

Effet des solutés minéraux de la solution de sol sur les nématodes phytoparasites: cas du cycle dessiccation-réhydratation du sol.

Georges REVERSAT, Christianne SANNIER, Anne PANDO-BAHUON et Marie-José GONZALES

Laboratoire d'Ecologie des Sols Tropicaux (LEST), Centre ORSTOM d'Ile de France, 32, avenue Henri Varagnat, 93143 Bondy Cedex, France.

Introduction

La solution de sol constitue pour un certain nombre d'animaux du sol le milieu vital permanent, dont ils ne peuvent s'affranchir, parce qu'ils sont incapables de vaincre les forces de capillarité qui les y retiennent. Il s'agit des nématodes, libres ou phytoparasites, des protozoaires, des rotifères et des enchytréides. D'autres groupes sont plus indépendants de cette solution, ce sont principalement les acariens, les collembolés, les termites et les vers de terre.

Dans un sol humide, à la capacité au champ, les nématodes du sol, libres ou phytoparasites, baignent en permanence dans le film de solution de sol qui recouvre les particules de sol. Le déplacement de ces animaux dans le sol se fait grâce à la continuité de ce film par le biais de la porosité. Les substances dissoutes dans cette solution, minérales ou organiques, sont donc en mesure par leurs qualités et leurs quantités d'affecter directement le comportement de ces animaux. Dans le cas des nématodes phytoparasites, un effet indirect par le biais de la nutrition minérale de la plante hôte est également observé, mais cela relève de l'étude des relations hôte parasite et le sujet ne sera pas abordé ici.

Ces substances dissoutes, ionisées ou non ionisées, en contact permanent avec le tégument des nématodes peuvent avoir plusieurs effets :

- un effet physique dû à la pression osmotique développée par ces solutés. Si la solution de sol à la capacité au champ est relativement diluée, elle peut être plus concentrée à l'occasion de l'apport d'un engrais minéral ou lors de la dessiccation progressive du sol après l'interruption des précipitations. C'est maintenant un résultat bien acquis que les nématodes du sol perdent de l'eau au profit de la solution qui les entoure dès que la concentration dépasse l'équivalent de 0,05 M NaCl. Cela se traduit par une diminution du volume du corps et par un ralentissement de l'activité. Pour des concentrations plus élevées, par l'inhibition de mécanismes essentiels : à partir de l'équivalent de 0,3 M NaCl, par exemple l'éclosion des oeufs est complètement inhibée pour toutes les espèces. Les concentrations léthales sont plus élevées, de l'ordre de 1 M de NaCl. En général l'effet physiologique est proportionnel à la concentration, et on a pu montrer, dans un certain nombre de cas, que la relation n'est pas linéaire mais sigmoïdale.
- un effet chimique, spécifique de l'ion (y compris les ions H⁺ ou OH⁻, par l'effet du pH) ou de la substance, inhibiteur ou au contraire activateur d'un phénomène biologique essentiel comme

IONS	Adiopo doumé μM	Korhogo μM	Hoagland 1/100 μM
Potassium K+	68	75	60
Calcium Ca++	92	68	50
Magnésium Mg++	75	37	34
Sodium Na+	113	19	0
Sulfate SO4--	53	43	20
Chlorure Cl-	124	70	0
Nitrate NO3-	12	4	150
Phosphate H2PO4-	7	6	10

Tableau 1. Concentrations de la solution de sol en éléments principaux comparées à la solution nutritive minérale d'Hoagland. Références : sols de Côte d'Ivoire: Adiopodoumé et Korhogo (Lelong & Roose, 1986); solution d'Hoagland (Hoagland & Arnon, 1950).

Date jours	Glycérol % poids/poids	HR %	pF
0	7,5	98,7	4,25
7	9	98,4	4,34
8	12	97,7	4,50
9	15	97,0	4,60
10	18	96,0	4,75
11	25	93,0	5,00
12	39	87,9	5,25
13	51	79,5	5,50

Tableau 2. Calendrier d'ajustement des concentrations de glycérol dans les cellules de dessiccation, avec les valeurs des humidités relatives de l'air (HR) atteintes et des pF correspondants

