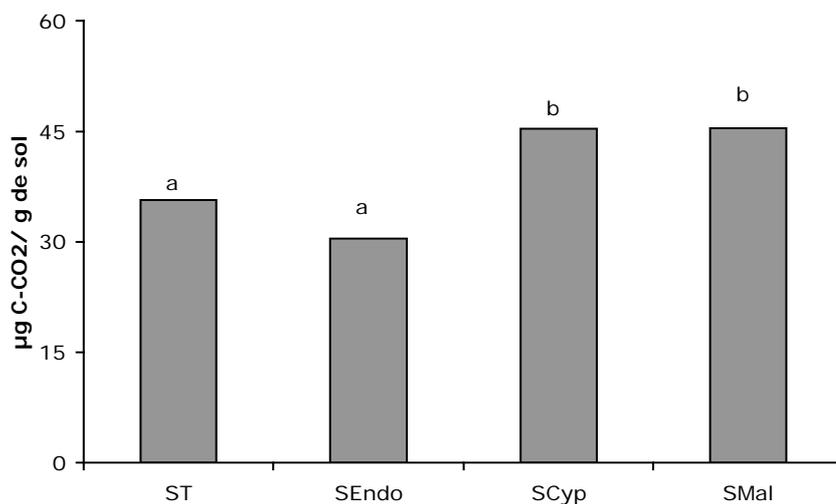
A la fin de la période d'incubation (figure 11), les quantités de CO<sub>2</sub> enregistrées dans les sols traités avec le malathion et la cyperméthrine sont équivalentes (51.9 µg.g<sup>-1</sup> et 51.8 µg.g<sup>-1</sup> sol respectivement). Ces quantités de CO<sub>2</sub> sont significativement plus faibles dans le sol traité avec l'endosulfan (35,4 µg.g<sup>-1</sup> sol) et le sol témoin (35,8 µg.g<sup>-1</sup> sol).

Les résultats montrent une minéralisation du carbone en présence du malathion et de la cyperméthrine. Cette minéralisation est plus rapide dans le sol traité avec malathion. Comparé au sol témoin, la quantité de carbone minéralisée, indique qu'aucune décomposition n'est observée pour l'endosulfan.



**Figure 10:** Flux de CO<sub>2</sub> libéré pendant une période d'incubation de 30 jours. Chaque valeur est une moyenne de trois répétitions. Les barres représentent les écart-types.

\*TS= sol témoin ; SEndo= sol+Endosulfan ; SCyp= sol+ Cyperméthrine ; SMal=sol+Malathion



**Figure 11 :** Quantité CO<sub>2</sub> totale libérée par la minéralisation du carbone des pesticides à 30 jours d'incubation. Chaque histogramme est la moyenne de trois répétitions. Les données qui ont la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Fisher PLSD ( $p < 0.05$ ).

\*TS= sol témoin ; SEndo= sol+Endosulfan ; SCyp= sol+ Cyperméthrine ; SMal=sol+Malathion

### 1.1.2. Minéralisation du carbone des pesticides en présence d'un substrat carboné exogène

Le tableau V montre l'effet de l'ajout de substrats carbonés de qualité différente : glucose, acide glutamique, cellulose et casamino-acide sur la minéralisation du carbone en présence des pesticides : endosulfan, cyperméthrine et malathion. Ces résultats indiquent les quantités de CO<sub>2</sub> totales libérées au bout de 30 jours d'incubation dans les différents traitements.

Après 30 jours d'incubation, les quantités de CO<sub>2</sub> totales enregistrées dans les sols amendés par l'ensemble substrats exogènes et pesticides sont significativement plus élevées que celles libérées dans les sols amendés avec substrats carbonés seuls ou pesticides seuls.

