

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة – الحراش – الجزائر
École Nationale Supérieure Agronomique – El-Harrach – Alger
Département : Zoologie Agricole et forestière
Spécialité : Protection des végétaux

Thèse

En vue de l'obtention du diplôme de Magister en sciences
agronomiques

Thème

**Etat d'infestation de quelques parcelles par le nématode
Heteroderaavenae Woll. 1924 et comparaison de deux
techniques d'extraction des kystes à partir de sols de
différentes textures.**

Présentée par : Mlle. BENHALLA Rym

Président : M. HAMMACH M. Maître de conférences (E.N.S.A. El Harrach)

Directeur de thèse : M. MOKABLI A. Maître de conférences (Université de Khemis Miliana)

Examineurs : M. GHEZALI D. Maître de conférences (E.N.S.A. El Harrach)

M^{me}HADDADI F. Chargée de cours (U.S.T.H.B.)

*Etat d'infestation de quelques parcelles par le
nématode *Heterodera avenae* Woll. 1924 et
comparaison de deux techniques d'extraction des
kystes à partir de sols de différentes textures.*

Remerciements

Au préalable, je dois remercier l'ensemble des membres du jury qui ont accepté de juger ce travail. Merci donc à Mr HAMMACH M. qui préside ce jury, à Mr GHEZALI D., et Mme HADDADI F. qui me font l'honneur d'examiner ce travail.

Et surtout merci à mon directeur de thèse Mr Mokabli A. pour avoir accepté de m'encadrer, pour sa disponibilité, son aide, ses conseils et ses orientations.

Merci à Mr TRAIKIA H. pour son aide à maintes reprises, MR BICHE et à Mr et Mme KHEDDAM sans qui je n'aurais pu effectuer mon expérimentation.

Je tiens à exprimer ma gratitude à mes amis AMINE TOUATI, YACINE ABID, AHMED SIDAMAR, MANSOURI REDA, MERIEM ZARIF et DIHIA BHLOUL qu'ils trouvent ici l'expression de ma sincère gratitude.

ملخص

الهراسة أجريت لحالة الإصابة في بعض المساحات الزراعية في مناطق الجزائر العاصمة، عين الدفلى، بومرداس، البويرة، سطيف وتيبازة. هذه المساحات عينات تمثل حقول البطاطس التي كانت محاصيلها السابقة حبوبا. وكشفت عينات المعاملة وجود الطفيلي *H. avenae* في جميع المناطق المصابة، مع العلم أن بعض المساحات في نفس المنطقة سليمة. معدل الإصابة يختلف تبعا للمحطة ويتغير من 1 إلى 129 كيسة / كغم من تربة للمساحات على الترتيب جمهورية و الحراش. وأظهرت الدراسة المورفومترية من تسعة معمرات كيسة التي جمعت أظهرت تنوعا لقياسات طول و عرض الجسم والرقبة و مخروطية الفرج بين المناطق وداخل نفس المعمرات. أخذ هذه القياسات سمح لنا بتمييز مورفومتريا بعض المعمرات في المنطقة. وركز الجزء الثاني من التجربة على المقارنة بين طريقتين لاستخراج *H. avenae* من نوعين مختلفين من التربة، الطميية و الرملية. أعطى جهاز فينويك استخراج نتائج أفضل لعينات الطميية الرملية بـ 88 % مقابل 82 % بواسطة تقنية كوب. فيما يخص عينات الطمي تم العثور على 69 % من الكيستات باستخدام جهاز فينويك و 72 % باستعمال طريقة كوب. وبإضافة العينتين من أنواع التربة، تم استخراج 78.5 % من الكيستات من قبل جهاز فينويك و 77 % بواسطة تقنية كوب.

، حالة الإصابة، القياسات البيولوجية، طرق الاستخراج *H. avenae*: كلمات المفتاح

Résumé

Une étude de l'état d'infestation de quelques parcelles a été effectuée dans les régions d'Alger, Ain Defla, Boumerdès, Bouira, Sétif et Tipaza. Les parcelles échantillonnées représentent des champs de pomme de terre ayant eu des céréales pour précédent cultural. Le traitement des échantillons a révélé la présence du nématode *Heterodera avenae* dans toutes les régions étudiées mais quelques stations d'une même région sont indemnes de parasites. Le degré d'infestation est variable selon les stations et va d'1 à 129 kystes/kg de sol pour les parcelles respectives de Hammadi et d'El Harrach. L'étude morphométrique des 9 populations de kystes collectés a montré une diversité des mesures de longueur et de largeur du corps ainsi que du cou et du cône vulvaire entre les différentes régions et au sein d'une même population. La prise de ces mensurations a permis de caractériser morphométriquement quelques populations régionales.

Une seconde partie de l'expérimentation a porté sur une comparaison de deux méthodes d'extraction du nématode *H. avenae* à partir de deux différents types de sol, limoneux et limono-sableux. L'extraction à l'appareil de Fenwick a apporté de meilleurs résultats pour les échantillons limono-sableux avec 88% de kystes récupérés contre 82% par la technique de Cobb. Pour les échantillons limoneux 69% des kystes ont été retrouvés avec l'appareil de Fenwick et 72% par la méthode de Cobb. En additionnant les échantillons des deux types de sol, 78,5% des kystes ont été extraits par l'appareil de Fenwick et 77% par la technique de Cobb.

Mots clé : *Heterodera avenae*, degré d'infestation, morphométrie, méthodes d'extraction.

Abstract

The study of the status of some lands was carried out in the regions of Algiers, Ain Defla, Boumerdes, Bouira, Setif and Tipaza. Parcels sampled represent potato fields that had cereal previous crop. Sampling revealed the presence of the nematode *H. avenae* in all regions studied but some parcels in the same region are free of parasites. The infection rate varies depending on the stations and goes from 1 to 129 cysts / kg of soil for the respective plots of Hammadi and El Harrach. The morphometric study of the nine populations of cysts collected shows a variety of measures of length and width of the body, the neck and the vulva cone between regions and within the same population. Taking these measurements allowed the morphometrical characterization of some regional populations.

The second part of the experiment focus on a comparison between two nematode *H. avenae* extraction methods from two different soil types, silty and silty-sandy. The extraction using Fenwick can gave better results for the silty-sandy samples with 88% against 82% of cysts recovered by the Cobb's methode. About the silt samples, 69% of cysts were found with the Fenwick can and 72% by Cobb's method. Adding the samples of the two soil types, 78.5% of the cysts were extracted by the Fenwick can and 77% by the Cobb's method.

Keywords: *H. avenae*, infestation rate, morphometry, extraction methods.

Sommaire

Sommaire	VI
Liste des tableaux.....	XI
Liste des figures	XIII
Introduction	1
Chapitre1 : Généralités sur le nématode à kyste <i>Heterodera avenae</i>	3
1.Position systématique	4
2.Morphologie et anatomie	4
2.1- Caractéristiques morphologiques	4
2.1.1 - La femelle	4
2.1.2 - Le mâle	4
2.2- Structure générale	5
2.2.1- Le système digestif	5
2.2.2- Le système nerveux	5
2.2.3- Le système reproducteur	5
2.2.4 - Le système excréteur	5
3 - Identification d' <i>H. avenae</i>	7
3.1 -Critères morphologiques	7
3.2-La biologie moléculaire.....	10
3.3 -La biochimie	11
3.3.1 - La spectrométrie	11

3.3.2 - La focalisation isoélectrique (IEF).....	11
4 - Répartition géographique d' <i>H. avenae</i>	12
4.1 - Dans le monde	12
4.2 -En Algérie.....	15
5 - Cycle biologique	16
6 - Importance économique.....	21
7 - Symptômes et dégâts	23
7.1 - Stratégie parasitaire et histopathologie.....	23
7.2 - Dégâts apparents	26
8 - Méthode de lutte.....	29
8.1 - Méthodes préventives	29
8.2 - Méthodes culturales.....	29
8.2.1 - Le désherbage.....	29
8.2.2 - Le semis précoce	30
8.2.3 - Le semis direct	30
8.2.4 -Les cultures pièges	30
8.2.5 -Le Labour d'été	30
8.2.6 -Les biopesticides	30
8.2.7 -La jachère	31
8.2.8 -La rotation.....	31
8.3 - Méthodes physiques	32
8.3.1 - L'inondation	32
8.2.2 -La solarisation	32

8.4 - Méthodes chimiques	32
8.5 - Méthodes Biologiques.....	33
8.5.1 -Les champignons	33
8.5.1.a -Les champignons prédateurs	33
8.5.1.b -Les champignons parasites	33
8.5.2 -Les bactéries	33
8.6 -Sélection et variétés résistantes	34
8.6.1 -Résistance naturelle.....	35
8.6.2 - Résistance artificielle	38
8.6.3 - Limites des variétés résistantes.....	39
Chapitre2 :Matériel et méthodes.....	40
1.Historique concernant les méthodes d'extraction	42
2.Etude de l'état d'infestation	45
2.1L'échantillonnage.....	46
2.1.1 -Regles d'échantillonnage.....	46
2.1.2 -Outils d'échantillonnage	46
2.1.3 -Nombre d'échantillons	48
2.1.4 -Schéma d'échantillonnage	48
2.1.5 -Emballage et étiquetage	49
2.2Extraction	49
2.3Récupération de l'extrait	50
2.4 Lecture.....	51
2.5Comptage et prise de mensuration	51

3.Comparaison de deux techniques d'extraction	52
3.1 Points de comparaison Lecture	52
3.2Préparation des échantillons	52
3.3La méthode de Cobb	53
Chapter 3 :Résultats et discussion	55
1.Etat d'infestation de quelques parcelles par le nématode à kyste <i>Heteroderaavenae</i> dans quelques régions d'Algérie.....	56
1.1 Résultats d'analyses de chaque région	56
1.1.1Alger.....	56
1.1.2Ain Defla.....	57
1.1.3 -Boumerdès	59
1.1.4 -Bouira.....	59
1.1.5 -Tipaza.....	60
1.1.6 -Sétif	62
1.2-Classement des stations échantillonnées selon leur degré d'infestation	63
1.3-Classement du nombre de kyste collecté selon les wilayas prospectées.....	65
2-Etude morphométrique des différentes populations d' <i>H. avenae</i>	67
2.1- Forme des kystes.....	67
2.2-Couleur des kystes.....	67
2.3- Taille des kystes.....	67
2.4-Analyse statistique des données	68
2.4.1 -Caractères descriptifs des kystes d' <i>H. avenae</i>	69
2.4.2 -Répartition des effectifs des populations d' <i>H. avenae</i> selon les différents ordres de grandeurs obtenus.....	73

3.Comparaison entre deux méthodes d'extraction	78
3.1Extraction par l'appareil de Fenwick	78
3.2Extraction par la méthode de Cobb	81
Conclusion	85
Références bibliographiques	88
Annexes	

Liste des tableaux

Tab. 1- Groupes de pathotypes définis par le teste international (ANDERSEN et ANDERSEN, 1982) révisé par RIVOAL et COOK (1993)	20
Tab. 2- Pertes dues à <i>H. avenae</i> dans quelques pays du monde	22
Tab. 3- Principales auxiliaires utilisées dans la lutte contre <i>H. avenae</i>	34
Tab. 4- Principales sources de résistance	37
Tab. 5- Principaux gènes de résistance utilisés dans les programmes de sélection	38
Tab. 6- Résultats d'analyses des échantillons d'Alger.....	56
Tab. 7- Résultats d'analyses des échantillons de Ain Defla	57
Tab. 8- Résultats d'analyses des échantillons de Boumerdès	59
Tab. 9- Résultats d'analyses des échantillons de Bouira	59
Tab. 10- Résultats d'analyses des échantillons de Tipaza	60
Tab. 11- Résultats d'analyses des échantillons de Sétif	62
Tab. 12- Classement des parcelles échantillonnées selon leur degré d'infestation	63
Tab. 13- Nombre de kyste total obtenu dans chaque région d'étude toutes parcelles confondues	65
Tab. 14- Moyenne des mensurations des populations récoltées (μm)	68
Tab. 15- Statistiques des longueurs de kystes d' <i>H. avenae</i> par région (μm)	69
Tab. 16- Statistiques des largueurs des kystes d' <i>H. avenae</i> par région (μm)	70
Tab. 17- Rapport des moyennes de longueur à la largeur des kystes d' <i>H. avenae</i> par Population	71
Tab. 18- Résultats d'extraction par l'appareil de Fenwick pour les échantillons limono-Sableux	77
Tab. 19- Résultats d'extraction par l'appareil de Fenwick pour les échantillons limoneux...	78

Tab. 20- Résultats d'extraction par la méthode de Cobb pour les échantillons limono-
Sableux 80

Tab. 21- Résultats d'extraction par la méthode de Cobb pour les échantillons limoneux...81

Liste des figures

Fig. 1-Morphologie d' <i>Heterodera avenae</i> (TAYLOR, 1968)	6
Fig. 2- Kystes et cône vulvaire. A et B: <i>H. avenae</i> . C et D : <i>H. filipjevi</i> , E et F: <i>H. latipons</i> (ANON, 2009)	7
Fig. 3- Micrographie de la zone vulvaire de (A) <i>H. latipons</i> , (B) <i>H. hordecalis</i> et (C) <i>H. avenae</i> . (GRECO et al., 2009)	8
Fig. 4- Caractéristiques morphologiques d' <i>H. avenae</i> (HANDOO, 2002)	9
Fig. 5- Profiles PCR-RFLP de nématodes du Nord Ouest des états unis par l'enzyme Taq1. Hs (<i>H. schachtii</i>), Hl (<i>H. latipons</i>), Hf (<i>H. filipjevi</i>), Ha (<i>H. ; avenae</i>).	
M: marqueurs ADN 100 pb (SMYLEY et YAN, 2009).....	10
Fig. 6-Répartition géographique du nématode à kyste <i>H. avenae</i> dans le monde.....	14
Fig. 7- Répartition d' <i>H. avenae</i> dans quelques wilaya du nord de l'Algérie	15
Fig. 8- Cycle de développement d' <i>H. avenae</i> (RIVOAL, 1987)	18
Fig. 9- Mode de parasitisme du nématode <i>H.avenae</i> d'après ATKINSON et al. (1994).....	24
Fig. 10- Modèle d'interaction potentielle entre les produits de sécrétions des nématodes et la cellule végétale (BAUM et al., 2004)	24
Fig. 11- Comparaison entre racines saines et infestées par <i>H. avenae</i> sur avoine.....	25
Fig. 12- Femelles blanches d' <i>H. avenae</i> responsables de l'aspect perlé des racines de blé (CLAUDIUS-COLE et al., 2010)	27
Fig. 13- Chloroses entaches et défauts de croissance des feuilles basses de blé en présence d' <i>H. avenae</i> (CLAUDIUS-COLE et al., 2010)	27
Fig. 14- Table d'indexation pour les nématodes à kyste sur blé. ROVIRA dans BROWN et KERRY (1987)	28

Fig. 15 à 20- Différents appareils utilisés pour l'extraction des nématodes à kyste par ordre évolutif	44
Fig.21- Répartition sur carte des régions étudiée	45
Fig. 22- (A) Sonde d'échantillonnage. (B, C) Récupération de l'échantillon (Originale).....	47
Fig. 23- Outils d'échantillonnage classique (Original)	47
Fig. 24- Schémas d'échantillonnage. (a) aléatoire, (b-d) systématique (CLAUDIUS-COLE et al., 2010)	48
Fig. 25- Emballage et étiquetage de l'échantillon (Originale)	49
Fig. 26- Schéma de l'appareil de Fenwick utilisé pour l'extraction (DURAND, 2001).....	50
Fig. 27- Récupération et séchage de l'extrait (ANON, 2010)	50
Fig. 28- Récupération des kystes (Originale)	51
Fig. 29- Mensurations des kystes d' <i>H. avenae</i> (Originale)	51
Fig. 30- Préparation des échantillons. (a) pesée, (b) ajout de kystes aux deux types de sols, (c) échantillons finaux (Originale)	53
Fig. 31- Procédure d'extraction par la méthode de Cobb (Originale)	54
Fig.32- Degré d'infestation des parcelles échantillonnées dans la wilaya d'Alger.....	57
Fig.33- Degré d'infestation des parcelles échantillonnées de la wilaya de Ain Defla.....	58
Fig.34- Degré d'infestation des parcelles échantillonnées de la wilaya de Bouira.....	60
Fig. 35- Champ de pomme de terre entouré de céréales sauvages (Originale)	61
Fig. 36- Mauvaises herbes laissées sur les champs de pomme de terre (Originale)	61
Fig. 37- Classement des parcelles échantillonnées selon leur degré d'infestation.....	64

Fig.38-Nombre de kyste total obtenu dans chaque wilaya	66
Fig. 39- (A, B) Variations de forme et de taille des kystes d' <i>H. avenae</i> (Originale).....	67
Fig. 40- Longueur et largeurs moyennes avec écart type des populations d' <i>H. avenae</i> Collectées.....	71
Fig. 41- Rapport longueur/largeur des différentes populations d' <i>H. avenae</i> collectées.....	72
Fig. 42- Répartition géométrique des kystes selon leur taille dans la région de Ain Bessam...	73
Fig. 43- Répartition géométrique des kystes selon leur taille dans la région de Bourached....	73
Fig. 44- Répartition géométrique des kystes selon leur taille dans la région de Djendel.....	74
Fig. 45- Répartition géométrique des kystes selon leur taille dans la région de Djoumhouria.....	74
Fig. 46- Répartition géométrique des kystes selon leur taille dans la région d'El Asnam.....	74
Fig. 47- Répartition géométrique des kystes selon leur taille dans la région d'El Harrach.....	75
Fig. 48- Répartition géométrique des kystes selon leur taille dans la région de Khemis Miliana	75
Fig. 49- Répartition géométrique des kystes selon leur taille dans la région de Sétif	75
Fig. 50- Répartition géométrique des kystes selon leur taille dans la région de Tipaza	76
Fig. 51- Kyste d' <i>H. avenae</i> collectés	77
Fig. 52- Suspensions récupérées à partir du sol limoneux (A) et limono-sableux (B).....	80

Introducción

Introduction

Les céréales constituent l'aliment de base en Algérie. La filière céréalière représente 30% de la production agroalimentaire nationale. Son importance est également mesurée par le nombre d'agriculteurs, estimé à 600 000 qui interviennent dans la céréaliculture ainsi que par celui des communes qui pratiquent la céréaliculture dépassant les 700 (OULD HAMOUDA, 2013). La surface emblavée durant la campagne labours-semences 2010-2011 a presque atteint les 3,5 millions d'hectares (ITGC, 2011). En dépit de cela, la production nationale reste insuffisante pour satisfaire les besoins de la population. La principale cause de baisse de rendement est expliquée différemment par les travaux individuels des spécialistes. En effet, les machinistes rendent responsable le manque de mécanisation des champs de céréales, selon AMARA et al. (2007), l'amélioration du rendement passe par la maîtrise des facteurs techniques. Les pédologues quand à eux incriminent la nature des sols algériens trop calcaires qui empêcherait l'absorption de certains éléments nutritifs tels que le phosphate. KHEDIM (2012) explique le faible rendement par un apport insuffisant en éléments fertilisants. Pour finir, le ministère de l'agriculture impute le problème à la sécheresse.

Même si la principale cause de baisse de rendement est variable et mal connue, il est établi que plusieurs facteurs biotiques et abiotiques (sur les quels nous ne nous étalerons pas) entrent en considération. Parmi les facteurs biotiques, un parasite des racines, ravageur des cultures de céréales, le nématode à kyste *Heterodera avenae* Woll. 1924. Ce parasite est présent dans toutes les zones de culture céréalières du monde (RUMPENHORST et STURHAN, 1996) et cause des pertes allant jusqu'à 90 % de la récolte (AL DERFASI, 1999 ; B'CHIR et al., 2009).

Les nématodes sont parmi les plus nombreux animaux du sol. Toutefois, en raison de leur petite taille et de leur extraction complexe, ils sont relativement peu étudiés. En Algérie *H. avenae* est étudié depuis une dizaine d'années, les travaux se limitent aux quelques grandes zones céréalières du Nord de l'Algérie. Pour apporter notre contribution à l'étude du nématode à kyste des céréales, dans un premier plan nous avons jugé intéressant de prospecter au niveau des parcelles pratiquant des rotations et d'échantillonner des terres ayant des eu des céréales comme précédent cultural. Pour des raisons économiques la rotation la plus pratiquée est blé/pomme de terre, les échantillons ont donc tous été collectés dans des champs de

pomme de terre. Le but de ce travail est d'avoir une idée sur l'état d'infestation de quelques régions et sur la persistance d'*H. avenae* dans des sol où sont cultivés des plantes non hôtes, également de comparer les différentes populations de nématodes collectées. Dans un second plan, nous nous sommes intéressés à l'extraction. Dans une analyse nématologique, l'extraction est une étape aussi primordiale que l'échantillonnage et le comptage. Son but est d'évaluer l'importance de la population de nématodes présents dans un milieu donné. Cette évaluation représente pour l'agriculture une importance économique incontestable et la connaissance de l'infestation d'unmilieu est essentielle. Pour cela nous avons testé deux techniques, l'une en utilisant l'appareil de Fenwick, la seconde est la méthode de Cobb.

Chapitre I

**Généralités sur le nématode à
kyste *Heterodera avenae***

Chapitre I

Généralités sur le nématode à kyste *Heterodera avenae*

Le nématode à kyste *Heterodera avenae* Woll. 1924 est un endoparasite sédentaire des racines. C'est le biologiste allemand Kuhn qui le mentionne pour la première fois en 1874 (RIVOAL *et al.*, 1985). Ce parasite est inféodé aux céréales (REDDY, 1983). Selon MOKABLI (2002), il parasite aussi de nombreuses graminées sauvages et cultivées.

1- Position systématique

Le nématode à kyste *H. avenae* appartient à l'embranchement des némathelminthes, au sous embranchement des nématodes, à la classe des Nematoda, à la sous classe des Secernentae, à l'ordre des Tylenchida, au sous ordre des Tylenchina, à la super famille des Heteroderoidea, à la famille des Heteroderidae et à la sous famille des Heterodinae.

2 - Morphologie et anatomie

H. avenae est un endoparasite sédentaire des racines. La principale caractéristique morphologique de ce nématode est le dimorphisme sexuel (Association de coordination agricole, 1971) (Fig.1).

2.1- Caractéristiques morphologiques

2.1.1- La femelle

Elle est citriforme, son corps mesure en moyenne 0,5 mm de diamètre. La cuticule est claire au début du cycle et finit par brunir à maturité.

2.1.2- Le mâle

Il est filiforme et mesure environs 1,5 mm de long (MOKABLI, 2002). Il a une symétrie bilatérale et est recouvert d'une cuticule continue et souple très résistante et d'une couche épidermique. Il possède une musculature longitudinale qui entoure le tube digestif rectiligne se terminant par la bouche et l'anus aux extrémités (SHARMA, 2004).

2.2- Structure générale

La structure des nématodes est constituée de plusieurs composants, la paroi, le système digestif, nerveux, reproducteur et le système excréteur.

2.2.1- Le système digestif

Il occupe une partie importante du corps des nématodes. Il se compose de la bouche qui porte le stylet, de l'œsophage, de l'intestin, du rectum et de l'anus. L'œsophage agit comme une pompe qui tire les nutriments dans le sens contraire à la pression interne de la plante (BENTLEY *et al.*, 2010).

2.2.2- Le système nerveux

Le système nerveux des nématodes est rudimentaire. Il est formé d'une accumulation de ganglions autour de l'œsophage et de quatre cordes nerveuses qui longent le corps. Les nématodes possèdent des sensilles qui sont des organes chémo et mécanorécepteurs (DECKER, 1989).

2.2.3- Le système reproducteur

Le système reproducteur des femelles est composé de deux gonades tubulaires formées d'une seule couche de cellules, de deux ovaires, d'un oviducte, de l'utérus, du vagin et de la vulve. Celui des mâles est composé de testicules, de la vésicule séminale et de l'organe copulateur (LUC *et al.*, 2005).

2.2.4- Le système excréteur

Les nématodes à kyste possèdent plusieurs organes de sécrétions : la cuticule, le pore excréteur, les amphides et les glandes salivaires. Les structures de la partie antérieure des nématodes à kyste (glandes salivaires et stylet) jouent un rôle central dans le parasitisme (pénétration et migration, mise en place et maintien du site nourricier) (BLANCHARD, 2007).

Les nématodes sont dépourvus de système circulatoire et respiratoire.