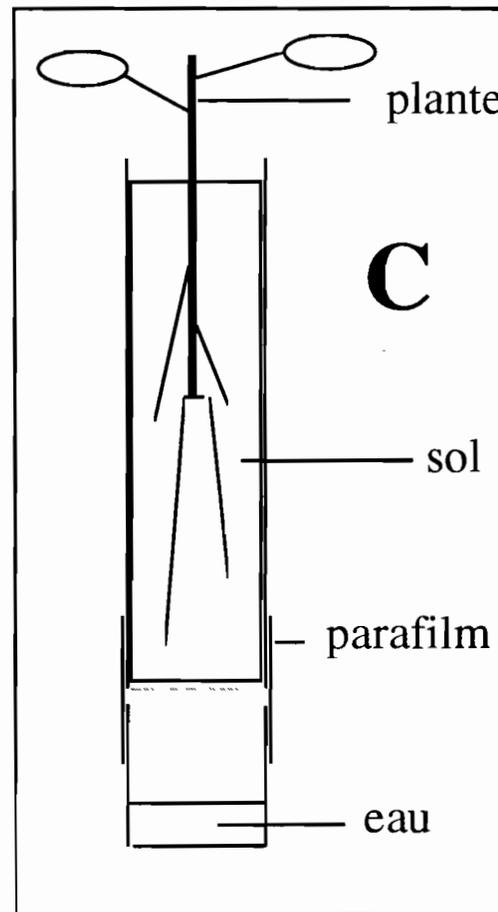
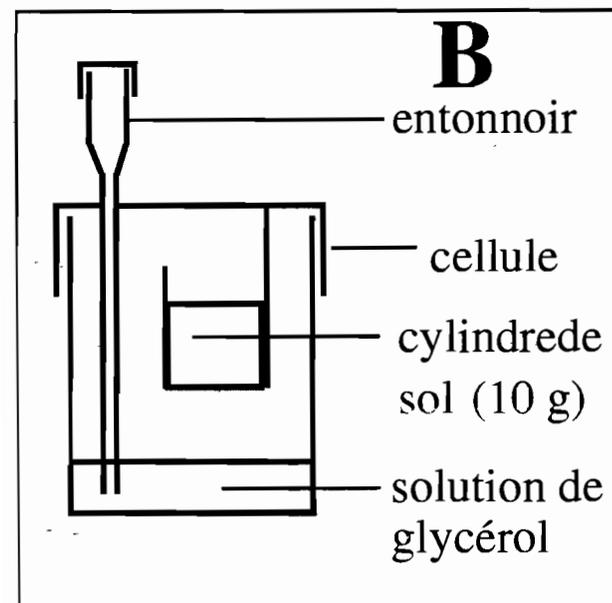
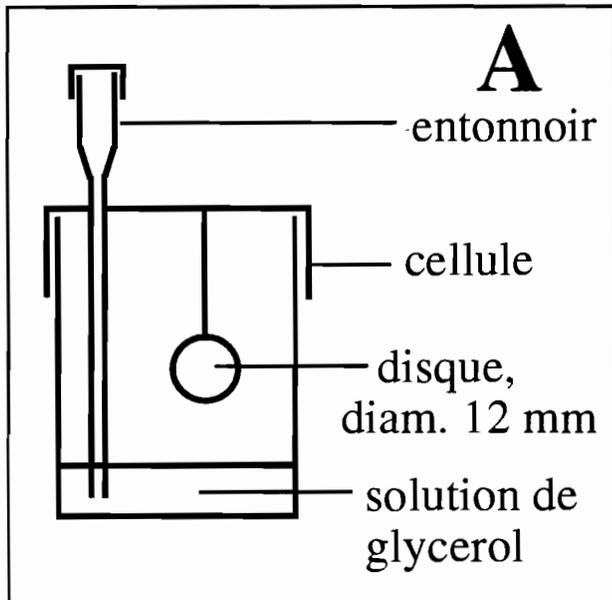


Figure 1 . - Matériel :
A : cellule de dessiccation à disques (de papier filtre).
B : cellule de dessiccation à cylindre de sol.
C : tube d'élevage monté pour dessiccation "sur nappe".

l'activité ou l'éclosion. D'autres effets plus difficiles à cerner semblent dûs aux proportions des différents ions par exemple.