Dans le cas de la minéralisation de l'endosulfan, la production de CO<sub>2</sub> la plus élevée est enregistrée dans le sol amendé avec le mélange endosulfan plus Glucose (100.6 µg.g<sup>-1</sup> sol). Par contre, les quantités CO<sub>2</sub> libérées sont équivalentes dans le cas des sols amendés avec les mélanges endosulfan plus cellulose, endosulfan plus casamino-acide et endosulfan plus acide glutamique (respectivement 72.2, 77.8 et 85.4 µg.g<sup>-1</sup> sol). La variation (37.6 µg.g<sup>-1</sup> sol) calculée par la différence entre le C-CO<sub>2</sub> produit par le mélange pesticide plus substrat carboné et celui produit par le substrat carboné seul (glucose seul), indique une quantité de

CO<sub>2</sub> équivalente à celle libérée par le sol traité avec l'endosulfan seul (35.4 µg.g<sup>-1</sup> sol). Cette variation (valeur théorique qui représente en fait la minéralisation potentielle du pesticide) est négative dans le cas de l'acide glutamique (-3.4 µg.g<sup>-1</sup> sol). Par contre, pour la cellulose et le casamino-acide, la variation est inférieure à la quantité de CO<sub>2</sub> produite dans le sol traité avec l'endosulfan seul (témoin). L'analyse de ces résultats, montre une diminution de la quantité de CO<sub>2</sub> minéralisée en présence de l'endosulfan avec l'addition de la cellulose, l'acide glutamique et le casamino-acide. Par contre aucune minéralisation du carbone en présence de l'endosulfan n'est observée avec l'apport du glucose.

Dans le cas de la minéralisation du carbone en présence de la cyperméthrine, la quantité de CO<sub>2</sub> la plus élevée est obtenue dans le sol amendé avec le mélange cyperméthrine plus acide glutamique (124.6 µg.g<sup>-1</sup> sol). Ces quantités sont équivalentes dans les sols amendés avec les mélanges cyperméthrine plus glucose, cyperméthrine plus cellulose et cyperméthrine plus casamino-acide (respectivement 91.54, 88.5 et 103.9 µg.g<sup>-1</sup> sol). Quelque soit le substrat carboné apporté, la variation montre que le C-CO<sub>2</sub> additionnel libéré est significativement inférieur à celui du sol traité avec la cyperméthrine seule (51.8µg.g<sup>-1</sup> sol). Ce résultat indique que l'ajout de substrats carbonés induit une diminution de la minéralisation du carbone en présence de la cyperméthrine.

Dans le cas de la minéralisation du carbone en présence du malathion, la quantité de CO<sub>2</sub> la plus élevée est obtenue dans le sol amendé avec le mélange malathion plus acide glutamique (103.6 µg.g<sup>-1</sup> sol). Par contre cette quantité est significativement plus faible avec le mélange malathion plus casamino-acide (72.9 µg.g<sup>-1</sup> sol). Les quantités de CO<sub>2</sub> totales enregistrées sont équivalentes dans les sols amendés avec les mélanges malathion plus glucose (97.8 µg.g<sup>-1</sup> sol) et malathion plus cellulose (85.6 µg.g<sup>-1</sup> sol). Comme pour la cyperméthrine, les variations de l'activité minéralisatrice du malathion obtenues avec l'apport de substrats carbonés sont significativement plus faibles que le sol traité par le malathion seul (52.0µg.g<sup>-1</sup> sol). Ainsi, l'apport de substrats carbonés exogènes induit une diminution de la minéralisation du carbone en présence du malathion.