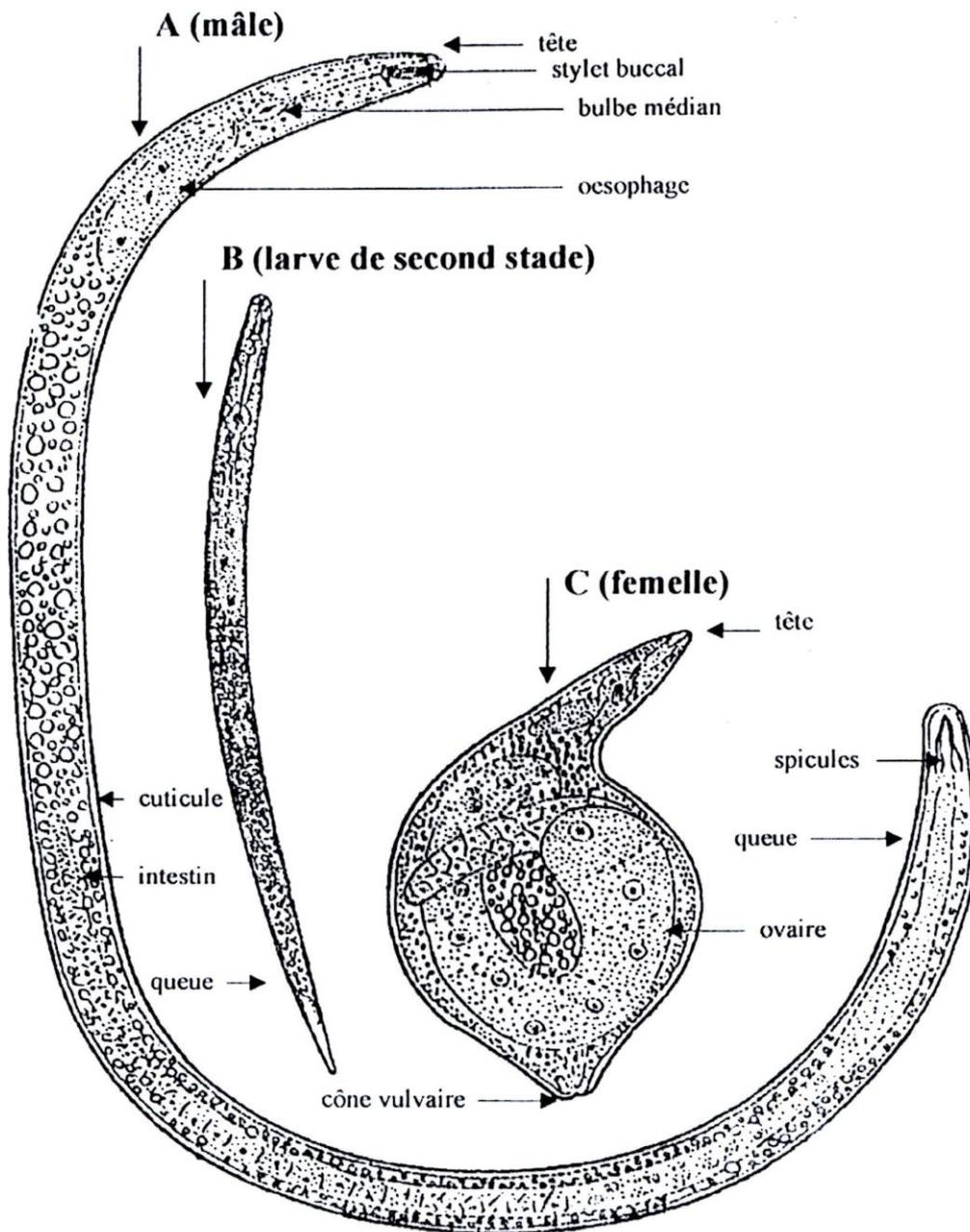


Fig. 1- Morphologie d'*Heterodera avenae* (TAYLOR, 1968).

3-Identification d'*H. avenae*

Les dégâts causés par *H. avenae* ne sont pas spécifiques de ce parasite. Il est de ce fait difficile d'établir un diagnostic basé sur la symptomatologie (COLOMBO et al., 2009). Le nanisme et le jaunissement induit souvent les agriculteurs en erreur qui attribuent ces symptômes à la sécheresse, à des carences en nutriments ou d'autres pathogènes. Les critères morphologiques étaient la base de l'identification des espèces jusqu'à l'apparition de techniques plus sophistiquées.

3.1- Critères morphologiques

La détermination des Heteroderidae est basée sur l'aspect extérieur et la morphométrie du cône vulvaire, des larves de deuxième stade et du stylet (BOLAT et al., 2009). L'observation du cône vulvaire comprend les mesures de la longueur et de la largeur des fenêtres, des semi fenestrae, de la fente vulvaire, du pont et du sous pont (PARIHAR et al., 2009) (Fig.2). Dans le cas d'*Heterodera avenae*, les principaux critères sont le bullae dense, les semi fenestrae et l'orifice génital court.

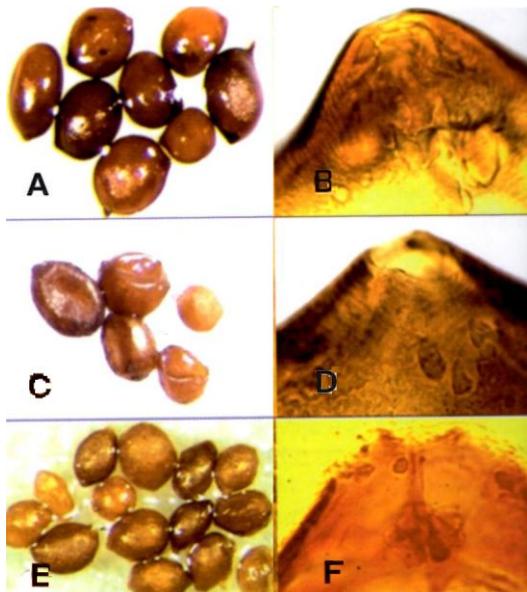


Fig. 2- Kystes et cône vulvaire. A et B : *H. avenae*. C et D : *H. filipjevi*, E et F : *H. latipons* (ANON, 2009).

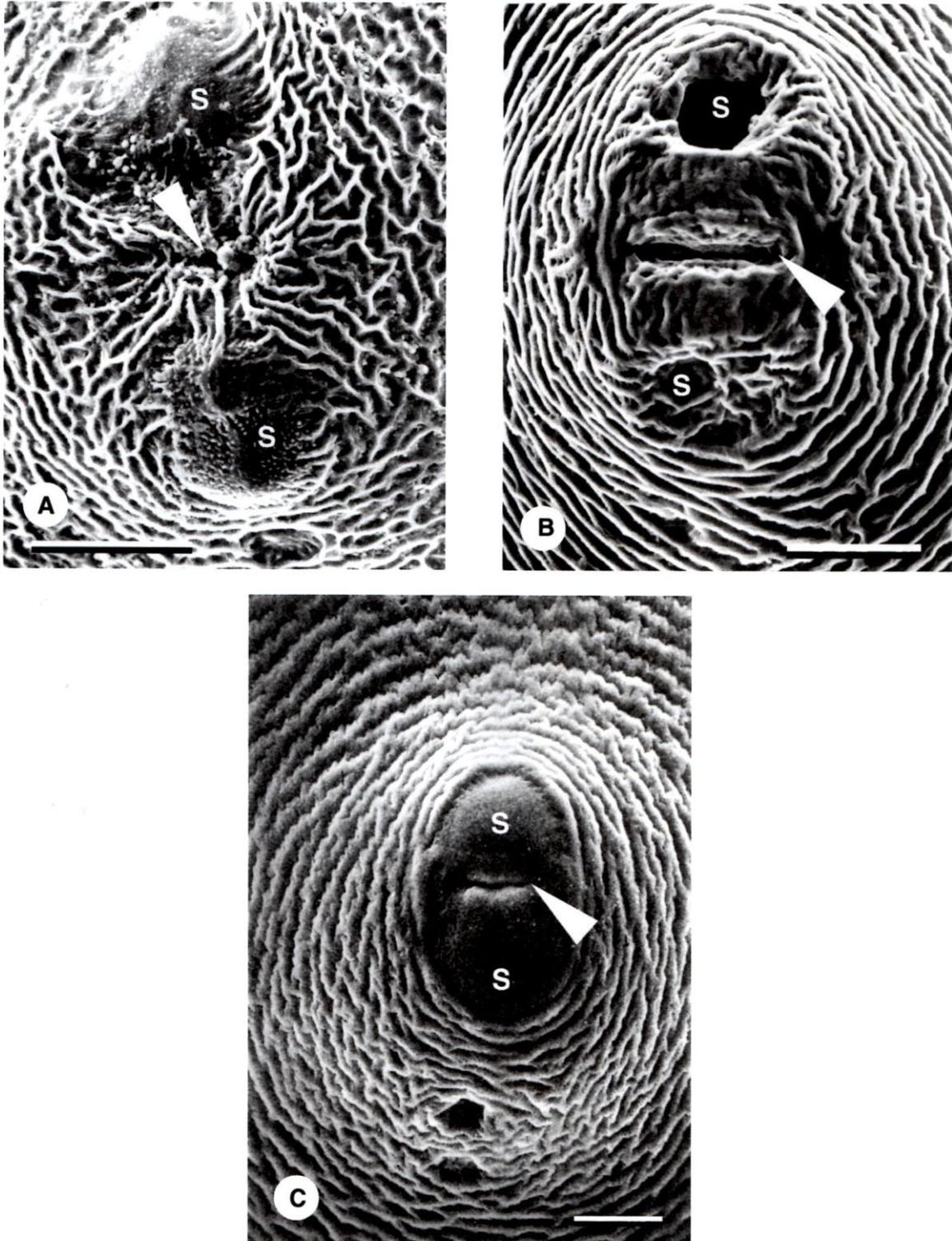


Fig. 3 : Micrographie de la zone vulvaire de (A) *H. latipons*, (B) *H. hordecalis* et (C) *H. avenae*. A noter que les semi-fenestrae sont bien séparés chez *H. latipons* et *H. hordecalis* et collés chez *H. avenae*. A noter également une différence de taille de la fente vulvaire chez les trois espèces. Echelle : 20 um (GRECO et *al.*, 2009).

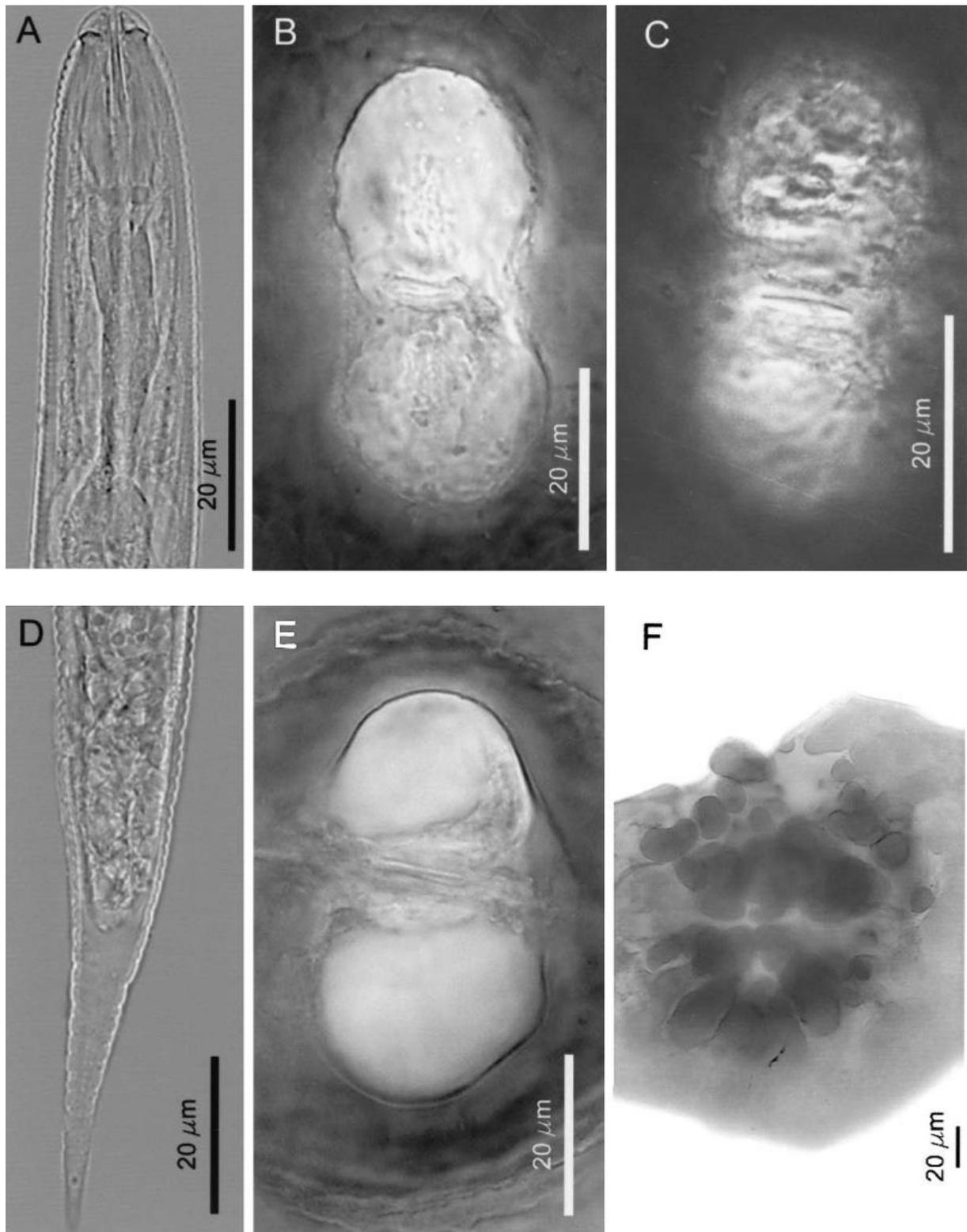


Fig. 4- Caractéristiques morphologiques d'*H. avenae*. A : tête, D : queue d'une larve de deuxième stade. B, C, E : fenêtres du cône vulvaire laissant apparaître la fente. F : Bullae (HANDOO, 2002).

3.2- La biologie moléculaire

La plupart des nématodes à kyste sont identifiés par PCR et RFLP (MOENS *et al.*, 2009)

La PCR, Polymerase Chain Reaction ou réaction en chaîne par polymérase, est une technique de réplication ciblée *in vitro*.

La RFLP : restriction fragment length polymorphism, ou polymorphisme de longueur des fragments de restriction, est une technique de découpage du génome en utilisant une enzyme de restriction en fonction du nombre de sites de restriction présents pour l'enzyme utilisée. Le nombre de ces sites et leur position diffère en fonction de l'individu. On a donc un polymorphisme de longueur des fragments de restriction, et l'on peut donc réaliser une empreinte génétique d'un individu grâce à cette méthode. Ainsi, on pourra différencier deux individus. L'utilisation des marqueurs génétiques a été très vite adoptée du fait de la rapidité et de la précision de sélection des gènes cibles (BONIERBALE *et al.*, 1989), sans attendre les expressions phénotypiques des bio-essais (DAHAN *et al.*, 1999).

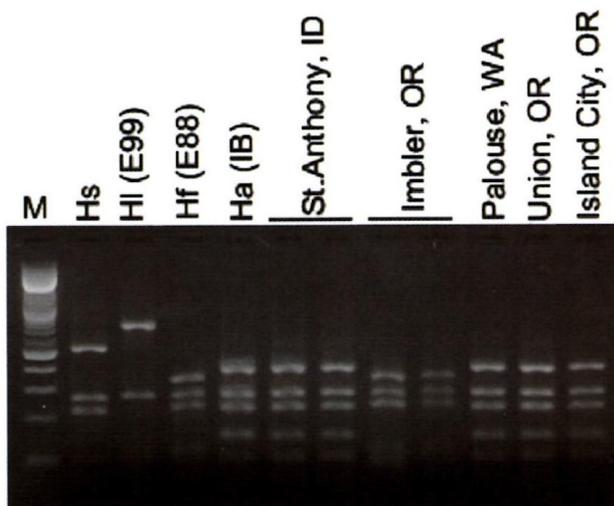


Fig.5- Profiles PCR-RFLP de nématodes du Nord Ouest des états unis par l'enzyme TaqI. Hs (*H. schachtii*), HI (*H. latipons*), Hf (*H. filipjevi*), H.a (*H. avenae*). M : marqueurs ADN 100 pb (SMYLEY *et al.*, 2009).

3.3 – La biochimie

Les méthodes biochimiques les plus utilisées sont la spectrométrie et la focalisation isoélectrique.

3.3.1 - La spectrométrie

Les espèces de nématodes ainsi que certaines races peuvent être identifiées et différenciées sur la base des caractéristiques de leurs protéines (CHAMBERLAIN et *al.*, 2009). La spectrométrie de masse s'est révélée être un outil puissant pour la recherche et l'identification des protéines et des peptides à partir d'échantillons purifiés. Une nouvelle ère s'ouvre, avec l'imagerie MALDI (MALDI-TOF) permettant à la fois la recherche, l'identification et maintenant la localisation de biomolécules au sein des tissus (AIT MENGUELLET et *al.*, 2007).

3.3.2- La focalisation isoélectrique (IEF)

Une protéine chargée migre sur un gel à travers un gradient de pH jusqu'à ce qu'elle atteigne son point isoélectrique. Cette technique permet de séparer des protéines qui diffèrent d'une seule unité de charge. Elle permet également une seconde séparation en fonction de leur poids moléculaire. Ces séparations successives permettent une excellente séparation des protéines cellulaires (BERK et *al.*, 2005). ANDERSSON et *al.*, (2009) proposent de combiner l'IEF à l'identification morphologique pour de meilleurs résultats.

Dans certains cas, la PCR et la RFLP ne peuvent pas être utilisées, des séquences identiques peuvent être retrouvées chez des espèces morphologiquement distinctes telles que *H. avenae* et *H. arenaria* (MOENS et *al.*, 2000). D'autre part, plusieurs espèces n'ont pas encore été moléculairement caractérisées. Par conséquent, l'identification des espèces est basée sur les profils isoélectriques et les caractéristiques morphologiques jusqu'à ce que les marqueurs de différenciation de ces espèces soient disponibles (MOENS et *al.*, 2009).

4- Répartition géographique d'*H. avenae*

4.1- Dans le monde

Le nématode à kyste *H. avenae* est présent dans toutes les zones de cultures céréalières du monde et sévit sous des climats différents (RUMPENHORST et STURHAN, 1996). En effet, les tests de réactions d'hôtes différentiels ainsi que les analyses en génétique moléculaire de l'ADNr ont démontré une variabilité d'adaptation et de virulence considérable (SASHI et al., 2009). Plus de 50% des champs de céréales en Europe en sont infestés (RIVOAL et COOK, 1993) cités par IBRAHIM et al. (1998) (Fig.3).

Ce nématode est originaire d'Europe, il s'est déplacé avec les grains de blé que les colons emportaient sur les autres continents (MAEGHER, 1977) et cela au début du 19^{ème} siècle (MOENS et al., 2002). Ainsi, dans l'hémisphère boréal on le rencontre sous diverses latitudes aussi bien en Europe septentrionale que méridionale (MEZETTI, 1953) cité par (RIVOAL 1978). Il est présent en France où il est considéré comme étant un déprédateur important qui s'attaque même au maïs (RIVOAL, 1975). En Bulgarie, on le retrouve sur blé mais il est beaucoup plus répandu sur orge (STOYANOV, 1982). Il est également présent aux Pays Bas, en Norvège (ANDERSSON et al., 2009), en Allemagne (ARYA et al., 1974), en Nouvelle Zélande où il a été découvert en 1975 sur blé et avoine (GRANDISON, 1982), en Ukraine (RUMPENHORST et al., 1996), en Estonie (KRALL et al., 1999) (cité par BHATNAGAR, 2007), en Belgique (BERT et al., 2009). Au Danemark, un tiers des zones céréalières est infesté (JAKOBSEN, 1978). Le nématode à kyste provoque aussi beaucoup de dégâts en Angleterre sur orge (GRAHAM et STONE, 1975), au pays de Galles sur orge et avoine (BEANE et WILLIAMS, 1982), en Suède (DACKMAN et NORDBRING-HERTZ, 1985). En Slovaquie, le nématode a été retrouvé dans 60% des régions productrices de céréales et 10% d'entre elles étaient infestées au-dessus du seuil économique (RENCO, 2005). *H. avenae* est aussi largement présent dans les pays du bassin méditerranéen qui montrent un contraste dans les conditions climatiques (sub-humide et semi-aride) dues à l'altitude et à la latitude (MOKABLI et al., 1998). On retrouve ce parasite en Grèce (VLACHOPOULOS, 1994), en Tunisie dans 60 % des champs de céréales (HAJJI et al., 2008), au Maroc (ABBAD ANDALOUSS et al., 2009), en Italie dans les zones de culture de blé, d'orge et d'avoine (VOVLAS, 1985), en Espagne où plusieurs pathotypes ont été trouvés sur céréales et graminées sauvages (ROMEO, 1982), en Iran (AHMADI et TANHA MAAFI, 2009), en Syrie (ABIDOU et al., 2005). En Israël, le parasite est présent dans la majorité des champs de

blé (COHN et *al.*, 1992). En Eurasie le nématode est présent en Arménie sur tabac (KARAPETYAN et MKRTCHYAN, 2001) ainsi qu'en Russie (RUMPENHORST et *al.*, 1996). Le parasite des céréales est présent en Asie, notamment en Anatolie dans 41 % des zones céréalières (ELEKCIOGLU et *al.*, 1996), au Japon (BRIDGE et STARR, 2007), en Chine (MOENS et *al.*, 2000), au Tadjikistan (RUMPENHORST et *al.*, 1996), au Pakistan (SHAHINA, 1989) ainsi qu'en Inde où il est associé à de graves dommages sur blé à une maladie connue sous le nom du molya (BHATNAGAR, 2007). *H. avenae* est également présent au Moyen Orient, notamment en Arabie Saoudite (AL-HAZMI, 2009), ainsi qu'en Jordanie (HENRY et *al.*, 2001). Le nématode est présent de façon plus localisée en Amérique du nord (RITTER, 1982) au Canada et aux Etats unis, où il a été détecté en 1987 dans les deux tiers de toutes les terres non irriguées cultivées et échantillonnées ainsi que dans tous les champs irrigués de l'état de l'Oregon (EASLEY et *al.*, 2005). On retrouve également le parasite en Australie dans l'état de Victoria au sud du pays où plus de 2 millions d'hectares sont infestés (MOENS et *al.*, 2000).

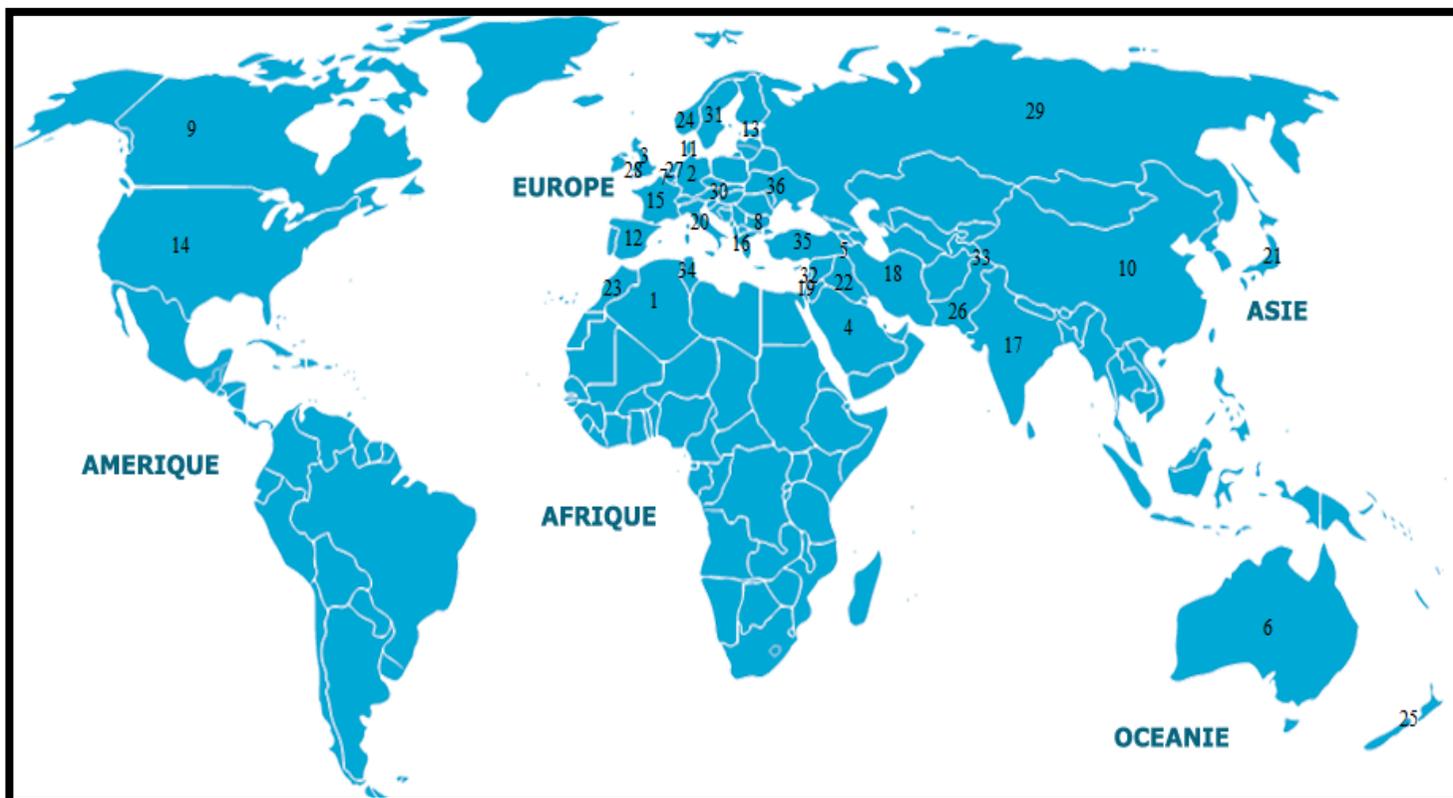


Fig. 6- Répartition géographique du nématode à kyste *H. avenae* dans le monde.