Dans le cadre des travaux actuellement poursuivis au LEST sur les nématodes phytoparasites, on s'intéresse aux effets des solutés minéraux de la solution de sol (pour l'instant, ces essais sont limités à un modèle de solution de sol) sur ces animaux au cours du phénomène de l'éclosion des oeufs et au cours des deux phases successives du cycle dessiccation- rehydratation d'un sol :

- la phase de dessiccation au cours de laquelle la concentration de la solution de sol augmente.
- la phase de rehydratation lors de laquelle le brusque afflux d'eau, dû à la première précipitation utile, permet aux animaux de se trouver au contact des quantités d'eau nécessaires à une reviviscence complète et immédiate.

L'effet de différents minéraux présents dans des solutions de sol reconstituées a été étudié in vitro au cours de ces deux phases. Les résultats, concernant la survie et le comportement des nématodes, sont décrits et discutés.

Matériel et méthodes

Le nématode *Heterodera sacchari* est un endoparasite tropical des racines du riz et de la canne à sucre, rencontré dans la plupart des pays de l'Afrique subsaharienne, sur le continent indien et en Asie du Sud-Est. On l'éleve sur riz au laboratoire à Bondy et on travaille sur les juvéniles du second stade, infestants, issus de l'éclosion des oeufs. L'autre espèce, *Xiphinema attorodorum*, tropicale également mais ectoparasite sur des hôtes multiples et uniquement africaine, est élevée au laboratoire sur *Vigna radiata*. On utilise les populations extraites du sol, tous stades confondus.

Comme solution de sol modèle, par opposition aux observations standard, qui sont réalisées avec de l'eau distillée, on a utilisé de la solution minérale nutritive d'Hoagland diluée au 1/100. La comparaison avec des solutions de sol de sols africains typiques (tableau 1) montre que les concentrations d'éléments majeurs sont du même ordre de grandeur, sauf pour les nitrates.

Pour étudier l'éclosion des oeufs, de la première espèce seulement, des suspensions d'oeufs dans l'eau distillée sont préparées par écrasement de kystes, puis mélangées aux solutions appropriées. On compte les oeufs éclos, des juvéniles par rapport au nombre initial d'oeufs.

Pour la dessiccation on utilise des cellules spéciales hermétiques, dans lesquelles des nombres connus de nématodes sont inoculés soit sur des disques de papier filtre (fig. 1A) soit sur du sol (fig. 1B). L'atmosphère des cellules est contrôlée, au point de vue humidité relative, par une solution de glycérol déposée au fond (fig 1 A & B). Par une addition progressive de glycérol, étalée sur plusieurs jours (tableau 2), l'humidité relative de l'air de la cellule peut être diminuée jusqu'à des pF correspondant à des sols au point de flétrissement (pF 4,2) et même plus intensément (pF 5,5). Après dessiccation, les disques ou le sol est réhumidifié soit dans de l'eau distillée, soit dans une solution de sol modèle, et le nombre de survivants est évalué.