## Résultats

Traitements	sol+ pesticides	sol+pesticides+substrats				sol+ substrats				CO2 Apparent	Variations			
	en $\mu\text{g C-CO}_2\text{g}^{-1}\text{sol}$	en $\mu\text{g C-CO}_2\text{g}^{-1}\text{sol}$		en $\mu\text{g C-CO}_2\text{g}^{-1}\text{sol}$		en $\mu\text{g C-CO}_2\text{g}^{-1}\text{sol}$		en $\mu\text{g C-CO}_2\text{g}^{-1}\text{sol}$		en $\mu\text{g C-CO}_2\text{g}^{-1}\text{sol}$	en $\mu\text{g C-CO}_2\text{g}^{-1}\text{sol}$		en $\mu\text{g C-CO}_2\text{g}^{-1}\text{sol}$	
		Glu	Cellu	acide Glu	Casa	Glu	Cellu	acide Glu	Casa	pesticide	Glu	Cellu	acide Glu	Casa
Sol non traité	35,8 a	-	-	-	-	62,7 b (2,5)	63,5 b (1,3)	88,8 d (3,9)	70,6 c (3,6)	-	-	-	-	-
Endosulfan	35,4 a	100,4 c	72,2 b	85,4 bc	77,8 b	-	-	-	-	-0,4	37,6	8,7	-3,4	7,2
Cyperméthrine	51,78 a	91,5 b	88,5 b	124,6 c	104,0 bc	-	-	-	-	15,9	28,8	25,1	35,8	33,4
Malathion	52,0 a	97,8 cd	85,6 bc	103,6 d	72,9 b	-	-	-	-	16,1	35,0	14,8	22,2	2,3

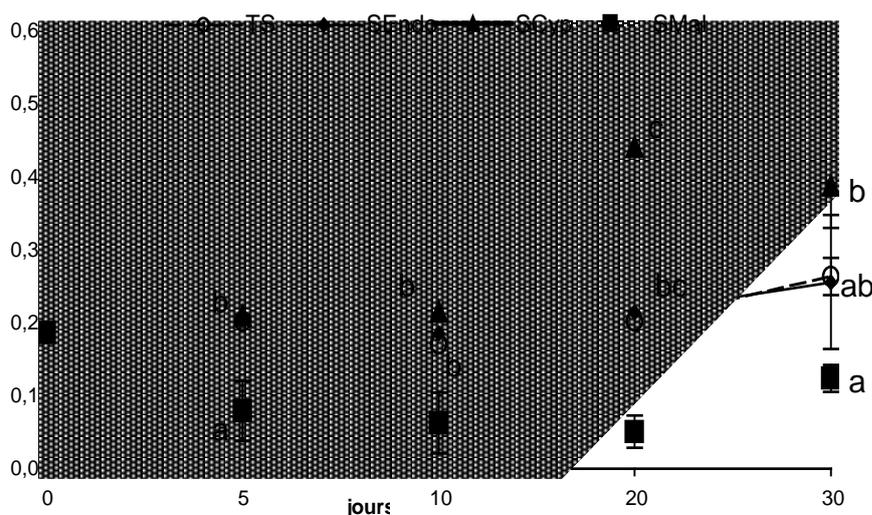
Tableau V : Effet de l'apport de substrats carbonés sur la minéralisation du carbone des pesticides. Chaque valeur est la moyenne de trois répétitions. Les données qui sont sur la même ligne et qui ont la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Fisher PLSD ( $p < 0.05$ )

L'analyse des résultats de minéralisation apparente montre une quantité de CO<sub>2</sub> apparent équivalente entre le sol traité avec du malathion (16.1 µg.g<sup>-1</sup> sol) et celui traité à la cyperméthrine (15.9 µg.g<sup>-1</sup> sol). Ce résultat traduit une minéralisation du malathion et de la cyperméthrine. Par contre aucune minéralisation apparente de l'endosulfan n'est observée (-0.4 µg.g<sup>-1</sup> sol).

L'ensemble des résultats montre que la présence de substrats carbonés exogènes, induit une diminution de la minéralisation du carbone en présence des pesticides. Par contre dans le cas de l'endosulfan, l'apport du glucose n'a pas montré d'effet significatif sur la minéralisation du carbone en présence de ce pesticide.