1-Algerie, 2-Allemagne, 3-Angleterre, 4-Arabie Saoudite, 5-Arménie, 6-Australie, 7-Belgique, 8-Bulgarie, 9-Canada, 10-Chine, 11-Danemark, 12-Espagne, 13-Estonie, 14-Etats unis, 15-France, 16-Grèce, 17- Inde, 18-Iran, 19-Israël, 20-Italie, 21-Japon, 22-Jordanie, 23-Maroc, 24-Norvège, 25-Nouvelle-Zélande, 26-Pakistan, 27-Pays Bas, 28-Pays de Galles, 29-Russie, 30-Slovaquie, 31-suède, 32-Syrie, 33-Tadjikistan, 34-Tunisie, 35-Turquie, 36-Ukraine.

4.2- En Algérie

Bien que le nématode *H. avenae* soit un fléau pour la céréaliculture algérienne, peu de recherches ont été effectuées sur ce parasite. Les premiers travaux ont été entrepris par LAMBERTI *et al.* (1975) à Birtouta, El Amra et Sidi Bel Abbès.

Les travaux réalisés sont limités aux régions de Hoceinia (FERHAOUI, 1993), Birtouta (MEHENNI, 1996), Boumerdes, Dar El Beida, Dely Ibrahim, Bordj Menail (NAOUI, 1999), Djendel (ABBAS, 1994), Khémis-Miliana (FERHAOUI, 1993), Tiaret (LABDELLI, 1995 ; KADA, 1999 ; OUDDENE, 2010), Béjaïa (REMINI, 1997), Staoueli (HARROUCHE, 1998), Oued Smar (BENKHROUF, 1996), Tissemsilt (MEZIAN, 1996) et Sétif (DJADI, 1995). MOKABLI (2002) signale sa présence dans les wilayas d'Alger, Annaba, Blida, Bordj Bou Arreridj, Bouira, Chlef, Constantine, Mascara, Mostaganem, Tlemcen et Tizi Ouzou.



Fig. 7- Répartition d'*H. avenae* dans quelques wilaya du nord de l'Algérie.

5- Cycle biologique

La définition du cycle biologique permet de comprendre les étapes clé du parasitisme essentielles à la capacité du nématode à se développer à l'intérieur de l'hôte.

La biologie des nématodes est intimement en relation avec le cycle de développement de la plante hôte. Il est influencé par son état physiologique et nutritionnel (DAWES, 1994). *H. avenae* est une espèce monovoltine (MOKABLI, 2002). Les larves de deuxième stade sortent du kyste et pénètrent les racines par une zone située derrière la coiffe. Elles se déplacent ensuite dans l'espace intra cellulaire jusqu'à la zone de croissance pour y établir leur site d'alimentation appelé syncytium qui se situent près de l'endoderme ou du péricycle (NICKLE, 1991). Les syncytia sont formés par la dissolution de la paroi cellulaire des péricycles et des cellules du parenchyme vasculaire (FISHER et WILLIAMS, 1993). Le développement des nématodes dans les racines passe par trois mues. La larve prédisposée à devenir une femelle gonfle, prend la forme d'un citron et saillit en dehors des tissus (CHAMOLA et al., 2009). Elle finit par perdre sa capacité à se mouvoir et devient sédentaire (DECKER, 1981). Les mâles filiformes se déplacent dans le sol et viennent féconder les femelles (RAYNAL, 1989). Les œufs ne sont pas pondus mais restent à l'intérieur du corps de la femelle qui se transforme en kyste (SHARMA, 1998). Cette dernière se détache ensuite de la racine BLANCARD et al. (1991) et peut survivre plusieurs années dans le sol (NYVALL, 1999). Chez les Heterodera, l'enkystement est une étape normale du cycle biologique, la paroi du kyste est constituée d'une cuticule desséchée et tannée des femelles mortes (DAVET, 1996). La femelle peut produire plusieurs centaines d'œufs (CARVER, 2009). En effet, selon ANDERSEN (1961) cité par SIDDIQI et WILLIAMS (1972), un kyste contient entre 200 et 250 larves. Les kystes les plus larges peuvent contenir jusqu'à 600 larves, elles sont complètement développées à l'intérieur des œufs (SHARMA, 2004). Après une phase de dormance levée par les conditions thermiques et hydriques favorables, les larves éclosent et envahissent le système racinaire (RIBA et SILVY, 1989). L'éclosion est fortement influencée pas la température mais elle est indépendante des exsudats racinaires de l'hôte. Des expériences ont prouvé que les L2 éclosent facilement dans l'eau tandis que des tests in vitro ont démontré que les exsudats racinaires accroissent le taux d'éclosion (WILLIAM et BEAN, 1979) cités par IBRAHIM et al. (1998).

La caractéristique la plus importante du cycle biologique selon RIVOAL (1979) est le repos physiologique observé par les larves enkystées. Cet arrêt dans l'activité est assimilé à une diapause de type obligatoire qui protège les larves des conditions défavorables de la saison estivale ou de type facultatif induite par les conditions thermiques.

Le calendrier de reproduction des nématodes est variable, selon la situation géographique de ses populations, le nématode présente des différences dans ses périodes d'activité (RIVOAL, 1983). Cette différence se traduit par l'induction ou la suppression de la diapause par les diverses conditions de température (CIANICO et MUKERJI, 2008). C'est ce qui définit la notion d'«**écotypes**» (BOCKUS et al., 2010). HAMROUN et al., (2009) obtiennent des éclosions à des températures variant entre 10 et 20°C avec un optimum de 14,5°C et une diapause été-automne. COHN et al. (1992) obtiennent un cycle d'une durée de 4 mois à 6°C et de 40 jrs à 18°C. On pourrait penser que ces écarts sont dus essentiellement à des conditions écologiques mais des expériences effectuées sur le transfert de populations a seulement eu pour effet d'atténuer les différences entre les cycles qui demeurent distincts, ceci semble indiquer l'existence de caractéristiques biologiques propres aux races de nématodes (RIVOAL, 1978).

De nombreuses expérimentations ont été réalisées à travers le monde afin d'étudier l'effet de la température sur la reproduction d'*H. avenae*. Elles ont toutes montré des différences dans le comportement de l'éclosion des populations, correspondant à la présence des deux principaux écotypes caractérisés par une activité soit hivernale (cas de l'écotype méditerranéen), soit printanier (cas de l'écotype des régions de l'hémisphère nord à climat océanique ou plus ou moins tempéré) (B'CHIR et NAMOUCHI-KACHOURI, 2008). Ces écotypes traduisent une adaptation au climat qui assure une synchronisation de l'éclosion du parasite avec les conditions les plus favorables pour l'infestation de l'hôte et la survie du nématode (RIVOAL, 1982).

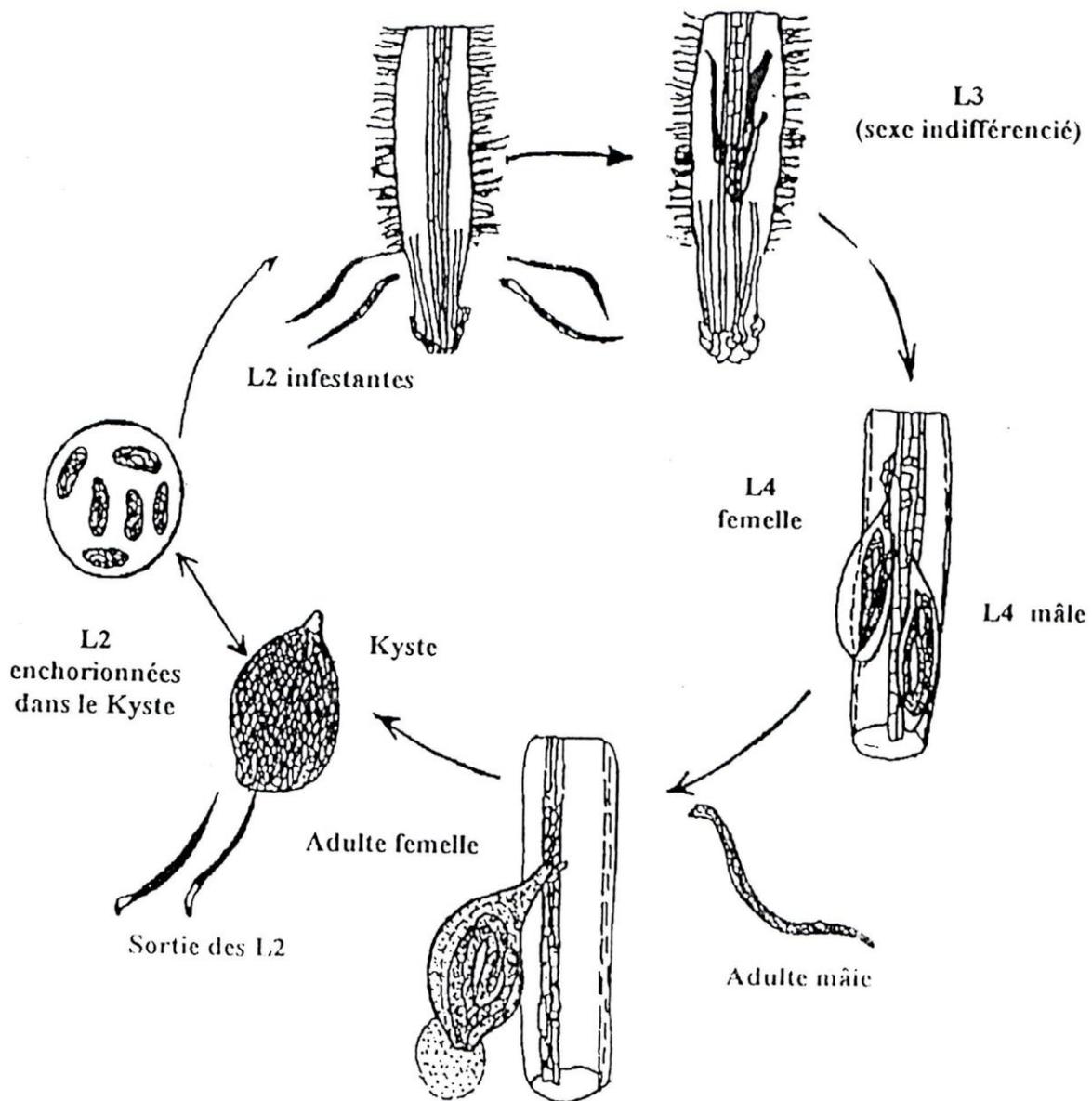


Fig. 8-Cycle de développement d'*H. avenae* (RIVOAL, 1987).

➤ **Les pathotypes**

Des populations d'*H. avenae* peuvent présenter des différences de virulence vis à vis d'une même plante hôte. Par exemple, en Europe du nord la majorité des populations se reproduisent bien sur avoine tandis qu'en Afrique du nord et dans une partie de l'Asie l'avoine n'est pas un bon hôte pour la majorité des populations (BENTLEY et *al.*, 2010). Les pathotypes d'*H. avenae* sont donc définis par leur possibilité de se multiplier ou non sur les plantes d'une gamme d'hôtes constituée d'orge, d'avoine et de blé (Tab. 1).

Tableau 1 : Groupes de pathotypes définis par le teste International (ANDERSEN et ANDERSEN, 1982), révisé par RIVOAL et COOK (1993) et IREHOLM et AL. (1997)

Espèces	Ha 1 GROUPE							Ha 2 GROUPE	Ha 3 GROUPE		
	Ha 11	Ha 21	Ha 31	Ha 41	Ha 51	Ha 61	Ha 71	Ha 12	Ha 13	Ha 23	Ha 33
Cultivars (R-gène)											
Orges											
1. Varde	+	+	..	+	+	+	-	+	+
2. Emir +EX Emir	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+
3. Ortolan Ha 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. Morocco Ha 3+	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	+
Siri Ha 2+ex Herta	-	-	-	..	+	+	+	-
KVL 191 Ha 2.+	-	-	..	-	-	-	+	+	+
Bajo Aragon	+	+	-	..	-	..	-	+	+	..	-
Herta ex Herta	-	-	..	-	-	-	-	+	+
Martin 403 2 dom	(-)	+	..	-	(+)	+	+	(-)	+
Dalmatische	+	-	..	(-)	..
La Estanzuela	-	-	-	..	-	+
Harlan 43											
Avoines									+	+	+
1. Nidar	+	-	..	(+)	..	+	-	+	+	+	+
2. Sol II gènes mineurs	+	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+
3. Pusa Hybrid BSI 1 dom	-	-	..	-	-	-	-	-	+	-	+
4. A. Sterilis 1376 1 à 3 dom	-	-	..	-	-	-	-	-	-	-	-
Silva >1gène	(-)	-	..	(-)	-	-	(-)	(-)	+
IGV. H 72-646	-	-	..	-	-	-	+	+	+
Blé											
1. Capa	+	+	..	+	..	+	+	+	+	+	+
2. AUS 10894 <i>Cen1</i> +	-	-	..	-	+	-	(-)	+	+
3. Loros <i>Cen1</i> +	-	-	..	-	..	(-)	-	-	(-)	+	+
4. Pasthias	+	+	+	+	-
Iskamish K-2-light	+	-	..	(-)	..	+	+	+	+

1) gènes de résistance : dom, dominant; +, gène additif.

2) Réactions des plantes : +, hôte; -, résistance (<5% de femelles sur témoin hôte) : () intermédiaire; ..pas d'observation

3) Cen 1 = Cre 1.

6- Importance économique

Les nématodes *H. avenae* occasionnent des pertes de rendement considérables sur les grandes cultures à travers le monde. Etant largement distribués ils affectent la production céréalière de nombreux pays (EBRAHIMI et *al.*, 2009). Leur capacité à résister aux conditions environnementales grâce à leur kyste protecteur favorise leur dispersion et les rend d'autant plus dangereux (BERT et *al.*, 2009).

Selon RITTER (1981), les dommages causés par les nématodes varient d'une région à l'autre. Ils peuvent être considérables, de l'ordre de 50 % de la récolte dans les cas graves ou de quelques pour cent à l'échelle d'un pays entier. A titre d'exemple, des pertes allant jusqu'à 47,2 % pour la variété de blé *Kalyan sona* dans les sols sablonneux du Rajasthan sont comparables à des estimations de pertes en Australie mais sont plus élevées que celles signalées au Canada et dans les pays européens (HANDA et *al.*, 1986). Les attaques de nématodes portent un coût important pour les pays concernés (Tab. 2). Ces coûts sont imputables aux :

- baisses de rendement
- détérioration des grains ce qui les rend impropres à la commercialisation
- augmentations de l'irrigation pour pallier les perturbations subies par le système racinaire des plantes parasitées
- interdictions d'exportation
- traitements nématicides très coûteux

Tab. 2-Pertes dues à *H. avenae* dans quelques pays du monde.

Pays	Pertes en pourcentage	Pertes en monnaie locale	Sources
Arabie Saoudite	40-92%	-	(AL DERFASI, 1999)
Australie	-	40-80 M\$/an	(ROVIRA et SIMON, 1981)
Chine	30-70%		(LIU et al., 2009)
		1,9 Milliard RMB	(CHEN et al., 2009)
Etats unis	5-50%	3,4 M\$	(SMILEY, 2009)
Inde (Rajasthan)	47%		(SHARMA et al., 2009)
		3,89 M \$US/an	(SHARMA et al., 2007)
Israel	50%	-	(MOR et al., 1992)
Italie	30%	548 M lires italiens	(BRANDONISIO et al., 1993)
Norvege	5-50%		(HAMMERAAS et al., 2003)
		3-5 M euros/an	(ANDERSSON et al., 2009)
Nouvelle zélande	9%	-	(GRANDISON, 1982)
Pakistan	15-20%	-	(NICOL J., 2002)
Slovaquie	10%	-	(RENCO, 2005).
Tunisie	26-96%	-	(B'CHIR et al., 2009)

En Algérie, les céréales et leurs dérivés constituent l'aliment de base des algériens. Elles fournissent plus de 60% de l'apport calorifique et 75 à 80% de l'apport protéique de la ration alimentaire (DJERMOUN, 2009). La consommation des produits céréaliers est d'environ 205 kg /ha/an (CHEHAT, 2007). Une partie importante de ce ratio est assurée par la production locale et bien qu'elle soit très affectée par le nématode à kyste des céréales, aucune recherche à ce jour n'a encore mis en évidence l'importance de son impacte sur le rendement.

7- Symptômes et dégâts

Les symptômes dus à *H. avenae* s'observent tant sur la partie aérienne que sur le système racinaire (Association de coordination agricole, 1971). En effet, la pénétration et migration des nématodes dans les racines hôtes enclenche un processus physiologique induit par les modifications histologiques au niveau des points d'infestation qui par conséquent donnent lieu à l'apparition de symptômes sur la partie aérienne.

7.1- Stratégie parasitaire et histopathologie

La stratégie parasitaire des nématodes se résume en trois étapes clé, la pénétration et la migration, les sécrétions salivaires et l'élaboration du site nourricier.

Les larves infestantes de deuxième stade envahissent les racines. La pénétration est mécanique, elle se fait à l'aide du stylet. Après s'être déplacées dans le cortex, les larves s'immobilisent à proximité du cylindre central. Elles perforent une cellule qui va subir de nombreuses transformations, épaissement des parois latérales, destruction de la paroi distale. On obtient alors une cellule géante multinucléée à cytoplasme dense et à vacuole réduite (CROSNIER et *al.*, 1996). Ces cellules appelées sycitia agissent comme des puits métaboliques et sont formés dans le cortex, l'endoderme, le péricycle vasculaire et le parenchyme des tissus de l'hôte (CASTILLO et *al.*, 2004). Les nécroses qui entourent les syncytia représentent des cellules endodermales aux parois effondrées (FISHER et WILLIAMS, 1993). L'apparition des sycitia est due aux sécrétions salivaires des nématodes injectées dans les racines (AL-BANNA et *al.*, 2009). Ces sécrétions contiennent des enzymes de dégradation des parois des cellules végétales (ALLEN et *al.*, 2002).

Ces modifications cytologique conduisent à la modification de plusieurs aspects physiologiques tels que la photosynthèse, l'absorption minérale, la transpiration et la proportion d'eau dans les racines et les feuilles (ABDUL-RAZIG et *al.*, 1998). En effet, les vaisseaux sont affectés et la nutrition peut être considérablement perturbée (RITTER, 1979). A titre d'exemple, (PRICE et SANDERSON, 1984) démontrent que l'absorption du calcium est onze fois plus élevée chez les plantes infestées. Les nématodes provoquent une rupture importante de l'endoderme, leur établissement maintient la voie apoplastique de pénétration du calcium dans les régions où elle est normalement empêchée par le développement de l'endoderme. (CLARKSON et *al.*, 1982) signalent également une augmentation du taux d'absorption du potassium et du phosphore, cette augmentation est une manière de compenser les effets de la réduction et de l'altération de la croissance des racines.

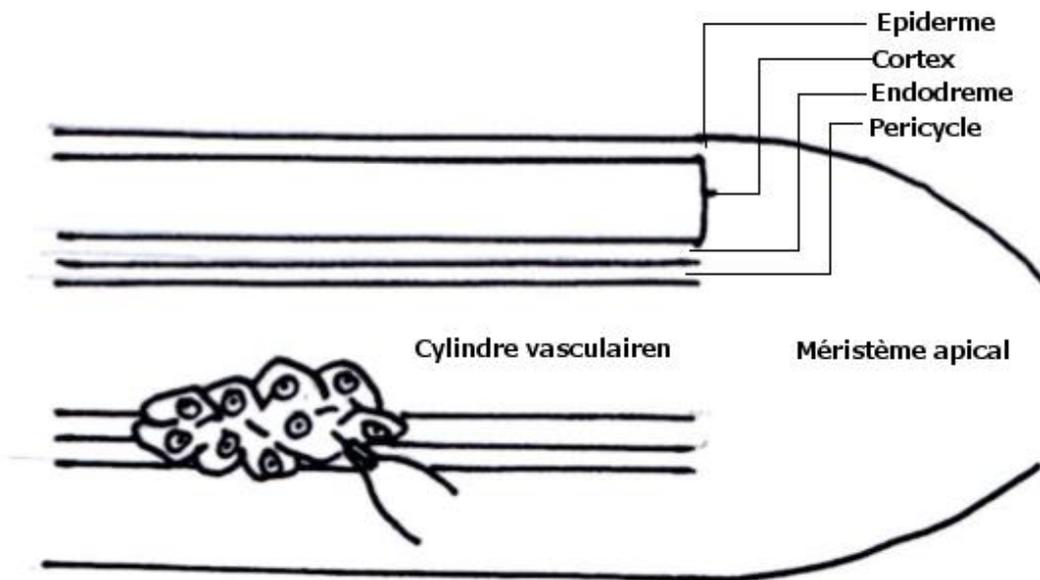


Fig. 9- Mode de parasitisme du nématode *H.avenae* d'après ATKINSON *et al.* (1994).

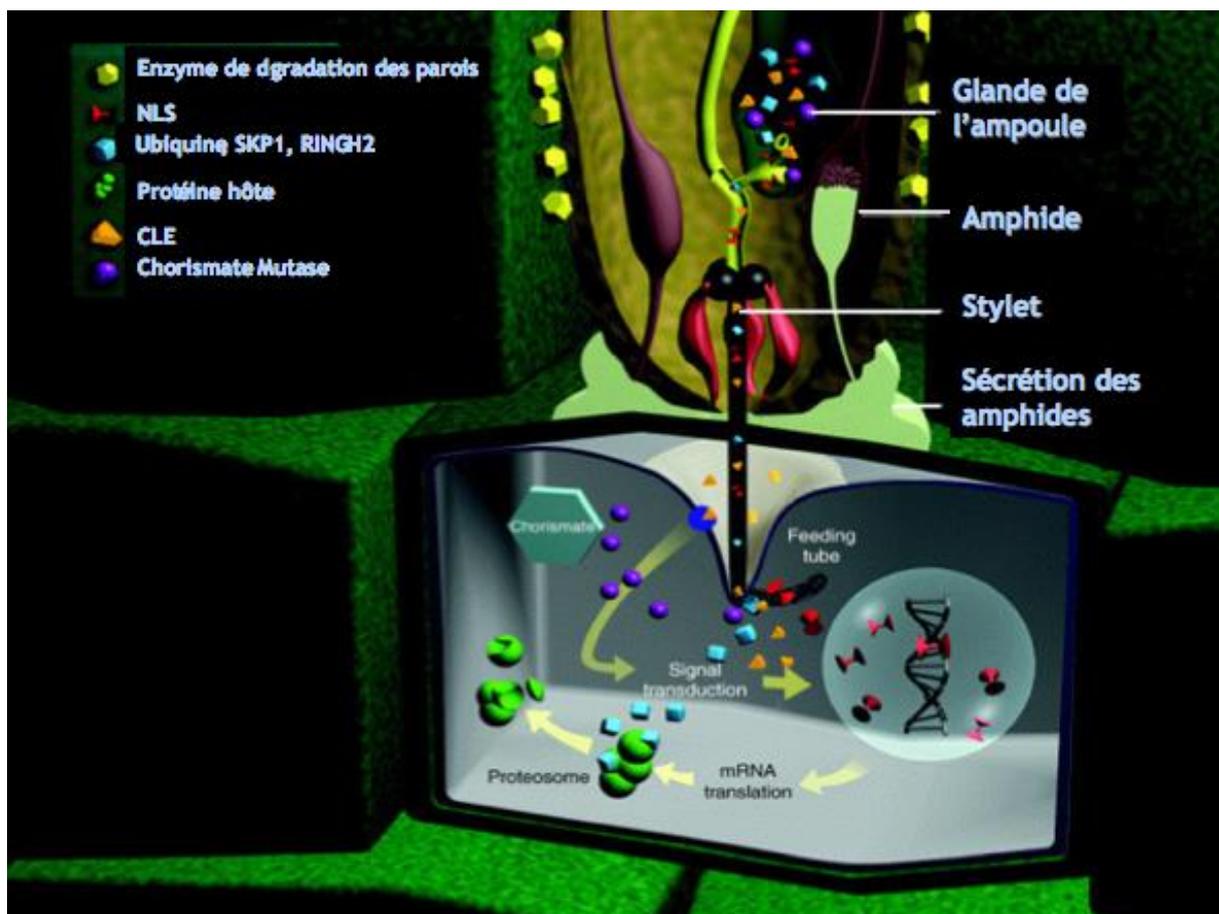


Fig. 10- Modèle d'interaction potentielle entre les produits de sécrétions des nématodes et la cellule végétale (BAUM *et al.*, 2004).