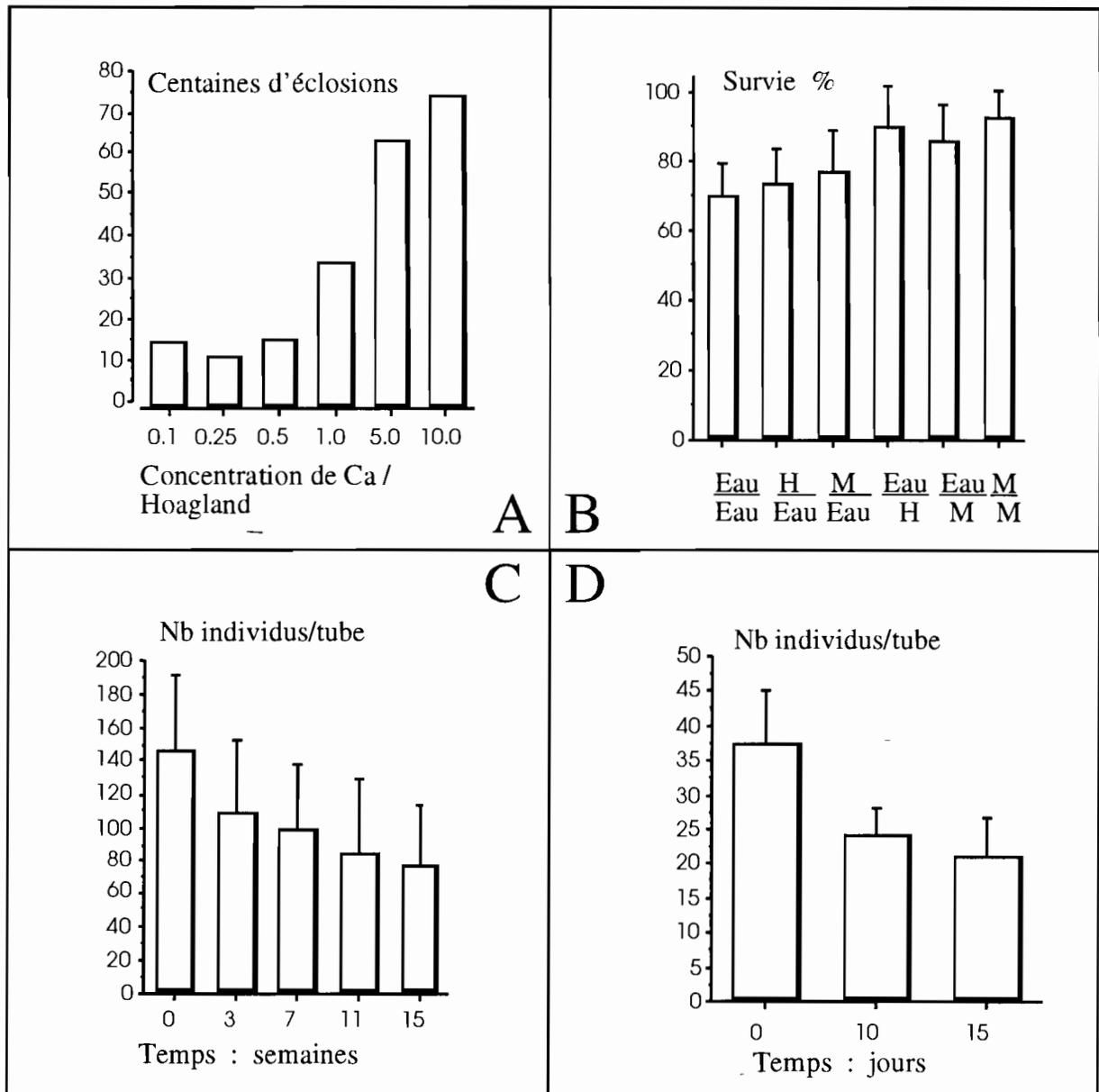


Figure 2 : Résultats :

A : *Heterodera sacchari* éclosion des oeufs dans une solution d'Hoagland avec la teneur en calcium à 0,1-0,25-0,5-1-5 et 10 fois la dose normale.

B : *Heterodera sacchari* survie à la dessiccation à pF 4,2 en fonction de 6 combinaisons de milieu d'inoculation (haut) et de milieu de reviviscence (bas) : eau, H: Hoagland; M : éléments majeurs de l'Hoagland.

C : *Xiphinema attorodorum*: survie à la dessiccation des animaux de tubes d'élevage après différentes durées de dessiccation "sur nappe" (Cf fig. 1C).

D : *Xiphinema attorodorum*: survie à la dessiccation à pF 4,2 des animaux inoculés dans des cylindres de sol (Cf fig. 1B).

Résultats et discussion

Éclosion des oeufs d'*H. sacchari* (fig. 2A): L'éclosion a été mesurée pendant une semaine dans une solution d'Hoagland au 1/25, en remplaçant la dose normale de nitrate de calcium par six doses, plus faibles (au 1/10, 1/4 et 1/2), témoin (1/1) et plus élevées (5/1 et 10/1). Par rapport à la dose témoin (1/1), les doses plus faibles inhibent l'éclosion, tandis que les doses plus élevées la stimulent (fig 2A). Ceci a déjà été observé pour d'autres espèces de nématodes phytoparasites, mais pas pour toutes.