## 1.2. Activités enzymatiques

### 1.2.1. Activité de la déshydrogénase



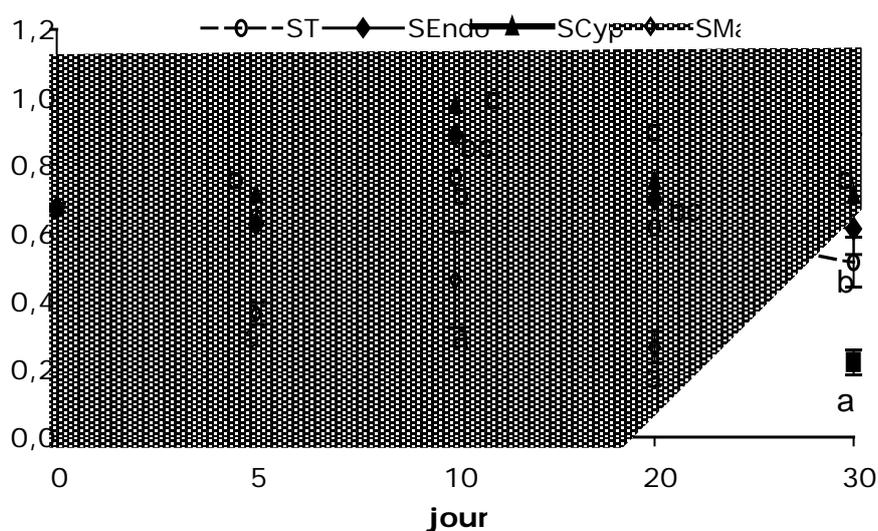
**Figure 12:** Effet des pesticides sur l'activité de la déshydrogénase pendant 30 jours d'incubation. Chaque donnée est la moyenne de trois répétitions. Les données qui ont la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Fisher PLSD(  $p < 0.05$ ).

\*TS= sol témoin ; SEndo= sol+Endosulfan ; SCyp= sol+ Cyperméthrine ; SMal=sol+Malathion

Les résultats du suivi de l'évolution de l'activité de la déshydrogénase varient selon le type de pesticide utilisé (figure 12). Ces résultats montrent que la cyperméthrine induit une augmentation de l'activité microbienne à partir du 10<sup>ème</sup> jour de l'incubation. Par ailleurs, l'activité de la déshydrogénase la plus faible est obtenue avec le sol traité avec le malathion. Ce dernier induit une forte diminution de l'activité enzymatique dès le début de l'incubation.

Cette réduction de l'activité de la déshydrogénase se poursuit par la suite durant toute la période de l'incubation. Aucune différence significative n'est observée entre le témoin et le sol traité avec l'endosulfan durant toute la durée de l'incubation. Une légère diminution des effets du malathion et de la cyperméthrine sur l'activité de la déshydrogénase est enregistrée à la fin de l'incubation.

### 1.2.2. Activité de la Fluorescéine Diacétate



**Figure 13:** Effets des pesticides sur l'activité de la fluorescéine diacétate exprimée en quantité de fluorescéine produite en  $\mu\text{g. g sol sec}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ . Chaque donnée est la moyenne de trois répétitions. Les mêmes lettres correspondent au même seuil de significativité.

\*TS= sol témoin ; SEndo= sol+Endosulfan ; SCyp= sol+ Cyperméthrine ; SMal=sol+Malathion

La figure 13 indique l'effet des pesticides sur l'activité de la fluorescéine diacétate (FDA) pendant une période d'incubation de 30 jours. L'activité de la FDA varie en fonction du temps et en fonction du type de pesticide. Cette activité augmente pendant la période d'incubation 5-10 jours et diminue progressivement par la suite jusqu'à la fin de l'incubation. Comparé au sol témoin, l'activité est significativement plus élevée dans le sol traité avec la cyperméthrine. L'endosulfan induit une activité de la FDA supérieure à celle du sol témoin et inférieure à celle de la cyperméthrine. Cependant, les différences ne sont pas significatives. Par contre, le malathion induit une activité FDA significativement inférieure à celle des autres pesticides et le sol témoin pendant toute la durée de l'incubation.