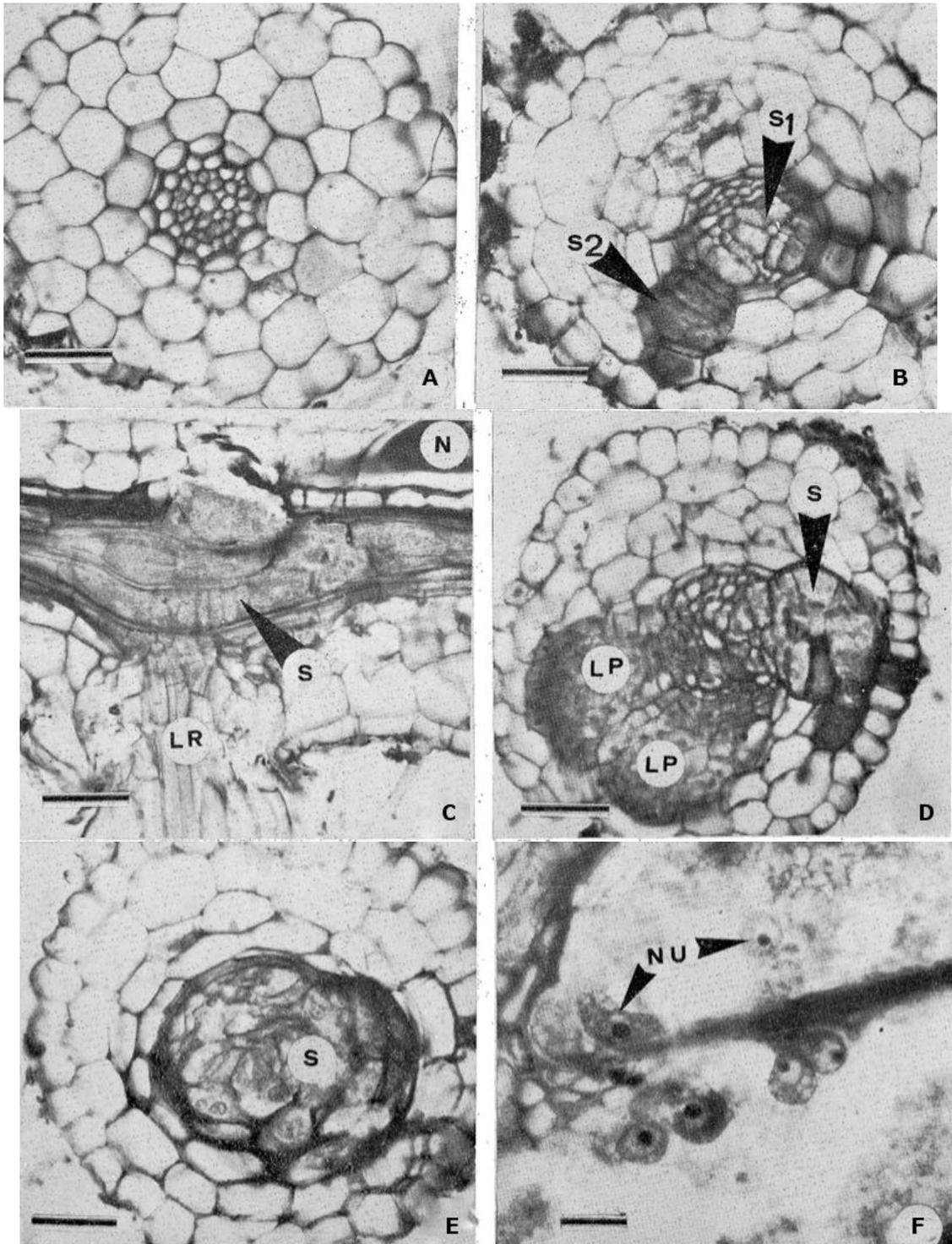


Fig. 11-Comparaison entre racines saines et infestées par *H. avenae* sur avoine. A : coupe transversale d'une racine non infestée. B : coupe transversale d'une racine infestée montrant un syncytium au niveau du cortex (S2) et de l'apex (S1). C : coupe longitudinale montrant un syncytium (S) induit par un nématode (N) adjacent à une racine latérale (LR). D : coupe transversale montrant un large syncytium cortical qui s'étend dans la stèle avec prolifération de racines latérales (LP). E : Large syncytium (S) au niveau de la stèle. F : Cellules syncytiales remplies de cytoplasme granuleux et de nombreux noyaux hypertrophiés (NU). Echelle : 50um (fig. A à E), 15um (fig. F). (VOVLAS, 1985).

7.2- Dégâts apparents

Selon DOUSSINAULT et *al.* (1990), les symptômes d'une infestation par *H. avenae* sont similaires à ceux du stress hydrique. Les effets sur les parties aériennes sont des symptômes typiques d'une carence en azote et d'autres minéraux.

Le symptôme le plus caractéristique d'une attaque de ce nématode est la fixation des femelles au niveau des racines qui se présentent sous forme de nœuds (MOKABLI, 2002) tels de petites boules blanches (CARVER, 2009).

Chez des variétés sensibles de Triticinées on remarque une forte inhibition de l'élongation des racines, l'importance de cette inhibition est liée au nombre de larves par racine ainsi qu'à la production de nouvelles petites racines à partir du point d'infestation (DAVY DEVIRVILLE et PERSON-DEDRYVER, 1989). De cette inhibition résulte des touffes de radicelles par stimulation des divisions des cellules du péricycle donnant lieu à des racines latérales (GRYMASZEWSKA et GOLINOWSKI, 1991).

Du fait de la modification du système racinaire, la plante hôte est soumise à un manque d'irrigation et de nutriments qui induit à une modification de la partie aérienne. Ces symptômes sont observés plus particulièrement dans les sols sablonneux et moins fertiles (WALLWORK, 2000). Ainsi les plantes attaquées par les nématodes flétrissent facilement en temps sec (RENCO, 2005) et les champs de céréales sont ornés de larges plages circulaires jaunâtres à végétation très faible (RIVOAL et COOK, 1993).

Les symptômes sont visibles 1 à 3 mois après le semis selon la période (CARVER, 2009). Les dommages varient selon les conditions climatiques ainsi que le type de sol, la plante hôte, les pathotypes, les écotypes et leur virulence (ABDUL-RAZIG et *al.*, 1998).

En plus des symptômes et dégâts cités s'ajoute l'infestation des racines par les champignons. En effet les nématodes contribuent à la dispersion des spores dont l'agressivité est parfois telle que les lésions occasionnées par les nématodes sont superflues, mais non moins inopérantes (DALMASSO et *al.* 1971). De plus, une association peut se développer entre les nématodes et certains pathogènes, les nématodes font partie dans ce cas d'un complexe étiologique qui résulte de la combinaison des deux potentiels pathogènes qui s'avèrent beaucoup plus élevé que celui du nématode seul (AGRIOS, 2005).

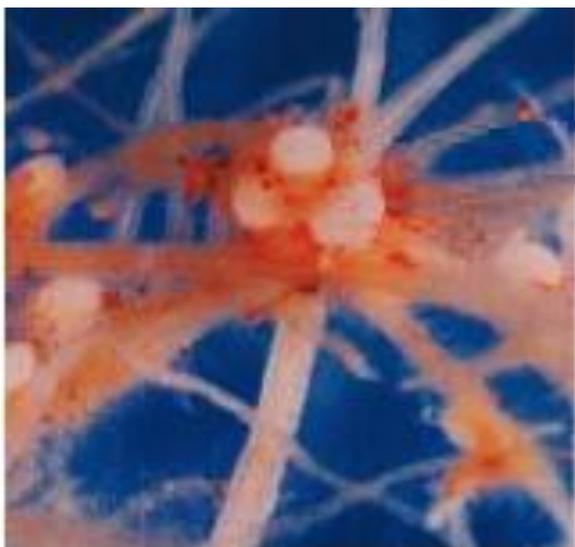


Fig. 12- Femelles blanches d'*H. avenae* responsables de l'aspect perlé des racines de blé (CLAUDIUS-COLE et al., 2010).



Fig.13- Chloroses en taches et défauts de croissance des feuilles basses de blé en présence d'*H. avenae* (CLAUDIUS-COLE et al., 2010).

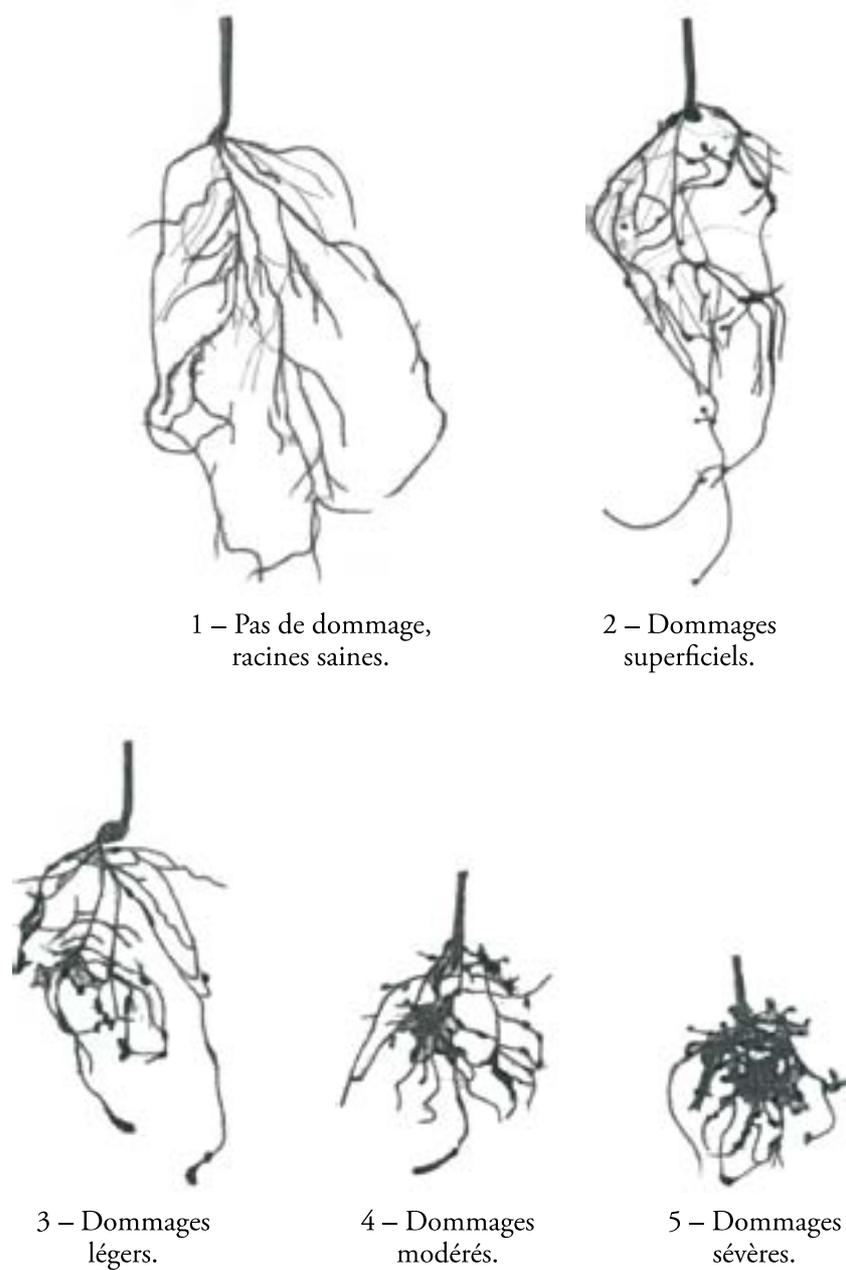


Fig. 14-Table d'indexation pour les nématodes à kyste sur blé. ROVIRA dans BROWN et KERRY (1987).

8- Méthode de lutte

Actuellement la lutte contre *H. avenae* se fait essentiellement par l'utilisation de produits chimiques, néanmoins la vulgarisation de la récente prise de conscience concernant la protection de l'environnement tend à sensibiliser les agriculteurs qui se voient proposer des méthodes de lutte alternatives.

Ainsi du fait de la toxicité des nématicides envers l'écosystème, les utilisateurs et les consommateurs, et du manque d'efficacité de l'utilisation seule des méthodes de lutte physiques, culturales et biologiques, le meilleur moyen de maintenir les populations de nématodes en dessous du seuil de nuisibilité est d'avoir recours à une lutte intégrée, qui satisferait à la fois les exigences économiques, écologiques et écotoxicologiques, et dont les points forts sont des rotations suffisamment longues et comprenant des plantes non hôtes et des variétés résistantes qui sont actuellement les principaux axes de recherche et semblent être un moyen de contrôle prometteur.

8.1- Méthodes préventives

La prophylaxie est indispensable pour lutter contre les nématodes, elle consiste à éviter les éventuelles contaminations des parcelles par des outils mal nettoyés ou par des plants infestés. Elles comportent un nettoyage minutieux des outils et la mise en place de semences et de plants assurément sains.

8. 2- Méthodes culturales

Les méthodes culturales sont des techniques de travail du sol réalisées à l'aide d'instruments aratoires et destinées à créer dans le sol un milieu favorable au développement des plantes cultivées.

8.2.1-Le désherbage

IL est essentiel pour lutter contre les nématodes. Les graminées sauvages et autres mauvaises herbes peuvent être des hôtes potentiels et des foyers de multiplication du nématode.

8.2.2- Le semis précoce

Il est préconisé dans le but de rendre les céréales plus tolérantes aux attaques d'*H. avenae*. En Australie, les cultures précoces semées en fin d'automne sont moins endommagées que celles semées plus tard (MEAGHER, 1982).

8.2.3- Le semis direct

Le sol n'est pas labouré et les résidus de culture sont laissés à la surface. Un lit de semence étroit est préparé avec le semoir. Par cette technique les graines de mauvaises herbes enfouies ne sont pas exposées à la surface comme c'est le cas avec les travaux du sol. La banque de graines de mauvaises herbes diminue (MRABET, 2001), diminuant ainsi la proportion de plantes hôtes pour les nématodes. En France il représente plus de 50% des blés en Midi-Pyrénées (ALARMIC et al. 2008). ROVIRA (2007) rapporte une diminution du taux d'infestation des racines par cette technique.

8.2.4- Les cultures pièges :

Elles consistent en l'utilisation d'une culture intercalaire, de façon à ce qu'elle soit détruite suffisamment tôt, les œufs éclosent, les larves se développent mais la culture est arrachée avant la reproduction. Il est préconisé de mettre en place avant la culture de céréales, une culture à cycle très court qui coïnciderait avec le cycle du nématode, les kystes seraient ainsi fixés sur les racines au moment de l'arrachage.

8.2.5- Le Labour d'été

Aux températures les plus élevées le sol est aéré et les kystes nouvellement formés se retrouvent au niveau de la couche supérieure du sol (0 – 20 cm). Le nématode est alors très sensible à la dessiccation et son contenu se désintègre (CHAMOLA et al., 2009). Si les kystes sont exposés à des conditions favorables à l'éclosion, la dessiccation ultérieure réduit la viabilité des œufs et l'apparition des larves (MEAGHER, 1981).

8.2.6- Les biopesticides

Les biopesticides sont des extraits de plantes ayant des propriétés insecticides. SCHMELZER (2008) rapporte une diminution de l'éclosion d'*H. avenae* par l'utilisation d'un extrait de plante entière d'*Euphorbia hirta*.

8.2.7- La jachère

Une période de jachère est un bon système de réduction des populations de nématodes (BROWN et MEAGHER, 1974). En l'absence d'hôtes les nématodes ne peuvent se développer. De plus, une jachère verte permet de rétablir rapidement la fertilité du sol (VAN SCHOLL, 2005). A cet effet, le control des nématodes nécessite un respect de conditions de fertilisation satisfaisantes (Association de coordination technique agricole, 1986)

8.2.8- La rotation

La rotation est incontestablement la méthode culturale la plus efficace. Le but est d'alterner des cultures sensibles à des cultures résistantes. Pendant que le terrain est occupé par celles-ci la population de nématodes se réduit du fait que le taux de reproduction est en dessous de la mortalité due au manque de nourriture (TAYLOR, 1968). Ainsi, après plusieurs cycles, le nombre de nématodes va baisser au point qu'une culture sensible se développera normalement. THOMAS (2006), présente la rotation comme étant un élément important de gestion d'une grande partie des risques et un moyen efficace pour réduire les coûts de production. Selon le même auteur, le colza est une plante intéressante à positionner dans une rotation. Son effet bénéfique ne s'explique pas seulement par la coupure apportée par la culture, mais aussi et surtout par l'assainissement qu'apportent les isothionates (produits issus de la décomposition des glucosinolates) contenus dans toutes les crucifères sur les maladies et certains ravageurs. Cet impact dit de « biofumigation » étudié par des chercheurs australiens pourrait être très efficace sur le développement de populations de nématodes dont *H. avenae*.

Les deux grandes cultures de rotation maïs/céréales maintiennent les populations à un niveau bas (STOYANOV, 1982). Des rotations qui comprennent également des périodes de culture de jachères ou de plantes non-hôte réduisent les niveaux de populations et améliorent les rendements. (BROWN, 1982). Le colza, le féverole et la betterave peuvent être proposé comme étant de très mauvais hôte ce qui fait très fortement chuter le potentiel infectieux des nématodes dans le sol (RAYNAL, 1989).

8.3- Méthodes physiques

8.3.1- L'inondation

Les racines sont inondées et les nématodes meurent par asphyxie. Selon (CROSNIER et *al.*, 1996), pour être efficace, l'inondation doit être maintenue une période minimale de trois mois.

8.3.2- La solarisation

Cette méthode a été efficacement utilisée dans la lutte contre les nématodes (AL-REHIAYANI et BELAL, 2009 ; CHELLEMI et *al.*, 1997 ; MCGOVERN et MCSORLEY, 2000). Elle consiste à couvrir le sol d'un film plastique transparent pendant 2 à 6 semaines durant les périodes de forte chaleur. L'augmentation de la température du sol associée à l'humidité réduira fortement la population du nématode. SHARMA et NENE (1990) réussissent à repousser complètement les nématodes d'une culture de blé à 90 cm des rebords des « mulcher pots » (DEVIKA et NAIK, 2008).

8.4- Méthodes chimiques :

Aucun traitement n'est recommandé spécifiquement contre le nématode *H. avenae* (Norme OEPP, 1994). Le nématicide idéal devrait être efficace pour le ravageur visé, doux pour les auxiliaires et les organismes non ciblés et faiblement résiduel pour ne pas nuire aux auxiliaires (HALE, 2000).

Cependant, aucun nématicide ne répond encore à ces critères. Ceux utilisés se répartissent en trois groupes : les organo-phosphorés, les carbamates, qui sont aussi des insecticides, et les fumigants qui ont des propriétés nématicides, mais aussi bactéricides, fongicides et herbicides. RIVOAL et COOK (1993) proposent l'utilisation du dibromide d'éthylène, du carbofurant et du dazomet par voie de fumigation. En Chine, l'application de l'aldicarbe (carbamate) a augmenté le rendement de 10 à 40% (CHEN et *al.*, 2009) et de 25% dans l'ouest des états unis (EASLEY et *al.*, 2005).

➤ Quelques nématicides appliqués à *H. avenae* à titre expérimental :

Des sols artificiellement ou naturellement infestés par *H. avenae* ont été traités avec du clandosan à 0,4% préparés à partir de la chitine de crustacés, le nombre de kyste a été réduite de 51% (CHET et *al.*, 1989).

Les nématicides temik, lannate, nemafos, nemacur, mocap à une dose de 9 kg ma ha-1 et le vydate à 2 kg ma ha-1 ont été testés dans des champs de blé infestés par *H. avenae* en Australie de 1969 à 1971. Tous ces traitements ont considérablement réduit la population du nématode dans chacune des trois saisons, aussi les parcelles traitées au lannate ne présente pas de résidus (BROWN, 1972).

Trois produits chimiques appliqués avec la semence, le counter (terbufos) granulé, le vydate (oxamyl) et le nemadi (dibromure d'éthylène) ont réduit les dommages d'*H. avenae* et ont augmenté le rendement (ROVIRA, 1982).

Le bromure de méthyle, la chloropicrine, le DD mélange, ainsi que le dazomet ont tous diminué la population du nématode. La chloropicrine étant le plus efficace (SALT et WILLIAMS T. D., 2008).

KERRY et CRUMB (1998) obtiennent des résultats satisfaisants en utilisant du formol.

8.5- Biologique

La lutte biologique a pour principe d'utiliser les antagonistes ou les prédateurs naturels des populations de ravageurs ou de parasites soit en favorisant leur développement, soit en réalisant des introductions contrôlées dans les milieux qui n'hébergent pas ces auxiliaires (COLENO, 1989). Les auxiliaires utilisées sont des champignons et des bactéries.

8.5.1- Les champignons

Ces micro-organismes luttent contre les nématodes par action de prédation ou de parasitisme.

8.5.1.1- Champignons prédateurs

Les champignons prédateurs attaquent leurs proies à l'aide de pièges engluants sous forme de ventouses ou mécaniques sous forme de crochets étrangleurs (CAYROL, 1971).

8.5.1.1 –Champignons parasites

Plusieurs champignons parasitent *H.avenae*. Ils infestent les kystes ou les œufs. (Tab. 3).

8.5.2- Les bactéries

Certaines bactéries infestent les larves de deuxième stade et sont utilisées comme moyen de lutte.

Tab. 3- Principales auxiliaires utilisées dans la lutte contre *H. avenae*.

Espèces	Kyste	Larve	Oeuf	Références
Champignons				
<i>Verticillium chlamyosporium</i>			X	DACKMAN et NORDBRING-HERTZ (1985)
<i>Paecilomyces lilacinus</i>			X	KHAN et WILLIAMS (1998)
<i>Nematophthora gynophila</i>	X			(KERRY, 1980)
<i>Lagenidiaceous fungus</i>	X			(KERRY, 1980)
<i>Catenaria auxiliaris</i>			X	(GOWEN et al., 2009)
<i>Pachonia clamydosporia</i>			X	(GOWEN et al., 2009)
<i>Verticillium chlamyosporum</i>			X	ANDERSSON et KERRY (1983)
				(CORBAZ, 1990)
<i>Fusarium oxysporum</i>	X			(CRUMB, 1987)
<i>Cylindrocarpon destructans</i>	X			(CRUMB, 1987)
Bactéries				
<i>Pasteuria sp.</i>		X		(DAVIES et al., 1990)
<i>Pasteuria penetrans</i>		X		(CAYROL, 1993)
<i>Rhizobium radiobacter</i>		X	X	(KALLEL et al., 2011)

8.6- Sélection et variétés résistantes

La sélection permet d'introduire des gènes de résistances dans des variétés cultivées (LOMBION, 2007). Une plante hôte peut supprimer (résistance) ou permettre (susceptibilité) le développement des nématodes et leur reproduction. Elle peut souffrir de peu de blessures (tolérance), même si elle est fortement infectée par les nématodes (DE WAEL et SPEIJER, 2000).