Dessiccation des juvéniles d'*H. sacchari* (fig. 2B): Des dessiccations de juvéniles dans des cellules à disques ont été réalisées en faisant varier les combinaisons du milieu d'inoculation et de la solution de reviviscence : eau distillée, Hoagland 1/100 : H, éléments majeurs de l'Hoagland 1/100 : M. Seules six combinaisons ont été testées : eau/eau, Hoagland/eau, majeurs/eau, eau/Hoagland, eau/majeurs et majeurs/majeurs. Les résultats montrent que la survie est significativement meilleure pour les trois combinaisons eau>Hoagland, eau>majeurs et majeurs>majeurs (5 répétitions de 120 juvéniles par traitement)

Par contre si on remplace les disques de papier filtre par des nacelles de plastique, qui permettent de déposer l'inoculum sur un plan horizontal sans qu'il tombe, on constate à la date 7 jours que le nombre de survivants est le même que sur disques lorsque l'inoculum est dans l'eau et qu'il n'y a aucun survivant lorsque l'inoculum est dans une des deux solutions, Hoagland ou éléments majeurs de l'Hoagland au 1/100 .

Dessiccation de *X. attorodorum* (fig. 2C et 2D): Lorsqu'on fait dessécher des tubes d'élevage, avec la plante encore vivante, à l'air libre dans l'ambiance du laboratoire, en cessant l'arrosage, la plante meurt 10 jours après (pF 4,2) et, 3 semaines après on ne trouve aucun nématode survivant. Si on munit chaque tube d'élevage d'un récipient d'eau, adapté de façon étanche à son extrémité inférieure, et qu'on traite les tubes de la même façon, on constate que la plante meurt dans les mêmes délais, ce qui prouve que c'est la consommation de la plante qui est le facteur essentiel. Par contre dans ce cas, il y a des survivants à 3 semaines en nombre appréciable par rapport à l'effectif présent lors de la cessation de l'arrosage. Si l'inoculum en suspension dans l'eau distillée est déposé en nacelles plastique ou sur disques de papier filtre, on n'a aucun survivant au terme de la première étape de dessiccation, à 7 jours. Par contre lorsque l'inoculum est déposé dans un cylindre de sol il y a des survivants (fig. 2D).

Discussion

Concernant l'effet du calcium sur l'éclosion (fig. 2A), nos résultats confirment que cette espèce fait partie du groupe des espèces sensibles à ce facteur. Il faudrait maintenant préciser si cet effet ne se fait sentir que dans le contexte d'une solution contenant d'autres ions comme c'est le cas ici, ou bien si ce résultat se confirme avec des solutions d'un sel de calcium pur.

La présence de minéraux dans la solution de reviviscence améliore la survie à la dessiccation chez *H. sacchari* par rapport à l'eau distillée, mais la différence n'est pas très conséquente (fig. 2B). Par contre les autres résultats, que l'on peut résumer par les trois propositions suivantes :