8.6.1-Résistance naturelle

Deux modes de résistance ont été observés en fonction du délais d'action des nématodes après leur attaque sur les racines (DANTEC et *al.*, 2001). Les réactions de résistance sont souvent des réactions d'hypersensibilité pendant l'induction du site nourricier (KUMAR et *al.*, 2006). Les juvéniles de second stade n'évoluent alors pas jusqu'au stade adulte. Un deuxième type de réaction rencontré chez les plantes provoque la masculinisation des nématodes adultes. C'est notamment le cas du gène Hero A qui initie tardivement la réponse à une infestation par le nématode, induisant une atrophie ou un développement anormal du site nourricier provoquant la formation de mâles (la détermination du sexe chez les nématodes à kyste est épigénétique) (BLANCHARD, 2006).

Avoir recours à la résistance nécessite certaines exigences, l'identification des écotypes est indispensable, les cultivars ayant un spectre de résistance limité (SMILEY et YAN, 2009). De plus, pour pouvoir être utilisées par les agriculteurs, les performances des variétés résistantes doivent égaler celles des variétés sensibles les plus couramment cultivées. Ces variétés devront être intégrées dans un système de rotation établi en fonction de leur influence sur les populations du parasite et de celle d'autres facteurs favorables ou non au développement du nématode (RIVOAL, 1975), ou intégrées dans une rotation en tant que « plante de coupure » (BRUN et *al.*, 2012).

L'utilisation de cultivars résistants et tolérants représente la meilleure option économiquement et écologiquement parlant. Dans certaines expériences, les pertes de rendement dues à *H. avenae* sur des variétés résistantes sont identiques à celles mesurées par l'utilisation de nématicides (BEANE et WILLIAMS, 1982). En Norvège, un système de control basé sur une soigneuse et précise identification des pathotypes et un choix judicieux de cultivars adéquats a permis un gain de 800.000 euros/an (ANDERSSON et *al.*, 2009). Aux états unis, les nématicides ne sont pas appliqués sur culture de blé et la lutte biologique seule n'a pas donné de résultats satisfaisants, néanmoins le control de la population d'*H. avenae* a été conduit avec succès par l'utilisation de variétés résistantes dotées du gène Cre 1 (EASLEY et *al.*, 2007).

➤ Les ressources génétiques :

De nombreuses sources de résistances ont été découvertes sur orge, avoine et blé. RIVOAL et COOK (1993) dressent une liste des cultivars les plus importants (Tab. 4).

Il existe au moins 9 gènes de résistance dominants à travers le monde connus sous l'appellation des « Cre gene family » (SHARMA et *al.*, 2009). Les plus connus sont rapportés dans le tableau (Tab. 5). Ces gènes de résistances sont incorporés aux variétés de blé à partir de sources apparentées. Cre1 est le gène qui présente le moins de spécificité, il est résistant à la majorité des pathotypes européen ainsi qu'au pathotype australien (ABDEL-MAWGOOD et *al.*, 2009). C'est le gène à avoir fait l'objet de plus de croisement et dont les variétés sélectionnées sont les plus commercialisées (EASTWOOD et *al.*, 2009).

Tab. 4- Principales sources de résistance.

Céréales (espèces)	Cultivars	Origines	Informations génétiques ^a	Remarques ^b	Utilisations
Avoine <i>A. sterilis</i> <i>A. sativa</i>	1376 Panema Nelson	? UK Suède	1,2 ou 3 dom 1 dom, de 1376 1 dom, de C.I. 3444, allèle de Panema	R, partout S, Australie -	UK, Belgique, Australie UK Europe (Nord-ouest) France
<i>A. byzantina</i>	N.Z. Cape Mortgage Lifter TAMO 301, 302 N° 11527	Nouvelle Zélande Australie Texas, USA ?	2 dom ? 2, rec. ? ?	S, UK - - R, Sibérie	Australie - Australie -
Orge	Beaucoup de cultivars p. ex. Emir Drost Ortolan ex. L.P.191 ex. Morocco L.P.191, Morocco Athenais Nile, C.I. 3576 C.I. 8147 Martin	Europe (Nord) Suède Allemagne ? Afrique (Nord) Afrique (Nord) Grèce Egypte Turquie Algérie	? 1 dom (<i>Rha1</i>) 1 ou 2 dom, allèle de <i>Rha1</i> 1 dom, (<i>Rha2</i>) non lié à <i>Rha1</i> 1, dom, (<i>Rha3</i>) allèle de <i>Rha2</i> 1-2 dom 1 dom, pas <i>Rha1</i> 1 dom, similaire à <i>Rha2</i> 1 dom, pas <i>Rha1</i> 2 dom, ? similaire à <i>Rha3</i>	R, à quelques pathotypes Dans beaucoup de cultivars Beaucoup de variétés cultivées pR, Australie - - -	- Europe (Nord) Europe (Nord) Australie - Australie Australie Australie
Blé <i>T. aestivum</i>	Loros	?	1 dom, Cen-1 sur le chromosomes 2B	S, Inde	Europe (Nord-Ouest)
<i>T. durum</i>	AUS10894 Katyil Festiguay Psathias 7654, 7655 Sansome, Khapli	? Australie Australie ? ?	Ccn-1 Ccn-1 Ccn-1 ?	S, Inde S, Inde PR dans le cultivar Molineux S, à quelques pathotypes pR	Australie Australie Australie - France
<i>T. ventricosum</i> <i>T. variable</i>		? ?	sur le chromosomes 6M* sur le chromosomes 3U ou 3S'	- -	France France
Triticale	T701 Driva Salvo	Australie Australie Pologne	1 dom, chromosome 6R ? ?	Utilisé aussi dans la culture du blé = Ningadhu dans le cultivar Tabara	Australie Australie UK

^a dom, rec, gène dominant ou récessif; ^bR, résistant; pR, partiellement résistant; S, hôte.

Tab. 5- Principaux gènes de résistance utilisés dans les programmes de sélection.

Gènes	Source originelle	Références
Cre1	<i>Triticum aestivum</i>	FISHER et al., 1994
Cre2	<i>Aegilops ventricosa</i>	AGUADED et al., 1993
Cre3	<i>Aegilops tauschii</i>	APPELS et al., 1994
Cre4	<i>Aegilops tauschii</i>	APPELS et al., 1991
Cre5	<i>Aegilops ventricosa</i>	ABELARD et al., 2001
Cre6	<i>Aegilops ventricosa</i>	DELIBES et al., 2001
Cre7	<i>Aegilops triuncialis</i>	ANDRES et al., 1998
Cre8	<i>Triticum aestivum</i>	BOGACKI et al., 2003

8.6.2- Résistance artificielle

Les limites de l'utilisation des variétés résistantes et le manque de gènes de résistance efficaces vis-à-vis de plusieurs espèces a conduit les dernières recherches à se focaliser sur une résistance dite "artificielle" moins spécifique et basée sur les connaissances moléculaires en matière d'interaction entre le nématode et sa plante hôte. A ce jour aucun prototype de plantes génétiquement modifiées capables d'inhiber la mise en place du parasitisme par les nématodes n'a encore été créé, les recherches s'orientent sur trois axes stratégiques :

- Cibler les sécrétions salivaires du nématode, dans le but de faire produire à la plante des anticorps spécifiquement dirigés contre une protéine impliquée dans le pouvoir pathogène du parasite (BAUM et al., 1996)
- Cibler directement le gène du nématode responsable de son interaction avec la plante, technique appelée le « silencing ». Il s'agit d'inhiber l'expression d'un gène (BAKHETIA et al., 2005). Le pompage d'une solution contenant des ARN double brin utilisés comme

interférents sont ingérés par le nématode induisant le phénomène de silencing (BLANCHARD, 2007)

- Cibler indirectement le nématode par la perturbation des sites nourriciers indispensables au développement des femelles par l'introduction de gènes à action nématicides (ATKINSON et *al.*, 1994)

8.6.3- Limites des variétés résistantes :

L'utilisation des variétés résistantes est une nouvelle approche qui ne s'est pas encore perfectionnée, cette méthode de lutte est la meilleure alternative à l'utilisation des nématicides mais elle n'a pas encore atteint tous ses objectifs.

L'introduction d'un nouveau végétal hôte différentiel peut sélectionner et multiplier un biotype agressif ou en éliminer un qui ne l'est pas et changer fondamentalement la composition de la population primitive (RITTER, 1971).

Mais l'obstacle majeur de l'utilisation des variétés résistantes est la nécessité de la parfaite connaissance des espèces de nématodes (BOLAT et *al.*, 2009), étant donné la spécificité des cultivars et la variabilité des pathotypes (SHARMA et *al.*, 2009). En effet, la résistance varie selon les espèces, les pathotypes et les biotypes (GOZEL et *al.*, 2009). Par conséquent une résistance durable implique impérativement de limiter l'invasion des biotypes (MCKAY et RILEY, 2009).

A titre d'exemple, le problème de spécificité s'est posé pour le cas de deux variétés de blé, Silvestar et Milan résistantes à *Heterodera avenae* mais pas à *Heterodera filipjevi* dans des champs où les deux espèces coexistaient (Nicol et *al.*, 2009) dans ce genre de cas un autre gène devra être introduit (SMILEY et YAN, 2009).

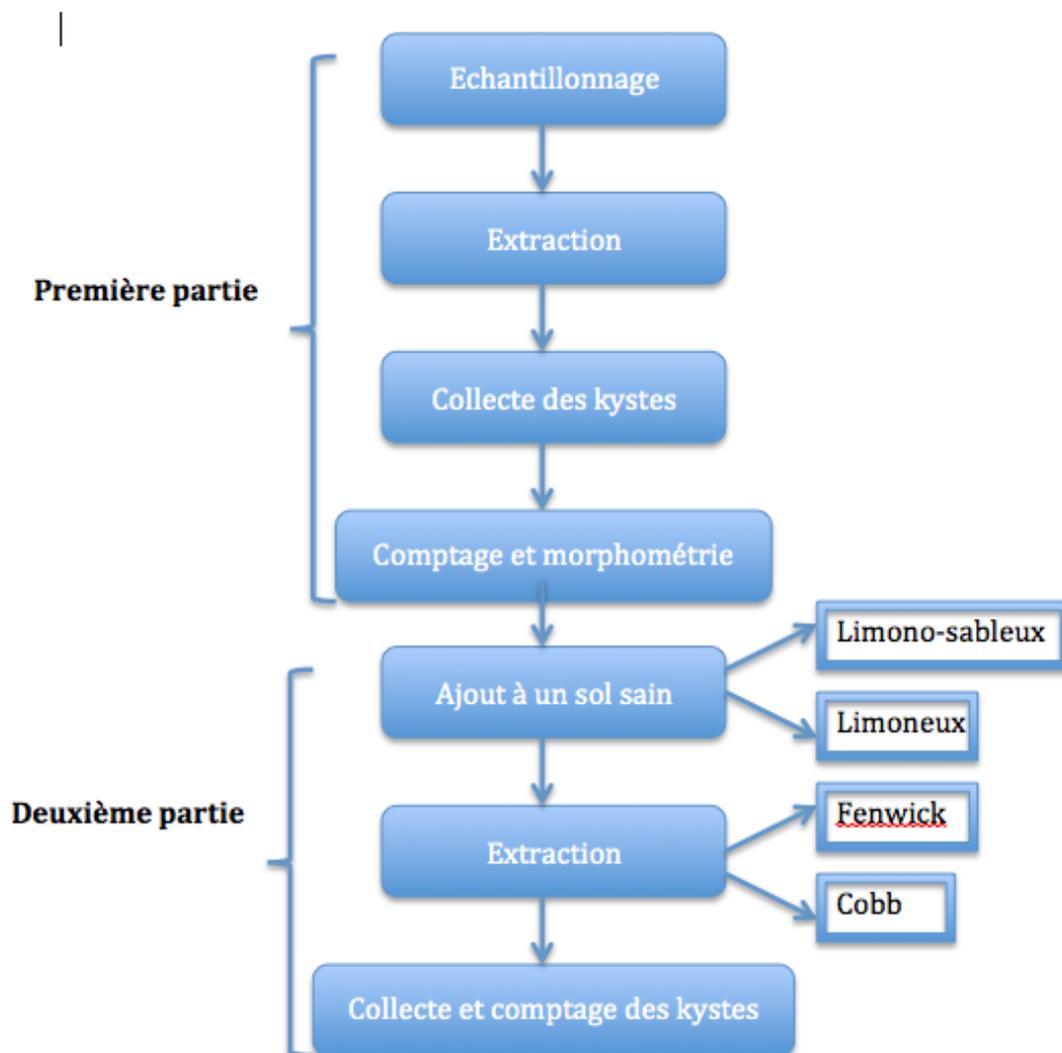
Chapitre II

Matériel et méthodes

Chapitre II

Matériel et méthodes

L'expérimentation comprend deux parties. La première concerne une étude de l'état d'infestation par le nématode *H. avenaede* quelques parcelles de pomme de terre dans différentes localités dans le but de déceler la présence du nématode dans ces régions et de déterminer l'effet des rotations sur son développement. La deuxième partie consiste en une comparaison de deux techniques d'extraction de kystes en vue d'une mise au point d'une méthode fiable à préconiser pour l'extraction des nématodes du genre *Heterodera*. Les étapes de l'expérimentation sont représentées ci dessous :



1- Historique concernant les méthodes d'extraction

L'évaluation des populations de nématodes dans un milieu présente pour l'agriculture une importance économique variable mais importante. La connaissance de l'infestation d'un milieu est essentielle, qu'il s'agisse de conseiller un agriculteur ou de mettre en œuvre une expérimentation.

Pour cela, les méthodes d'extraction n'ont cessé d'évoluer et de s'améliorer. Aux débuts de l'analyse nématologique, l'étude des nématodes se faisait par examen direct du sol. Stöckli (1943) examine dans l'eau, sous loupe binoculaire, de très petites quantités de sol n'excédant jamais 0,1g (LUC et MERNY, 1968). Cela nécessitait un matériel très simple mais s'adressait à de petits échantillons peu représentatifs du milieu. Cette technique contraignante et limitée a poussé les nématologistes à élaborer des méthodes d'extraction permettant de séparer les nématodes de la matière qui les englobe. Ces méthodes ont été ensuite classées selon deux critères : le poids spécifique des nématodes « méthodes par gravité » et la capacité des nématodes à se mouvoir « méthodes par mobilité ». Dans le cas de notre étude sur *H. avenae*, nous nous sommes intéressés qu'aux méthodes par gravité.

Le principe des techniques d'extraction par gravité est que le poids des nématodes est très légèrement supérieur à celui de l'eau. De ce fait, lorsqu'un sol infesté est mélangé à de l'eau, la majorité des particules du sol sédimentera plus vite que les nématodes. Ceux-ci pourront être récupérés par la suite. Cobb (1918) est le pionnier des méthodes par gravité. Son mode opératoire est rudimentaire et nécessite un matériel basique. Il consiste à incorporer un échantillon de sol dans un seau rempli d'eau, après un brassage énergique et quelques secondes de temps de décantation, les $\frac{3}{4}$ du contenu du seau sont déversés sur un tamis de façon à récupérer le surnageant. L'opération est renouvelée jusqu'à disparition des particules flottantes (CLAUDIUS-COLE et *al.*, 2010).

La technique de Cobb était employée aussi bien pour l'extraction des kystes que pour celle des nématodes filiformes. Ce n'est qu'en 1940 que Fenwick élabore le premier dispositif d'extraction destiné aux nématodes à kystes. Cette méthode consiste à faire sécher l'échantillon de sol à analyser afin de déshydrater les kystes pour les rendre plus légers, ainsi ils deviennent capables de flotter sur l'eau. Il se compose d'un récipient en métal avec un bec verseur. Le sol est placé sur la partie supérieure de l'appareil dans un tamis au dessus d'un entonnoir. Un fort jet d'eau est déversé sur l'échantillon de sol ce qui cause un tourbillonnement au fond du récipient créant un courant ascendant. Le récipient se remplit d'eau et les particules de sol les plus légères ainsi que les nématodes débordent sur le bec puis sur un tamis (TESSIER, 2011).

Le principe de l'élutriation est le même que celui de la sédimentation à ceci près que la différence de vitesse de sédimentation entre les particules grossières du sol d'une part et les particules fines et les nématodes d'autre part, se trouve accentuée par un courant d'eau ascendant. Ce principe a amené à l'application de plusieurs excellentes mises au point sur ce sujet notamment celles

d'Oostenbrink (1950, 1960) et de Seinhorst (1964) (LUC et MERNY, 1968). Ces auteurs ont élaboré des appareils plus ou moins perfectionnés différant par leur forme mais fonctionnant tous de la même manière.

Oostenbrink (1950) a modifié l'appareil en ajoutant une collerette de récupération inclinée (Fig.15). En 1960, il a ajouté une entrée d'eau à la partie inférieure de l'appareil et des supports permettant de le fixer au mur, le débit est constant et la base du récipient est conique et possède une ouverture à son extrémité servant à le vider de son contenu (Fig.16).

Seinhorst (1964) a ajouté un tube relié à la collerette de récupération qui déverse les suspensions directement sur le tamis ainsi qu'un tube muni d'un robinet à la partie basse de l'appareil pour la récupération des kystes lourds (Fig. 17).

Les nématodes à kystes peuvent également être extraits du sol par centrifugation. Cette technique n'était destinée qu'aux nématodes filiformes et à de petits échantillons dans une centrifugeuse classique. La centrifugeuse de Schuiling permet de traiter des échantillons allant jusqu'à 300g (Fig. 18).

Quelques chercheurs ont mis au point des machines d'extraction semi-automatiques composées de plusieurs élutriateurs permettant de traiter plusieurs échantillons en même temps (Fig. 19) (BARKER et *al.*, 1976) mais actuellement, la majorité des laboratoires utilisent l'appareil d'Oostenbrink (1960) ou l'appareil de Fenwick amélioré et simplifié de façon à ce que l'eau soit apportée par un tuyau à la base du récipient où le sol est directement déposé sans être placé sur un tamis au dessus de l'appareil (Fig. 20).

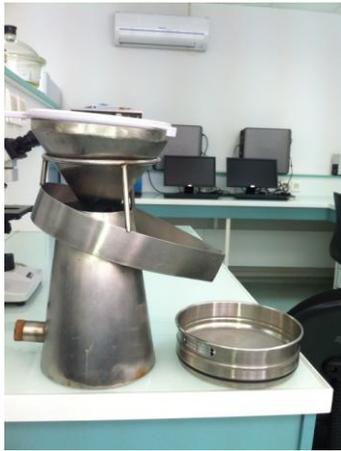


Fig. 15- Appareil de Fenwick modifié par Oostenbrink (1950) (Originale).



Fig. 16- Appareil d'Oostenbrink (1960) (originale).

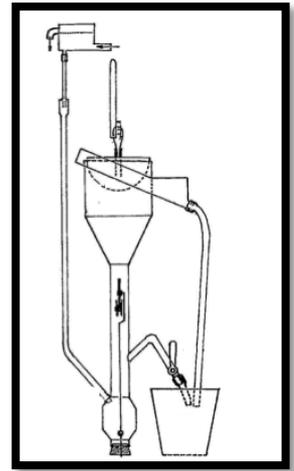


Fig. 17- Appareil de Seinhorst (ANON, 2010).

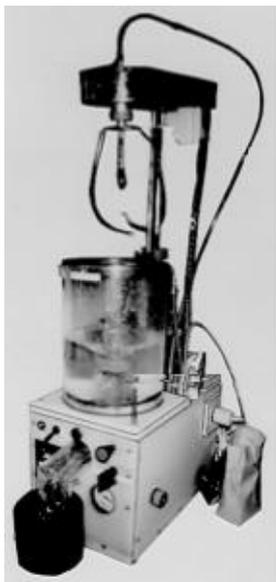


Fig. 18-Centrifugeuse de Schuiling (DURAN, 2001)



Fig. 19- Elutriateur semi- automatique (BARKER et al., 1976)



Fig. 20- Appareil de Fenwick modifié (BELAIR et SIMARD, 2009).

Fig. 15-20. Différents appareils utilisés pour l'extraction des nématodes à kyste par ordre évolutif.

2- Etude de l'état d'infestation

Le nématode à kyste *H. avenae* est un parasite difficile à contrôler. La cuticule des femelles constitue un bouclier contre les facteurs extérieurs grâce à quoi il survit dans le sol durant des années. Ce nématode présente des caractéristiques biologiques particulières, les sorties larvaires sont échelonnées suivant des cycles successifs sur au moins trois années à raison d'un cycle par année. Une étude de l'état d'infestation est effectuée dans quelques champs de pomme de terre de différentes régions ayant des céréales pour précédent cultural. Le but de cette étude est de déterminer la présence du nématode *H. avenae* dans ces régions, de comparer leur degré d'infestation dans des conditions différentes et de déterminer l'effet des rotations appliquées sur leur développement.

Cette prospection est réalisée au niveau de 6 wilayas: Alger (direction des services agricoles à El Harrach et Djoumhouria dans la commune des Eucalyptus), Ain Defla (Bourached, Djendel et Khémis-Miliana), Boumerdes (Hammadi ainsi qu'une seconde parcelle dont le sol nous est parvenu de l'INPV), Bouira (Ain Bessam et El Asnam), Sétif et Tipaza (Bayaiche, Cherchell, Hadjout, deux parcelles de Hamr el ain et Sidi Rached).

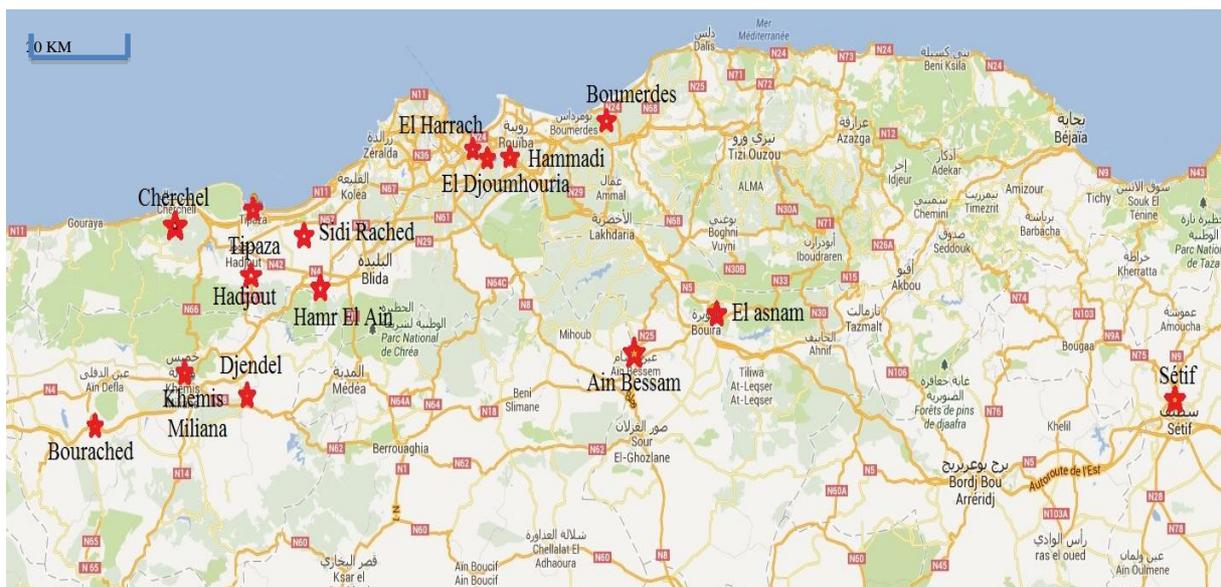


Fig.21- Répartition sur carte des régions étudiée

L'étude de l'état d'infestation d'une parcelle comprend 3 étapes qui constituent l'analyse nématologique. Ces étapes sont l'échantillonnage, l'extraction et la lecture de l'extrait.

2.1-L'échantillonnage :

Contrairement à certains parasites, la présence d'*H. avenae* ne peut être diagnostiquée par simple observation des champs de céréales. Les nématodes doivent alors être extraits du sol puis examinés microscopiquement. L'échantillonnage doit être représentatif du milieu afin de mieux évaluer l'infestation et de comparer convenablement les parcelles. Pour cela il doit obéir à certaines règles.

2.1.1- Règles d'échantillonnage

- Le précédent cultural doit être pris en considération. Dans une parcelle ayant subi un assolement ou présentant différents types de sol, chaque partie devra être échantillonnée séparément. (McSORLEY, 2000).
- Le prélèvement doit être réalisé sur une profondeur de 30 cm (HERMANN, 2006).
- Dans le cas d'un échantillonnage préventif, la prise d'échantillon doit être faite l'année qui précède la culture de céréales. Il faudra veiller à attendre 6 mois après une culture hôte. En effet, l'évolution des populations de nématodes peut encore être influencée par certaines substances sécrétées par les résidus de ces cultures (HERMAN, 2004).
- Dans le cas de l'évaluation de l'état d'infestation d'une parcelle, l'échantillon doit prendre en considération les endroits ayant subi des dégâts au cours de l'année précédente et ce à distance régulière (HERMAN, 2004).
- Si l'objectif est uniquement de vérifier la présence de nématodes, l'échantillonnage ne se fera qu'au niveau des symptômes observés.

2.1.2 - Outils d'échantillonnage

Le moyen le plus simple et efficace est d'utiliser une sonde qui consiste en un tube métallique creux à moitié ouvert dont le diamètre est compris entre 1 et 2 cm (photo 3). L'utilisation d'une telle sonde permet de prélever facilement et rapidement la quantité de terre nécessaire en de nombreux endroits. A défaut de sonde des trous de 30 cm peuvent être creusés à l'aide d'une pioche et d'une bêche, la terre sera ramassée avec une petite pelle.



Fig. 22- (A) Sonde d'échantillonnage. (B, C) Récupération de l'échantillon (Originale).



Fig. 23- Outils d'échantillonnage classique (Original).

2.1.3- Nombre d'échantillons

Les nématodes sont répartis de façon très hétérogène dans la plupart des champs. Il est fortement recommandé de procéder de 10 à 30 échantillonnages par surface de 2 à 3 hectares (BENTLEY *et al.*, 2010).

2.1.4- Schéma d'échantillonnage

Il est délicat d'obtenir un échantillon parfaitement représentatif du milieu. Plusieurs schémas d'échantillonnage ont été proposés dans le but de pallier les erreurs dues à la variabilité de répartition des nématodes dans le sol (Fig. 24). Selon DAVIDE (2007), afin de réduire cette variabilité, la standardisation des paramètres suivants doit être respectée pour tous les échantillons:

- L'humidité du sol
- Le type de culture actuel et précédent
- La compaction du sol
- Le type de sol
- La température du sol
- La distance entre les plants
- La profondeur de l'échantillonnage.

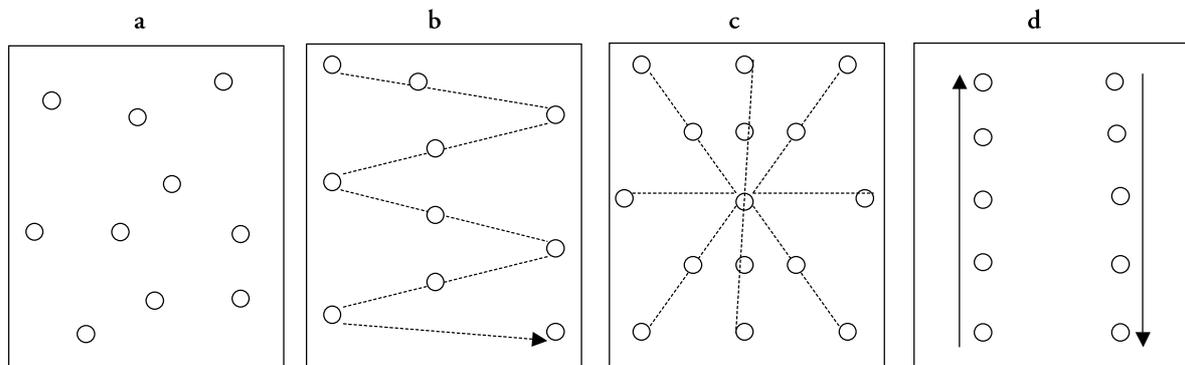


Fig. 24- Schémas d'échantillonnage. (a) aléatoire, (b-d) systématique (CLAUDIUS-COLE *et al.*, 2010).

2.1.5- Emballage et étiquetage

Les mottes sont brisées et la terre est emballée dans des sacs. Chaque sac doit porter une étiquette mentionnant la date d'échantillonnage, le nom de la personne ainsi que le lieu de collecte des échantillons.

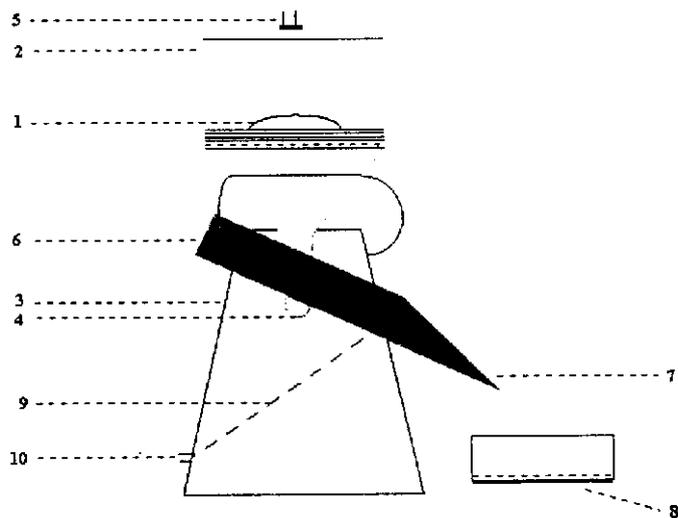


Fig. 25- Emballage et étiquetage de l'échantillon (Originale).

2.2-Extraction

L'extraction des kystes pour les échantillons prélevés au niveau des 16 parcelles est réalisée en utilisant l'appareil de Fenwick (Fig. 26).

L'échantillon de sol est placé dans le tamis au dessus de l'appareil. Un jet d'eau est activé sur le tamis ce qui pousse le sol dans le corps de l'appareil. Les particules légères flottent sur la surface de l'eau et débordent dans la collerette de récupération puis sont déversées dans le tamis. Le jet d'eau est continu jusqu'au parfait éclaircissement de l'eau qui découle de l'appareil.



ME - < \$, ' ((/
 I B # . % & E , \$ 1 ' :
 Q B . % . !) & (\$ # \$ % & (& (% & , . / / . ' % # . % & E , \$ 1 ' :
) ' \$ 1 2 , % & M I 1
 J B \$ % & A > & & % 7 ! : . 7 : ! # % & : ' . /
 [B . ((& & , & & % - 7 # > % , ' . /
] B . % & & & (% & , % \$,
 Z B , \$ 1 ' : !) & % - 7 # > % , ' . / !) & (% & , % \$,
 ^ B \$ /) ! / - (/ >
 M B . % & E A \$ - 7 \$, ' . /

Fig. 26- Schéma de l'appareil de Fenwick utilisé pour l'extraction (DURAND, 2001).

2.3- Récupération de l'extrait

Les particules récoltées dans le tamis de 250 µm sont rincées de façon à être regroupées, le produits est ensuite déversé sur un filtre papier placé sur un entonnoir au dessus d'une fiole.

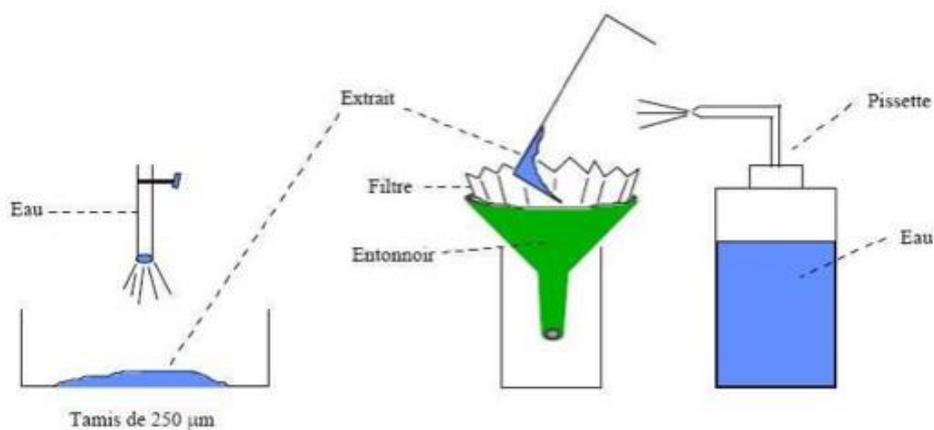


Fig. 27- Récupération et séchage de l'extrait (ANON, 2010).

2.4- Collecte des kystes

Le filtre égoutté supportant l'extrait est placé dans une boîte de Pétri et examiné sous loupe binoculaire. Les kystes sont séparés des particules qui les englobent à l'aide d'une aiguille et d'un pinceau et sont transposés dans une autre boîte.



Fig. 28- Récupération des kystes (Originale).

2.5- Comptage et prise de mensuration

Les kystes de chaque population sont dénombrés. 20 kystes par population pris au hasard sont mesurés au micromètre sous une loupe binoculaire à grossissement $10 \times 1,6$. Les mesures portent sur la longueur et la largeur des kystes, le coup et le cône vulvaire. L'étude biométrique contribue à l'identification de l'espèce et à la compréhension de l'influence des facteurs extérieurs sur la biologie des nématodes.

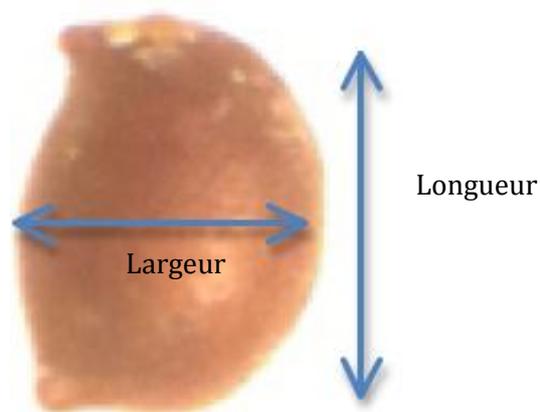


Fig. 29- Mensurations des kystes d'*H. avenae*(Originale).

3- Comparaison de deux techniques d'extraction

Les nématodes peuvent être extraits du sol de différentes façons mais aucune des techniques n'est fiable à 100%. Le choix d'une méthode dépend de l'objectif de l'extraction, du temps et du matériel disponible, de l'efficacité et la préférence de la personne qui effectue l'extraction. Dans le but de préconiser une technique fiable et adéquate aux différentes situations, cette étude portera sur une comparaison entre deux méthodes, Fenwick et Cobb.

3.1- Paramètres de comparaison entre les deux techniques:

- **Le temps** : mesure du temps nécessaire à chaque extraction ainsi qu'au nettoyage et rangement du matériel et du lieu de travail.
- **La quantité d'eau** : mesure de la quantité d'eau consommée pour chacune des deux techniques en vue d'une gestion rationnelle de l'eau dans le laboratoire de nématologie.
- **Les kystes** : Comptage du nombre de kyste collectés à chaque extraction.

3.2- Préparation des échantillons

Deux types de sol assurément indemnes de nématodes sont utilisés dans cette expérimentation, le premier limono-sableux (sable grossier 28,83%, sable fin 24,42%, limon grossier 16,27%, limon fin 15,75% et argile 14,7%), le second limoneux (sable grossier 34,63%, sable fin 12,48%, limon grossier 11,96%, limon fin 20,8% et argile 19,76%)

Chacun des deux sols est séché à l'air libre puis tamisé. Ils sont ensuite partagés en 20 échantillons de 500 g. 10 kystes sont ajoutés à l'aide d'un pinceau à chaque échantillon. Au total, les kystes de 10 échantillon du sol 1 et de 10 du sol 2 seront extraits à l'appareil de Fenwick décrit précédemment, la même opération sera répétée avec la méthode de Cobb.

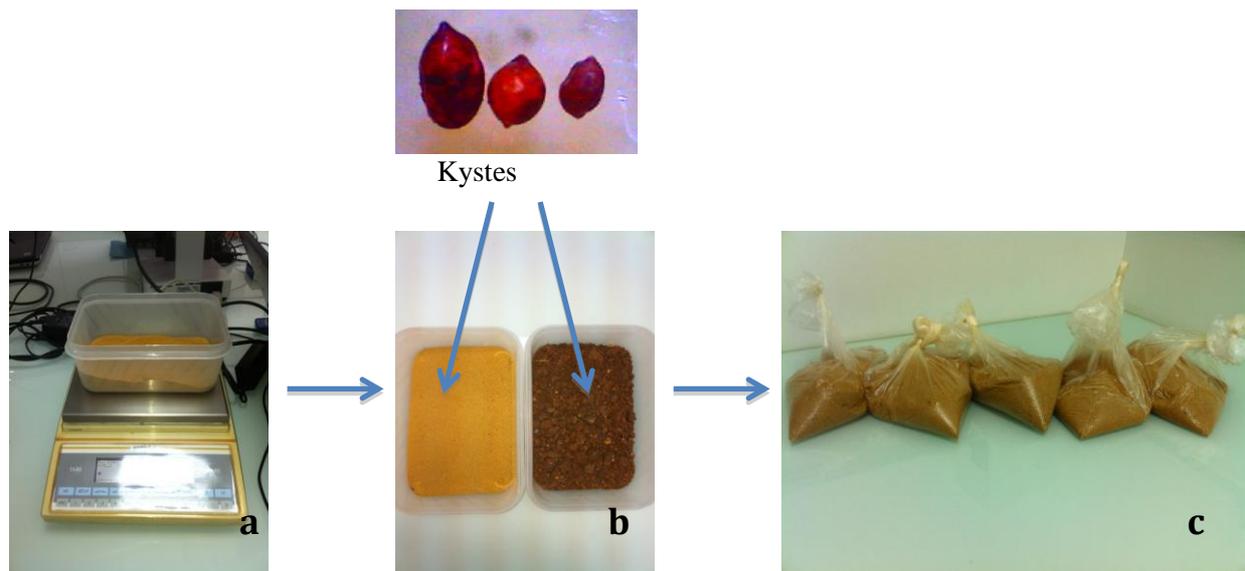


Fig. 30- Préparation des échantillons. (a) pesée, (b) ajout de kystes aux deux types de sols, (c) échantillons finaux (Originale).

3.3- La méthode de Cobb

Matériel requis pour cette méthode:

- Un seau : avec une marque faite au marqueur indélébile afin d'avoir le même volume d'eau au cours de toutes les manipulations
- Un tamis de 250 microns
- Papier filtre, entonnoirs et fioles.

Les étapes du mode opératoire sont représentées dans la figure 31.

Limite d'eau



1- Remplir le seau d'un volume d'eau défini par la marque à l'intérieur.



2- Verser délicatement l'échantillon de sol.



3- Mélanger jusqu'à dissolution du sol.



4- Laisser décanter 30 sc.



5- Verser les $\frac{3}{4}$ du contenu à travers le tamis.



6- Remplir le seau de nouveau et répéter les étapes 3, 4 et 5 jusqu'à disparition des suspensions



7- Rincer délicatement le tamis en dirigeant les débris vers la partie basse



8- S'assurer que toutes les suspensions sont concentrées sur la partie basse du tamis



9- Verser le contenu du tamis sur le papier filtre.

Fig. 31- Procédure d'extraction par la méthode de Cobb (Originale).

Chapitre III

Résultats et discussion

Chapitre III

Résultats et discussion

1- Etat d'infestation de quelques parcelles par le nématode à kyste *Heteroderaavenae* dans quelques régions d'Algérie

Une étude prospective de l'état d'infestation est effectuée au niveau des régions d'Alger (direction des services agricoles à El Harrach et Djoumhouria dans la commune des Eucalyptus), Ain Defla (Bourached, Djendel et Khémis-Miliana), Boumerdès (Hammadi ainsi qu'une seconde parcelle dont la localité exacte est inconnue), Bouira (Ain Bessam et El Asnam), Sétif et Tipaza (Bayaiche, Cherchell, Hadjout, deux parcelles de Hamr el ain et Sidi Rached).

1.1-Résultats d'analyse de chaque région

Le degré d'infestation de chaque échantillon est exprimé par nombre de kystes par kilogramme de sol dans les tableaux 6 à 11 et les figures 32 à 37.

1.1.1- Alger

Tab. 6- Résultats d'analyse des échantillons d'Alger.

Région	Culture en place	Culture précédente	Texture du sol	Degré d'infestation (kystes/kg de sol)
Djoumhouria	pomme de terre	pomme de terre	limoneuse	96
El Harrach	pomme de terre	blé	limoneuse	129

Les champs de pomme de terre de Djoumhouria (commune des Eucalyptus) présentent un degré d'infestation de 96 kystes/kg de sol. Les échantillons prélevés au niveau de la parcelle de la direction des services agricoles d'Alger (DSA El Harrach) ont également montré un degré d'infestation élevé avec 129 kystes/kg de sol. La monoculture de céréales a longtemps été pratiquée. Il sera long et difficile de maintenir le nématode en dessous du seuil d'infestation par la seule pratique de rotations. Pour une bonne gestion de ce parasite, des rotations successives à base de cultures non hôtes telles que les légumineuses et les cultures maraichères sont recommandées sur une durée de plusieurs années.

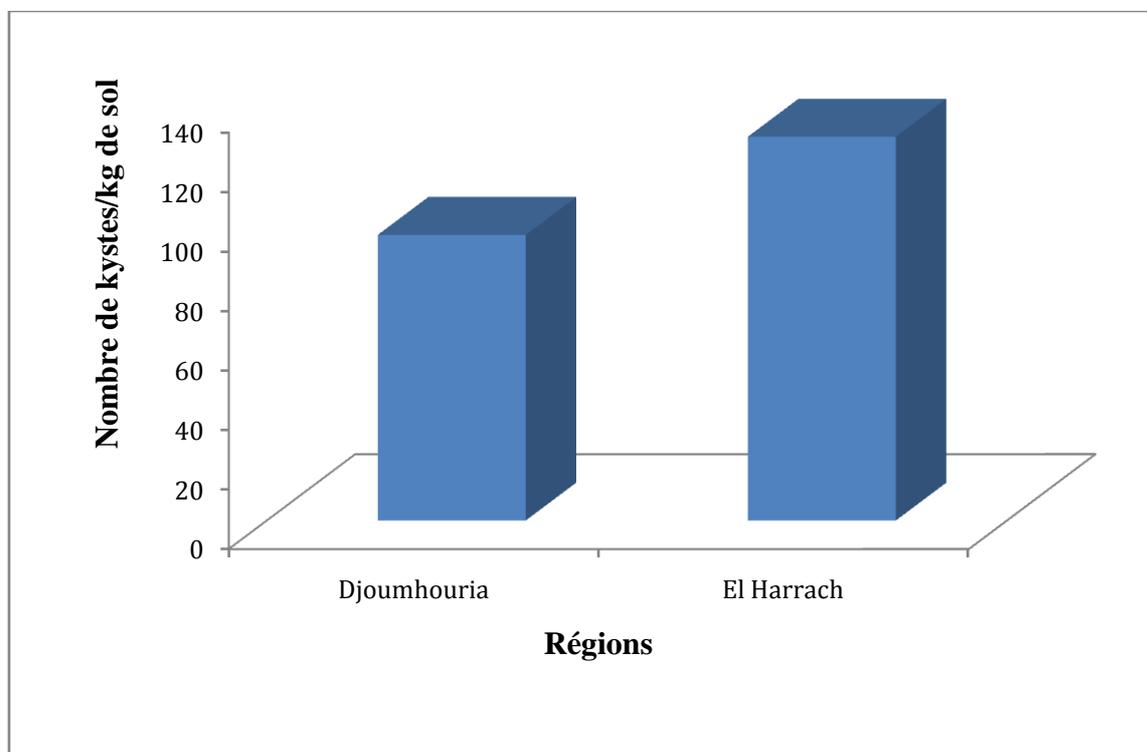


Fig.32- Degré d'infestation des parcelles échantillonnées dans la wilaya d'Alger.

1.1.2- Ain Defla

Tab. 7- Résultats d'analyse des échantillons de Ain Defla.

Région	Culture en place	Culture précédente	Texture du sol	Degré d'infestation (kystes/kg de sol)
Bourached	pomme de terre	blé dur	Limono-sableuse	38
Djendel	pomme de terre	Pomme de terre	sableux	23
Khémis Miliana	pomme de terre	Pomme de terre	argilo-limoneuse	37

Les échantillons de Djendel ont été pris dans des parcelles ayant été implantées en culture de pomme de terre durant plusieurs saisons consécutives. Le degré d'infestation obtenu est de 23 kystes/kg de sol, ce qui démontre la capacité de persistance du nématode même en l'absence de sa plante hôte. A Khemis Miliana, 37 kystes/kg ont été dénombrés, ce qui représente un degré important si l'on considère que cette parcelle n'a reçu aucune culture de céréales. Les contaminations pourraient jouer un rôle non négligeable dans le maintien des populations du nématode car il est largement répandu dans la région où de nombreux travaux ont été réalisés notamment ceux de ABBAS (1994), BENKHEROUF (1996), FERHAOUI (1993). Ces auteurs ont signalé des degrés d'infestation entre 30 et 120 kystes/kg de sol démontrant ainsi la large distribution d'*H. avenae* dans la région. Ces contaminations peuvent être dues à la dissémination du parasite par les outils de travail du sol et par le vent car les kystes sont très légers. Il paraît évident que les terres de Ain Defla sont largement infestées par le nématode *H. avenae* et que les mesures nécessaires contre sa dissémination ne sont pas appliquées de manière très stricte, ceci met l'accent sur l'importance des mesures préventives. En effet ce parasite est méconnu des agriculteurs ce qui nécessite une large campagne de vulgarisation par les services concernés.

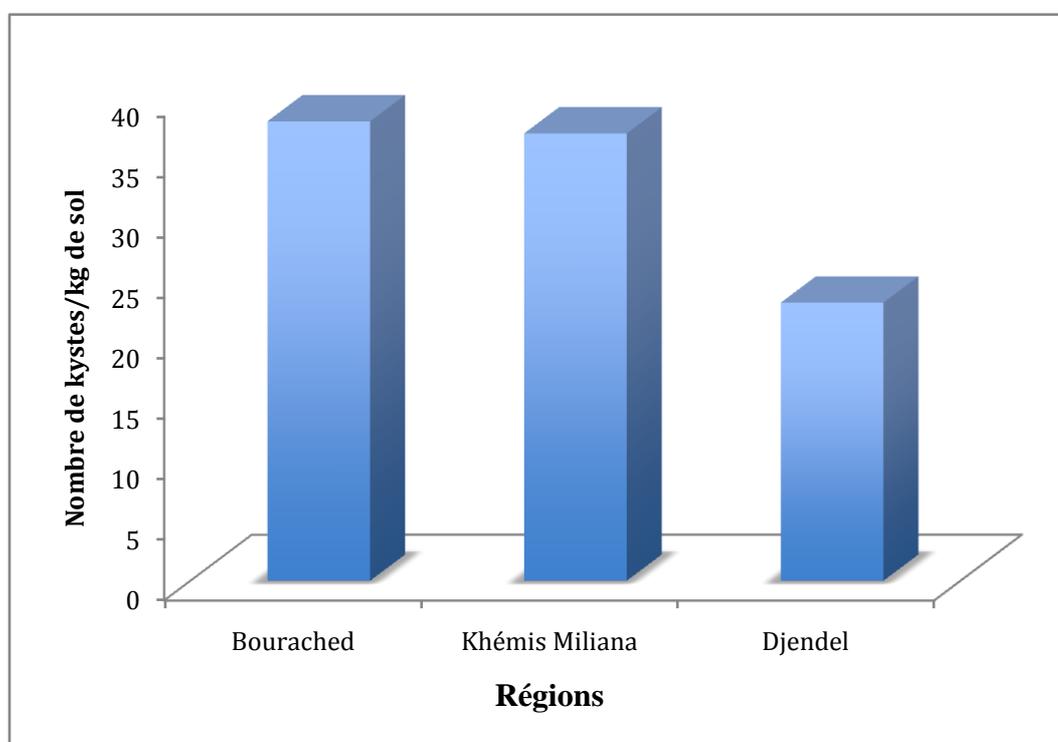


Fig.33- Degré d'infestation des parcelles échantillonnées de la wilaya de Ain Defla.

1.1.3- Boumerdès

Tab. 8- Résultats d'analyse des échantillons de Boumerdès.

Région	Culture en place	Culture précédente	Texture du sol	Degré d'infestation (kystes/kg de sol)
Hammadi	pomme de terre	céréales	Limono-sableux	1
Boumerdès	pomme de terre	céréales	-	0

Un seul kyste a été dénombré dans l'échantillon de Hammadi. L'échantillon de la seconde station n'a révélé par contre la présence d'aucun kyste. Il semblerait que le nématode *H. avenaene* ne se soit pas propagé de façon très importante. Le nombre de parcelles échantillonnées est certes insuffisant pour tirer une telle conclusion mais le faible degré d'infestation peut être dû à plusieurs facteurs notamment les rotations pratiquées, le type de sol et l'application de mesures contre la dissémination par l'homme et les outils de travail. Cette situation exige la protection de ces parcelles de toutes contaminations lors des futures interventions.