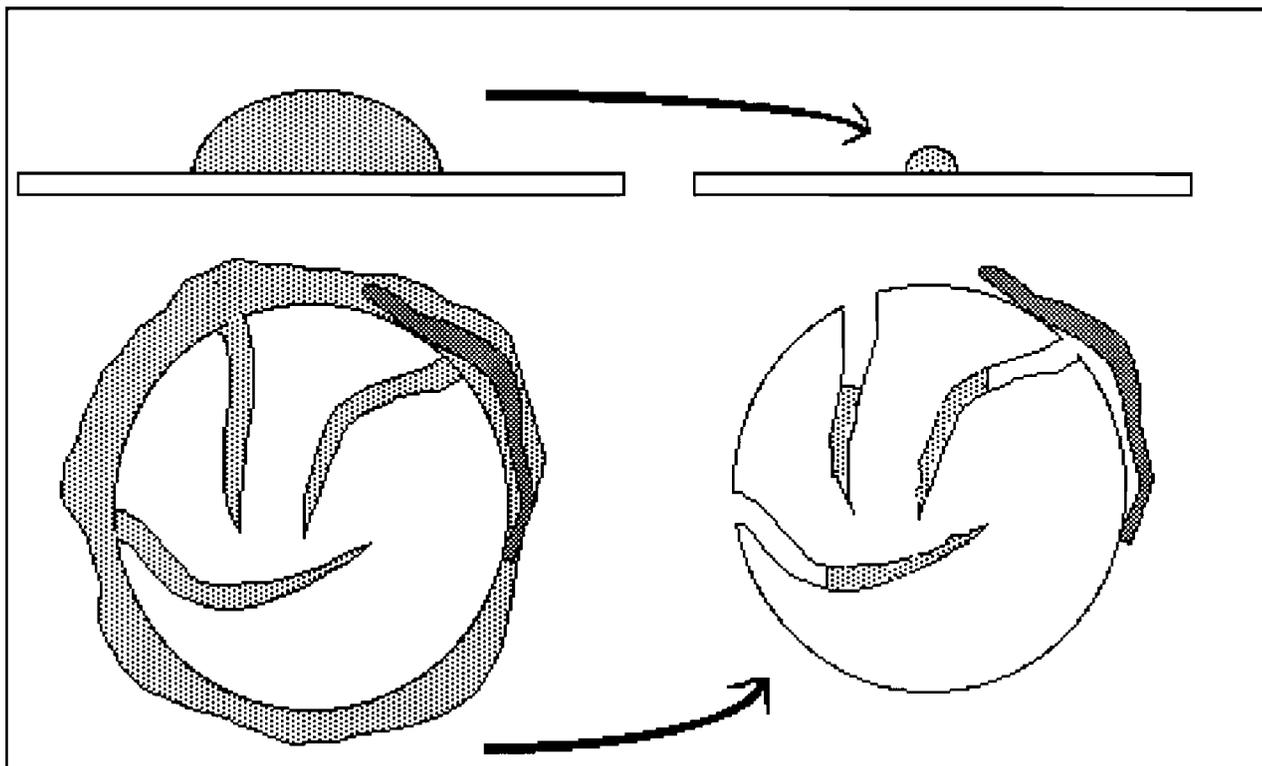


Figure 3. Dessiccation in vitro (en haut) et in situ (en bas) : positions relatives de la solution de sol concentrée (à une concentration toxique) et du nématode.

- inoculum eau / nacelle plastique ---> survivants
- inoculum solution (Hoagland) / nacelle plastique ---> aucun survivant
- inoculum eau ou solution (Hoagland) / disque papier filtre ---> survivants

peuvent s'expliquer de la façon suivante (fig. 3) :

- lorsque l'inoculum est déposé sur une surface non absorbante, comme ces coupelles plastique ou sur une lame de verre, le comportement est différent s'il y a ou non des sels dissous dans le liquide d'inoculation. Si c'est de l'eau pure, elle disparaît entièrement et les animaux se dessèchent et survivent. S'il y a des sels dissous, la solution se concentre par évaporation jusqu'à une concentration toxique et tous les animaux sont tués. A la fin de la première étape de dessiccation d'ailleurs, toute l'eau disparaît et il y a cristallisation des sels (fig. 3 en haut).
- lorsque l'inoculum est déposé sur une surface absorbante (papier filtre ou sol), lorsque la solution d'inoculation contient des sels, la solution se concentre et se retire peu à peu, au fur et à mesure de la diminution de son volume, dans la microporosité. Comme les nématodes ont des dimensions conséquentes par rapport à cette microporosité (leur diamètre est de 15 microns et leur longueur de 500 microns), la solution de sol n'est plus au contact des nématodes lorsque celle-ci a atteint la concentration toxique (fig. 3 en bas).

Dans le cas de *X. attorodorum*, on a montré que cette espèce est capable de supporter la dessiccation soit in situ soit dans des tubes d'élevage à condition qu'ils soient pourvus d'un équivalent de la nappe phréatique qui ravitaille le tube de substrat en vapeur d'eau. Donc l'air ambiant (50 ou 60 % HR) tue ces animaux, mais la présence d'une simulation de nappe qui doit maintenir l'HR vers 95-97 %, leur permet de survivre. Donc ils ne supportent pas une très forte dessiccation et in situ ils sont dépendants de la nappe pour que la dessiccation ne soit pas trop forte en saison sèche.

On observe également qu'ils ne supportent pas la dessiccation sur disque de papier filtre alors qu'ils la supportent sur sol. On n'en est qu'au début dans cette investigation et on peut conclure provisoirement qu'il existe dans le sol un composant qui permet à la dessiccation du nématode d'aboutir favorablement. Il est vraisemblable que ce composé possède des propriétés réactives, soit vis à vis de la cuticule soit de la solution de sol et on peut donc penser qu'il appartient à la fraction organo-minérale.

**NEUVIEME REUNION DU GROUPE DE REFLEXION
SUR L'ETUDE DE LA SOLUTION DU SOL
EN RELATION AVEC L'ALIMENTATION DES PLANTES
(GRESSAP)**

ORSTOM Montpellier - 10 septembre 1996