1.1.4- Bouira

Tab. 9- Résultats d'analyse des échantillons de Bouira.

Région	Culture en place	Culture précédente	Texture du sol	Degré d'infestation (kystes/kg de sol)
Ain Bessam	pomme de terre	blé dur	sablo-limoneuse	28
El Asnam	pomme de terre	blé dur	sablo-limoneuse	21

A Bouira, deux parcelles ont été échantillonnées, la première dans la région de Ain Bessam et la deuxième à El Asnam. Les deux parcelles présentent un degré d'infestation moyen mais l'extraction a révélé également la présence du nématode de la pomme de terre *Globoderasp*. Les résultats s'expliquent par le fait que les agriculteurs de la région sont subventionnés en pesticides, notamment en traitement de semences par le cruiser dont la matière active est le thiamethoxam et en insecticides, le dursban 5G mais pas en nématicides. De ce fait, aucun traitement n'est appliqué pour les nématodes. Il en résulte que la rotation blé dur/pomme de terre représente le seul moyen de lutte étant donné la rentabilité de ces deux cultures. Nous conseillons tout de même la

non utilisation de nématicides car le control de ces deux parasites pourrait se faire de manière efficace par le système de rotations. Pour ce cas précis caractérisé par la présence de deux espèces Globodera et Heterodera, il est recommandé de pratiquer des rotations de jachère, elles réduisent de manière efficace les densités de populations(BROWN et MEAGHER, 1974).Les méthodes agrotechniques contribuent à la protection de l'environnement et à l'équilibre biologique du sol. Les espèces en mélange suscitent l'orientation des travaux de recherche sur la compétition entre elle notamment la capacité à se développer dans le temps et dans l'espace.

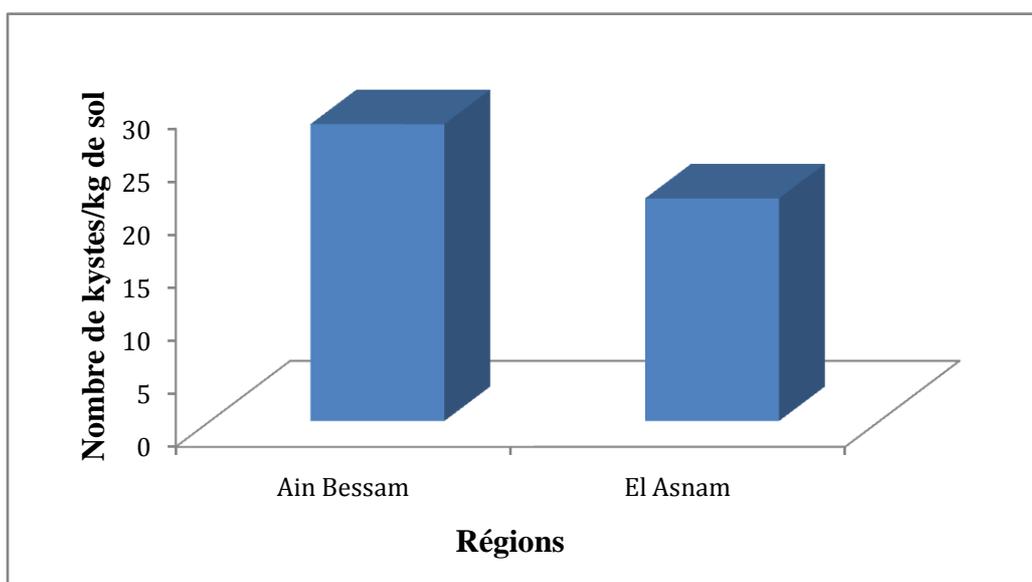


Fig.34- Degré d'infestation des parcelles échantillonnées de la wilaya de Bouira.

1.1.5- Tipaza

Tab. 10- Résultats d'analyse des échantillons de Tipaza.

Région	Culture en place	Culture précédente	Texture du sol	Degré d'infestation (kystes/kg de sol)
Bayaiche	pomme de terre	blé dur	-	0
Cherchell	pomme de terre	vesce avoine	-	0
Hadjout	Pomme de terre	pastèque/blé dur	-	0
Hamr El Ain 1	pomme de terre	blé dur	-	0
Hamr El Ain 2	pomme de terre	blé tendre	-	0
Sidi Rached	pomme de terre	blé dur	sableux	82

Parmi les six parcelles étudiées à Tipaza, seule la parcelle de Sidi Rached est infestée avec 82 kystes/kg de sol. En plus du nématode *H. avenae*, nous avons identifié également des kystes de *Globoderasp.* à raison de 25 kystes/kg, un degré très faible par rapport à celui d'*H. avenae*. Un kyste de *Globoderasp.* a également été retrouvé dans l'échantillon de Hamr El Ain 1.

Pour ce qui est de la parcelle de Sidi Rached, les résultats peuvent s'expliquer par le fait qu'elle soit bordée de céréales sauvages hôtes d'*H. avenae*. De plus, nous avons constaté des résidus de céréales sur la parcelle de pomme de terre, ce qui permet le maintien des populations d'*H. avenae*.

Concernant les cinq autres parcelles indemnes de nématodes, elles subissent pour la plus part, des désherbages au Vabcon éliminant ainsi les céréales sauvages hôtes potentielles d'*H. avenae*, ainsi que des labours d'été qui ont pour effet la dessiccation des nématodes essentiellement les larves de second stade.



Fig. 35- Champ de pomme de terre entouré de céréales sauvages (Originale).



Fig. 36- Mauvaises herbes laissés sur les champs de pomme de terre (Originale).

1.1.6- Sétif

Tab. 11- Résultats d'analyses des échantillons de Sétif

Culture en place	Culture précédente	Texture du sol	Degré d'infestation (kystes/kg de sol)
pomme de terre	blé	Limoneuse	117

La wilaya de Sétif présente le degré d'infestation le plus élevé. DJADI (1995), BENNOUR (1995) et BENMESSAOUD (2011) ont déjà signalé la présence d'*H. avenae* dans cette région. La monoculture de céréales a longtemps prédominé, Il est indispensable de pratiquer des rotations successives de cultures maraichères, de légumineuses et de jachères pour maintenir le nématode en dessous du seuil de nuisibilité.

1.2-Classement des stations échantillonnées selon leur degré d'infestation

Les degrés d'infestation obtenus sont rassemblés dans le tableau (12) par ordre décroissant. Nous remarquons une grande variation entre les différentes régions mais les stations d'une même région présentent des résultats relativement proches exceptés pour Tipaza.

Tab. 12- Classement des parcelles échantillonnées selon leur degré d'infestation

Régions	Degré d'infestation (kystes/kg de sol)
El Harrach	129
Sétif	117
Djoumhouria	96
Tipaza	82
Bourached	38
Khémis Miliana	37
Ain Bessam	28
Djendel	23
El Asnam	21
Hammadi	1
Bayaiche	0
Boumerdès	0
Cherchell	0
Hadjout	0
Hamr el ain 1	0
Hamr el ain 2	0

Le tableau (12) représente un classement des zones prospectées et ne doit pas être considéré comme étant représentatif des régions citées car le nombre d'échantillons prélevé est insuffisant pour établir un tel classement. La poursuite des prospections dans différentes régions et sur plusieurs parcelles est indispensable pour avoir plus d'informations sur ce parasite et pour compléter les travaux antérieurs.

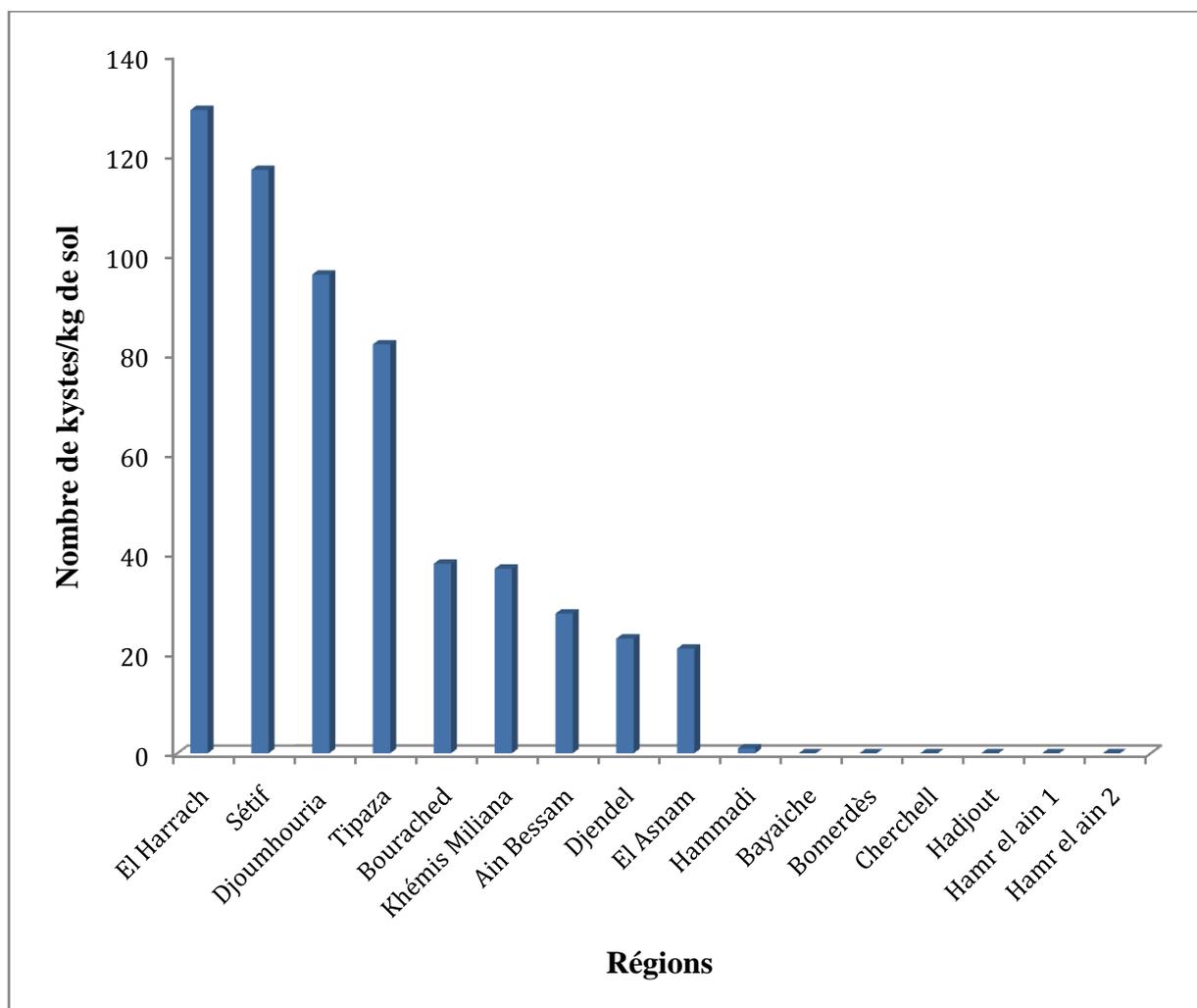


Fig. 37- Classement des parcelles échantillonnées selon leur degré d'infestation.

1.3-Classement du nombre de kyste collecté selon les wilayas prospectées

Tab. 13- Nombre de kyste total obtenu dans chaque région d'étude toutes parcelles confondues

Wilaya	Nombre de kyste collectés
Alger	225
Sétif	117
Ain Defla	98
Tipazza	82
Bouira	49
Boumerdès	1

Le tableau (13) représente un récapitulatif du nombre total de kyste obtenu dans chaque wilaya en regroupant les stations d'étude. Des prospections dans les différentes wilayas sont indispensables et des analyses nématologiques d'échantillons de sol issus de régions plus drastiques comme le Sahara sont recommandées pour mieux comprendre la capacité d'*H. avenae* à s'adapter à différents climats, car ce nématode a été décelé aussi bien en Arabie Saoudite (AL-HAZMI, 2009) qu'en Russie (RUMPENHORST et al., 1996).

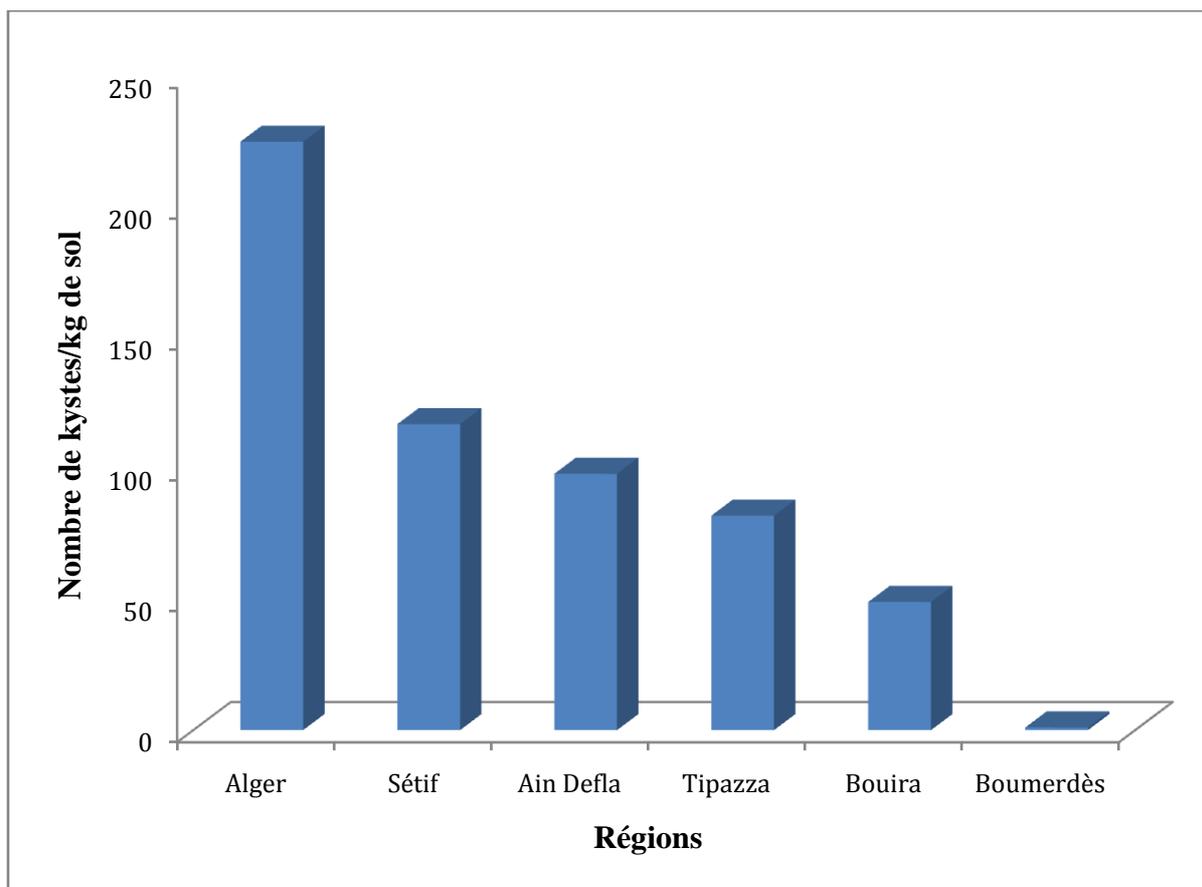


Fig.38-Nombre de kyste total obtenu dans chaque wilaya.

2-Etude morphométrique des différentes populations d'*H. avenae*

2.1- Forme des kystes

La forme des kystes collectés est très variable selon les régions au sein d'une même population. Certains kystes sont parfaitement citriformes, d'autres sont plus allongés ou ont une forme plus globuleuse. La position de la tête varie également. Chez certains kystes on observe une symétrie, la tête et le cône vulvaire sont disposés sur un même axe, chez d'autre kystes, la tête ne se trouve pas à l'extrémité du corps mais sur le coté allant jusqu'à la moitié du corps. Une étude approfondie sur la morphologie et la biométrie est nécessaire pour mieux caractériser les espèces.

2.2- Couleur des kystes

La couleur des kystes est variable, on n'observe pas un grand écart de ton au sein d'une même population, mais entre les différentes régions, la couleur varie du jaune au marron foncé.

2.3- Taille des kystes

Une moyenne des mensurations de 20 kystes par population a été établie au micromètre. Les mesures comprennent la longueur et la largeur des kystes ainsi que la longueur de la tête et du cône vulvaire. Les mensurations de chaque population sont présentées dans le tableau (14).

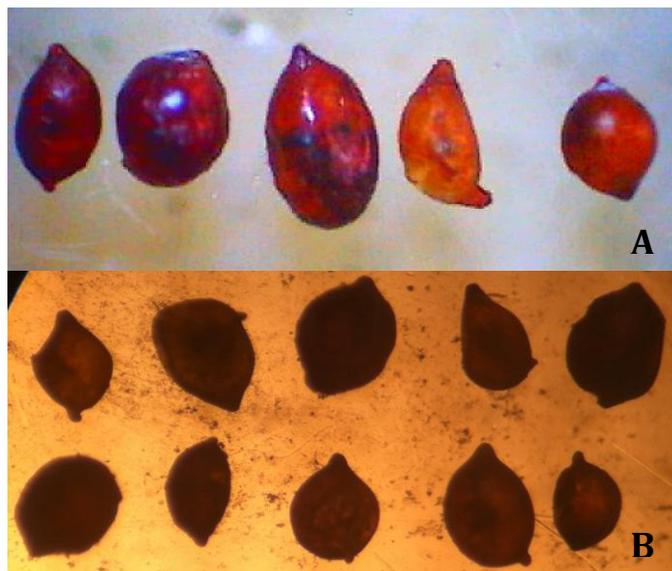


Fig. 39- (A, B) Variations de forme et de taille des kystes d'*H. avenae* (Originale).

Tab. 14- Moyenne des mensurations des populations récoltées (μm).

Station	Longueur (L)	Largeur (l)	Cou	Cône vulvaire	Rapport L/l
Hammadi	810	630	60	90	1,29
Bourached	630	570	90	60	1,11
Djendel	585	461,25	49,5	51	1,31
Tipaza	565,5	426	50,25	48,75	1,35
Khémis Miliana	542,25	411,75	50,25	48	1,34
Sétif	537	451,5	50,25	36	1,20
El Harrach	517	412,5	72,5	54,5	1,28
El Asnam	488,25	377,25	31,5	32,25	1,31
Djoumhouria	462	351	51,75	34,5	1,35

Les plus grandes mensurations concernent la parcelle de Hammadi suivie de Bourached et de Djendel. Les plus petits kystes sont ceux de la parcelle de Djoumhouria. Les mesures du cou ne sont pas en corrélation avec le classement obtenu, cela s'explique par le fait que la majorité des kystes se brisent au niveau du cou. Rappelons qu'un seul kyste a été extrait de l'échantillon de Hammadi et que les parcelles de Bourached et Djendel ont des degrés d'infestation respectifs de 38 et 23 kystes/kg de sol. La médiane étant de 37,5 kystes/kg, il ne semble pas y avoir de corrélation entre la taille des kystes et le degré d'infestation des parcelles. Il serait intéressant de faire une étude sur la taille des kyste en fonction des caractéristiques physiques du sol (structure, texture).

2.4- Analyse statistique des données

L'analyse statistique permet de rendre compte des résultats numériques d'une expérience répétée, elle comprend une série de paramètres analytiques. Pour la description des mensurations des kystes, nous avons utilisé la moyenne, la médiane, l'écart type et la variance.

L'écart type est la mesure de dispersion. Lorsqu'on emploie la moyenne pour calculer une tendance centrale, il mesure donc la dispersion autour de la moyenne. C'est la racine carrée de la variance.

La médiane est un nombre qui divise en 2 parties la population telle que chaque partie contient le même nombre de valeurs.

2.4.1- Caractères descriptifs des kystes d'*H. avenae*

Les moyennes de longueurs (L), de largeurs (l) et du rapport L/l ainsi que leur variance et écart type sont rapportés dans les tableaux 15, 16 et 17 et présentées dans les figures 40 et 41.

Tab. 15- Statistiques des longueurs de kystes d'*H. avenae* par région (μm)

Population	moyennes	Médiane	Ecart Type	Variance	Valeur Min	Valeur Max
Ain Bessam	473.25	457,5	62.79	3942.83	390	600
Bourached	508.50	510	55.25	3052.89	390	570
Djendel	585	570	168.16	28278.95	330	840
Djoumhouria	462	435	106.36	11311.58	300	630
El Assnam	488.25	487,5	60.49	3658.62	390	630
El Harrach	517	515	111.36	12401.05	300	800
Hammadi	810	/	0	0	/	/
Khémis Miliana	542.25	540	58.46	3417.04	420	630
Sétif	537	540	81.96	6716.84	390	690
Tipaza	565.5	570	79.83	6373.42	420	750
Moyenne	548.88		78.47	7915.32		

La longueur moyenne des kystes d' *H. avenae* des différentes populations récoltées est de $548,88 \pm 78,47$. Selon les valeurs des écarts types, les populations de Djendel, d'El Harrach et de Djoumhouria présentent la plus grande variabilité de longueur de kystes avec des valeurs respectives de 168.16, 111.36 et 106.36 μm largement supérieur à la moyenne des écarts types des populations étudiées qui est de 78,47 μm . Les populations de Bourached, Khémis Miliana et Ain Bessam présentent le moins de variabilité avec des écarts types de 55.25, 58.46 et 62.79 μm .

Toutes les valeurs de médianes des populations étudiées se rapprochent de la moyenne des longueurs de kystes, ce qui signifie que quelque soit l'écart type, la répartition des longueurs est symétrique entre les deux parties de la population.

Tab. 16- Statistiques des largeurs des kystes d'*H. avenaepar* région (μm)

Population	moyennes	Médiane	Ecart Type	Variance	Valeur Min	Valeur Max
Ain Bessam	373.5	360	69.32	4805.53	240	510
Bourached	395.25	390	67.13	4506.51	240	480
Djendel	461.25	450	134.24	18020.72	240	720
Djoumhouria	351	375	101.67	10335.79	210	540
El Assnam	377.25	375	68.35	4672.30	240	540
El Harrach	412.5	410	101.97	10398.68	240	600
Hammadi	630	/	0	0	/	/
Khémis Miliana	411.75	405	77.48	6003.36	270	570
Sétif	451.5	420	72.50	5255.53	300	570
Tipaza	426	420	71.26	5077.89	300	540
Moyenne	429		76.39	6907.63		

La largeur moyennes des kystes d'*H. avenaedes* populations étudiées est de $429 \pm 76,39 \mu\text{m}$. Comme pour les mesures de longueur, les populations de Djendel, d'El Harrach et de Djoumhouria présentent le plus de variations pour la largeur des kystes. Par contre, les populations les plus homogènes sont celles des parcelles de Bourached, El Assnam et Ain Bessam. Ceci indique que le rapport longueur/largeur n'est pas le même pour ces populations. Plusieurs facteurs semblent être à l'origine de cette variation. L'espèce elle même, la nature du sol, les conditions de culture sont autant de facteurs qui régissent ces paramètres.

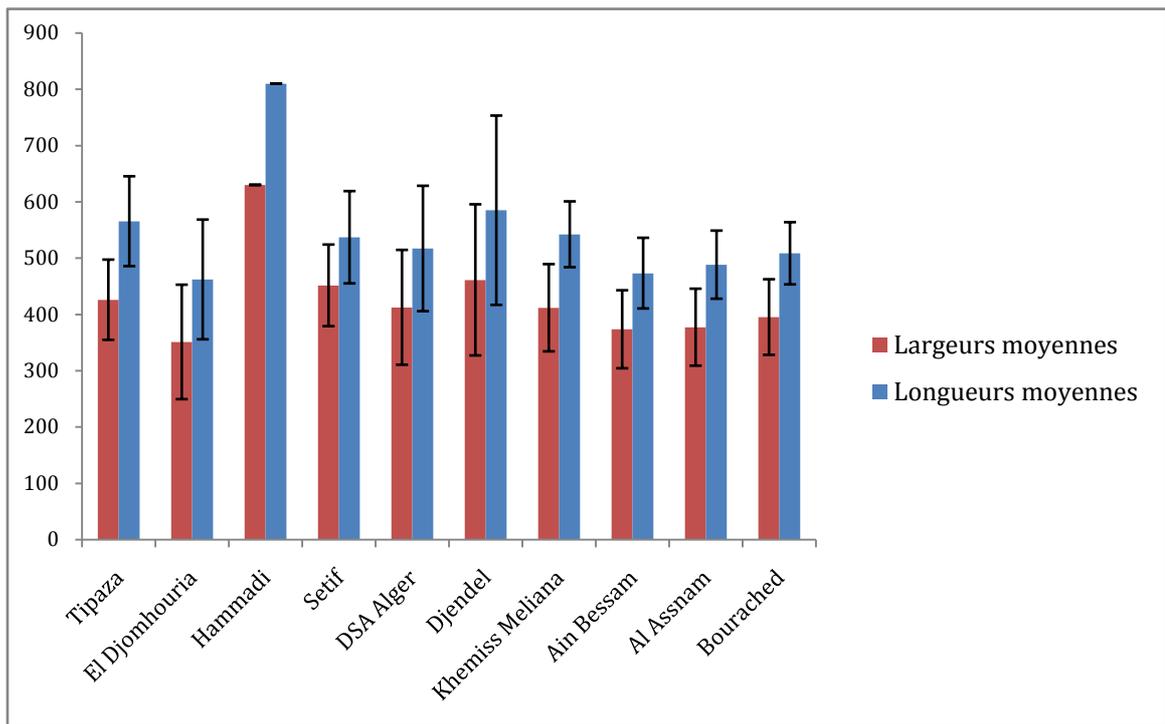


Fig. 40- Longueurs et largeurs moyennes avec écart type des populations d'*H.avenae* collectées(µm).

Tab.17- Rapport des moyennes de longueur à la largeur des kystes d'*H. avenae* par population.

Population	Longueur/Largeur
Djomhouria	1,351
Tipaza	1,349
Bourached	1,349
KhemissMeliana	1,341
El Assnam	1,310
Djendel	1,305
Hammadi	1,286
Ain Bessam	1,284
El Harrach	1,281
Setif	1,200

Le rapport longueur/largeur est un élément de comparaison entre différentes populations qui nous indique la charge des kystes en œufs et donc nous renseigne sur la fécondité de ces populations. Ce classement n'est pas en corrélation avec le classement des populations selon la longueur des kystes, ni avec le classement selon le degré d'infestation des parcelles. Cela signifie que les plus grands kystes ne sont pas forcément les plus chargés en œufs et que les parcelles les plus infestées ne contiennent pas que des kystes pleins. De plus, les kystes dans le sol peuvent avoir différents âges.

La figure 41 représente une classification des populations des kystes les moins chargés aux plus chargés en œufs.

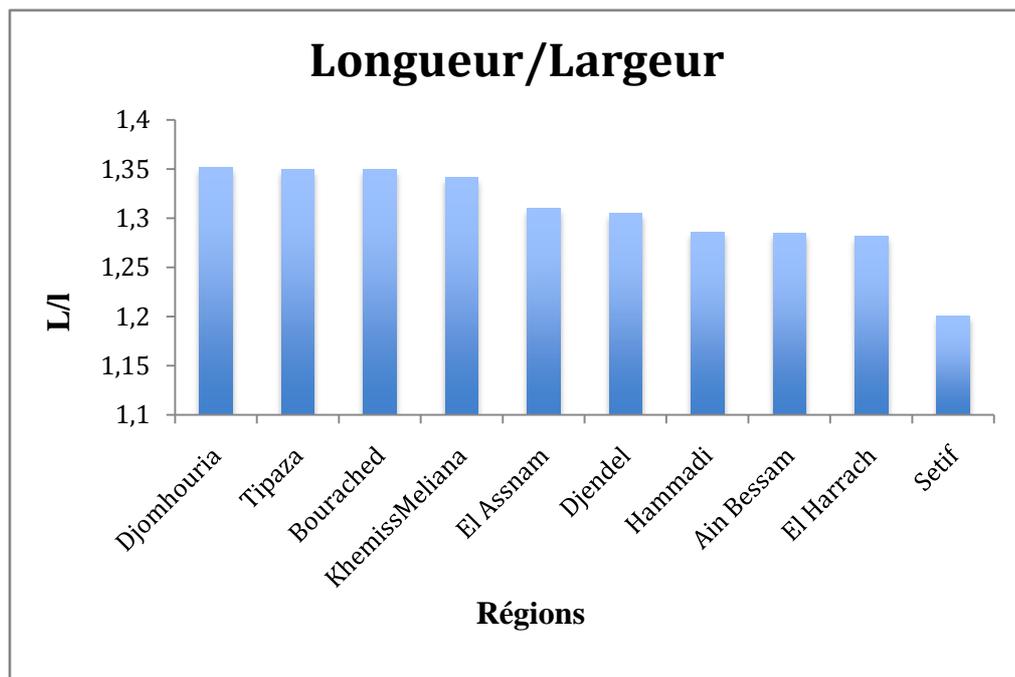


Fig. 41- Rapport longueur/largeur des différentes populations d'*H. avenae* collectées.

2.4.2- Répartition des effectifs des populations d'*H. avenae* selon les différents ordres de grandeurs obtenus

L'intérêt de la répartition des classes d'effectifs est d'apprécier la différence d'hétérogénéité et d'homogénéité entre les populations. Les résultats de chaque région sont représentés dans les figures 42 à 50.

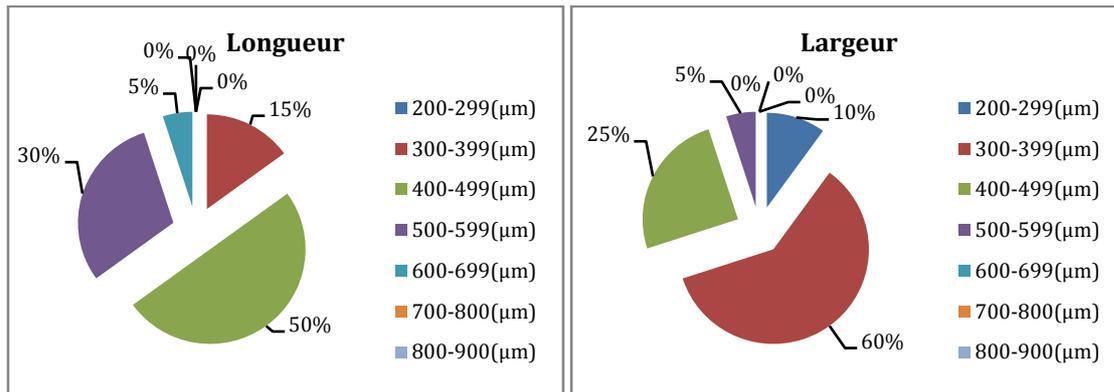


Fig. 42- Répartition géométrique des kystes selon leur taille dans la région de Ain Bessam.

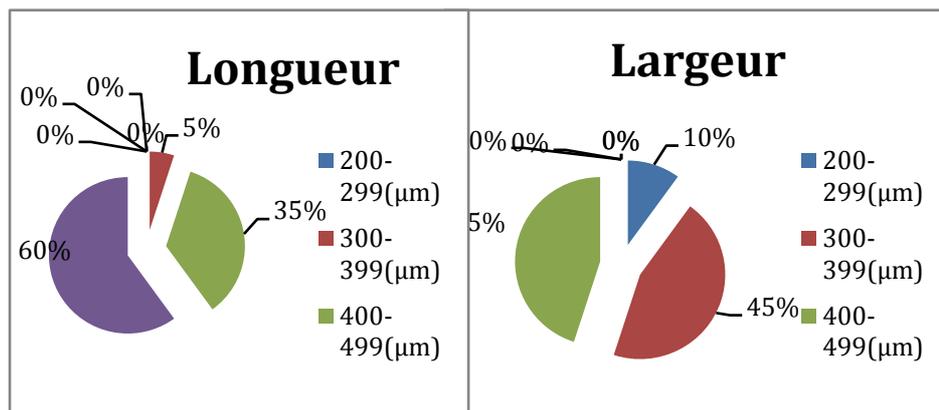


Fig. 43- Répartition géométrique des kystes selon leur taille dans la région de Bourached.

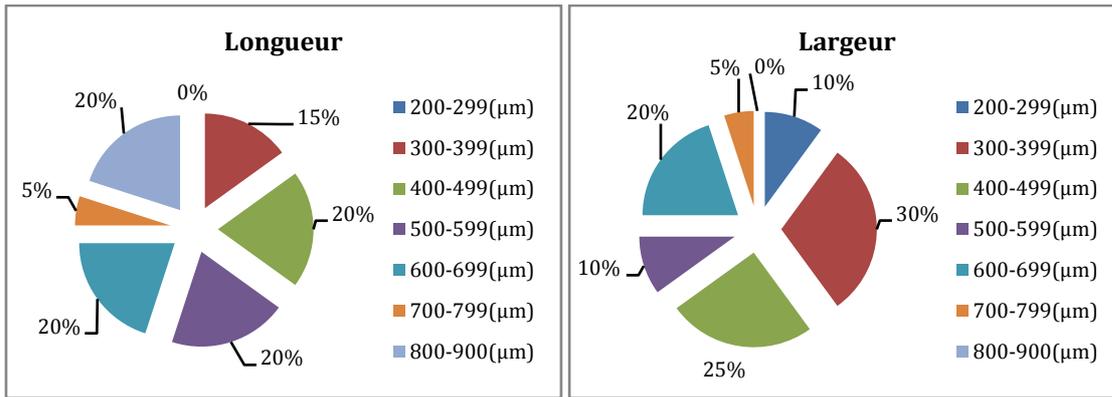


Fig. 44- Répartition géométrique des kystes selon leur taille dans la région de Djendel.

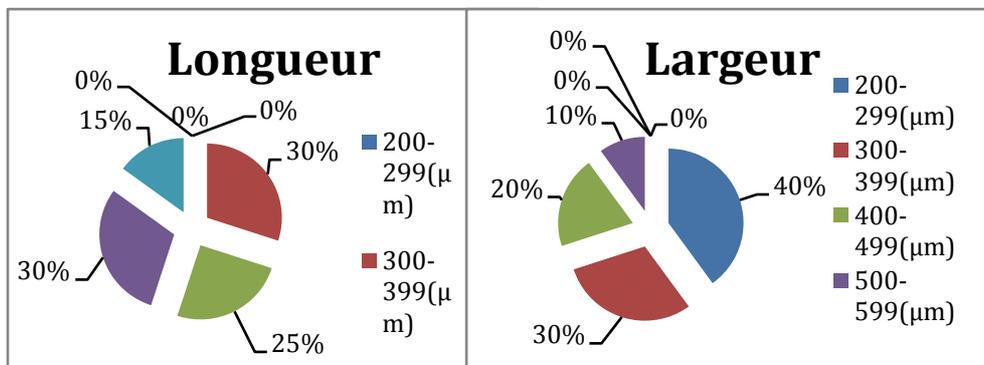


Fig. 45- Répartition géométrique des kystes selon leur taille dans la région de Djoumhouria.

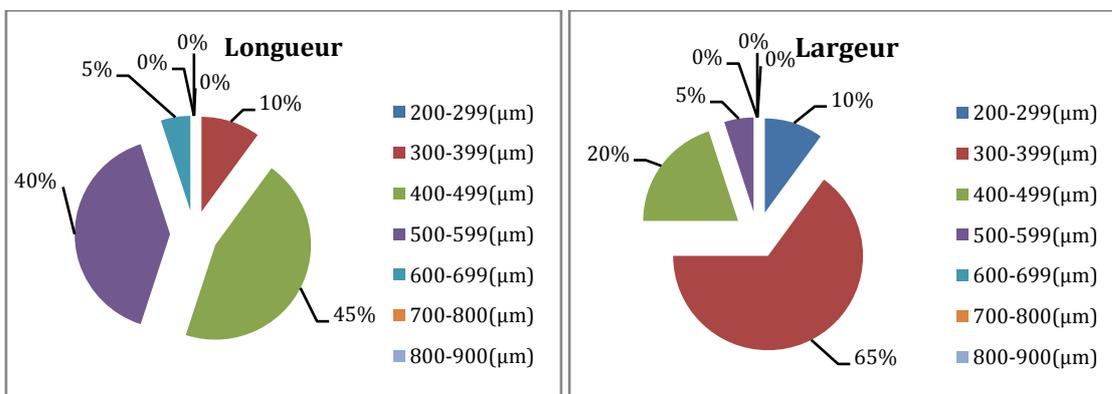


Fig. 46- Répartition géométrique des kystes selon leur taille dans la région d'El Asnam.

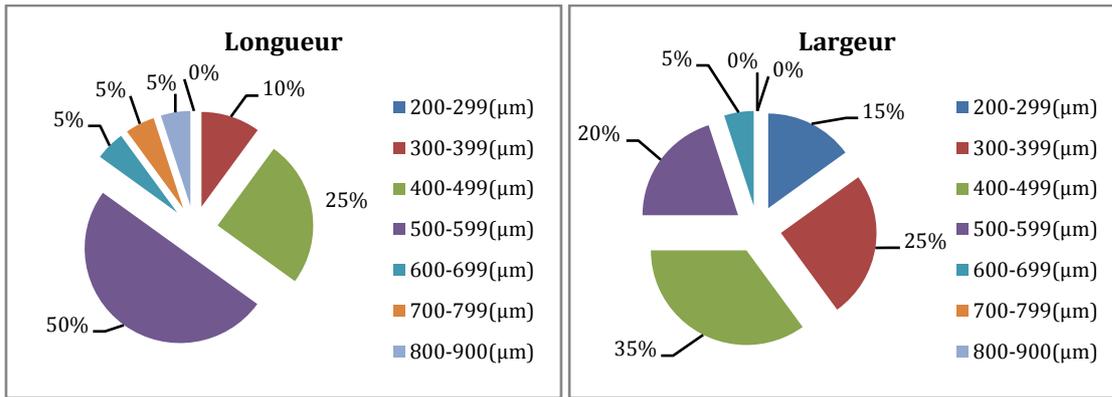


Fig. 47- Répartition géométrique des kystes selon leur taille dans la région d'El Harrach.

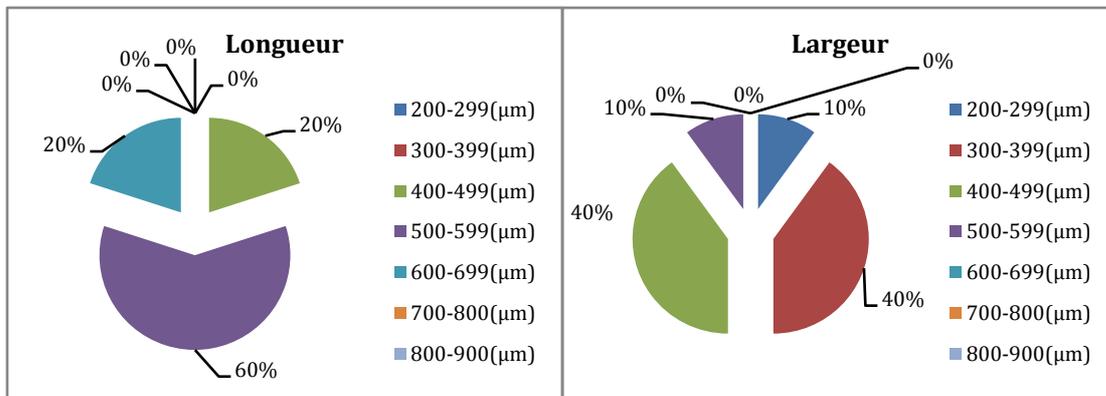


Fig. 48- Répartition géométrique des kystes selon leur taille dans la région de Khémis Miliana.

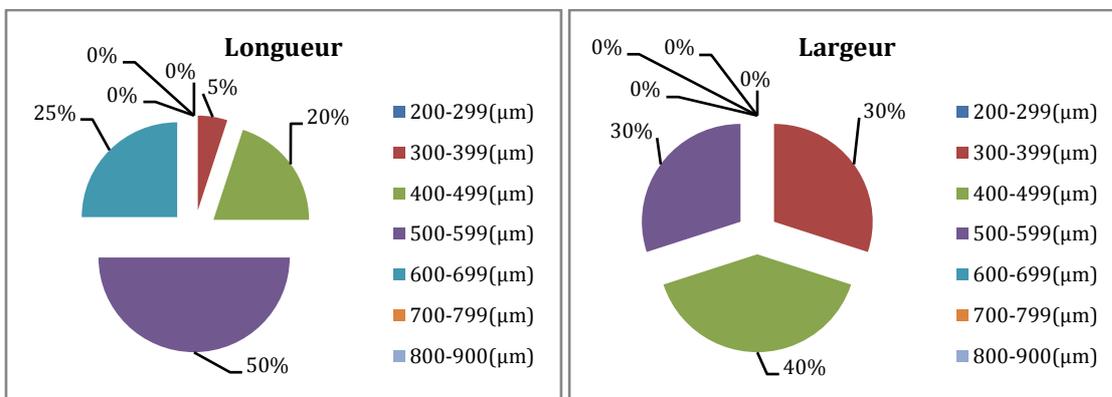


Fig. 49- Répartition géométrique des kystes selon leur taille dans la région de Sétif.

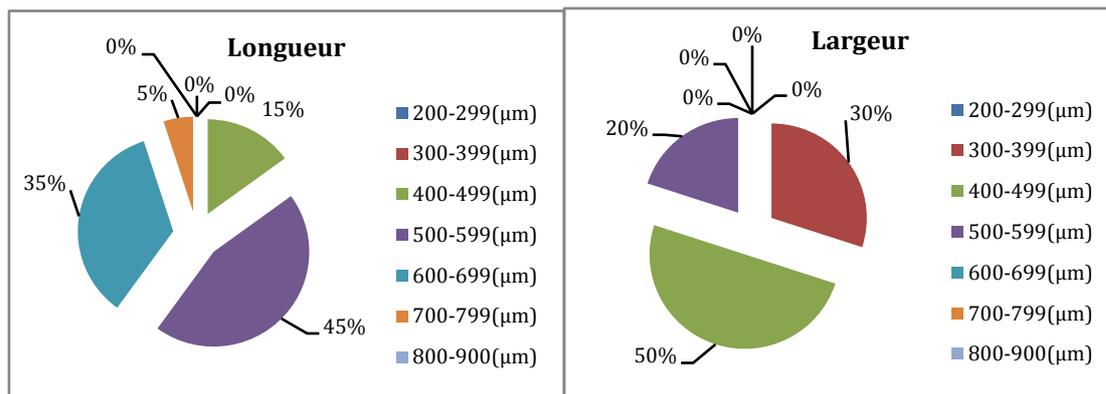
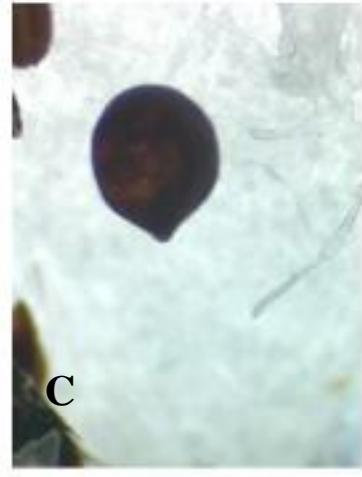


Fig. 50- Répartition géométrique des kystes selon leur taille dans la région de Tipaza.

Les résultats des différents paramètres statistiques montrent que la morphométrie des kystes d'*H. avenae* est très variable d'une région à une autre, certaines populations sont très hétérogènes et d'autres sont beaucoup plus homogènes. Les variations morphométriques ont été observées même sur des populations géographiquement proches telles que Bourached, Djendel et Khémis Miliana où la variance est 3 fois plus importante à Djendel. En plus des conditions de cultures au fil du temps et des caractéristiques édaphiques, peuvent s'ajouter les effets de la qualité de l'hôte à savoir si la variété est sensible, résistante ou tolérante.



I



Fig. 51- Kystes d'*H. avenae* collectés. A : kyste plein de Ain Bessam. B : Kyste chargé en œufs de Sétif. C : kyste peu chargé en œuf de Bourached. D : Kyste vide de Hammadi. E : Kystes vides de Tipaza. F : Kyste plein d'El Harrach.

3-Comparaison entre deux méthodes d'extraction

Afin de juger de la méthode d'extraction la plus pratique et la plus adaptée, les paramètres de comparaison ont porté sur le nombre de kystes collectés à chaque extraction, sur le temps de la manipulation, du nettoyage du matériel et du lieu de travail ainsi que sur la quantité d'eau nécessaire et ce sur deux types de sols. Le premier est limono-sableux (sable grossier 28,83%, sable fin 24,42%, limongrossier 16,27%, limon fin 15,75% et argile 14,7%), le second est limoneux (sable grossier 34,63%, sable fin 12,48%, limongrossier 11,96%, limon fin 20,8% et argile 19,76%)

Les résultats pour chaque type de sol sont rapportés dans les tableaux 18 à 21.

3.1- Extraction par l'appareil de Fenwick

Tab. 18- Résultats d'extraction des échantillons limono-sableux

Nombre de manipulation	Nombre de kystes extraits	Temps de manipulation (mn)	Quantité d'eau consommée (l)
1	8	12	18
2	8	11	≈18
3	7	10	≈18
4	10	10	≈18
5	10	11	≈18
6	10	10	≈18
7	8	9	≈18
8	9	10	≈18
9	10	9	≈18
10	8	11	≈18
Moyenne	8,8	9,4	18

Tab. 19- Résultats d'extraction des échantillons limoneux

Nombre de manipulation	Nombre de kystes extraits	Temps de manipulation (mn)	Quantité d'eau consommée (l)
1	8	12	36
2	7	11	≈ 36
3	6	10	≈ 36
4	6	11	≈ 36
5	7	12	≈ 36
6	6	12	≈ 36
7	6	11	≈ 36
8	8	13	≈ 36
9	7	12	≈ 36
10	8	11	≈ 36
Moyenne	6,9	11,5	36

Le nombre de kystes extraits à partir des échantillons de sol limono-sableux est plus élevé que celui des sols limoneux. Pour 4 échantillons sur 10 l'extraction par l'appareil de Fenwick a été fiable à 100%, pour les 6 échantillons restants la fiabilité est de 80%. Au total, 88% des kystes ont été retrouvés. La quantité d'eau consommée est d'environ 18 litres par extraction. Le temps moyen de manipulation est de 9,4 mn. Pour ce qui est des échantillons limoneux, 69% des kystes ont été extraits avec une quantité d'eau de 36 litres par manipulation et un temps moyen de 11,5 mn. La différence de kystes obtenue est due à la nature du sol limoneux très dense et plein de résidus ce qui rend la collecte de kystes difficile.



Fig. 51- Suspensions récupérées à partir du sol limoneux (A) et limono-sableux (B).

Avantages et inconvénients de la méthode

En éliminant les sables grossiers et les particules d'argile par tamisage, nous ne déposons dans les entonnoirs qu'une petite partie des particules contenues dans l'échantillon de départ, il est ainsi possible de traiter des échantillons plus importants en poids.

L'inconvénient de cette méthode réside dans la nécessité de disposer de l'appareil de Fenwick. Dans ce cas précis nous avons dû solliciter le centre national de contrôle des semences (CNCC).

La conception de l'appareil de Fenwick est simple à réaliser mais il y'a beaucoup de contraintes liées à l'absence de laboratoire de nématologie à l'ENSA. Nous recommandons l'alimentation d'un laboratoire de nématologie en eau non potable (eau de pluie ou eau recyclée) pour une meilleure économie de l'eau.

2.2- Extraction par la méthode de Cobb

Tab. 20- Résultats d'extraction des échantillons limono-sableux

Nombre de manipulation	Nombre de kystes extraits	Temps de manipulation (mn)	Quantité d'eau consommée (l)
1	9	16	24
2	9	15	24
3	10	15	24
4	7	13	24
5	7	13	24
6	8	14	24
7	7	15	24
8	8	14	24
9	9	13	24
10	8	13	24
Moyenne	8,2	14,1	24

Tab. 21- Résultats d'extraction des échantillons limoneux

Nombre de manipulation	Nombre de kystes extraits	Temps de manipulation (mn)	Quantité d'eau consommée (L)
1	6	16	36
2	6	12	36
3	5	16	36
4	7	18	36
5	9	15	36
6	10	20	36
7	8	15	36
8	5	15	36
9	10	14	36
10	6	14	36
Moyenne	7,2	15,5	36

82% des kystes ont été collectés à partir des échantillons limono-sableux, entre 7 et 10 kystes par extraction. La quantité d'eau consommée est de 24 litres à chaque extraction et le temps moyen de manipulation est de 14,1mn. Pour les échantillons limoneux, le nombre de kystes retrouvés est plus faible avec 72% ce qui représente 5 à 10 kystes par extraction. Le temps de manipulation est d'environ 15,5 mn et la quantité d'eau consommée est de 36 litres par extraction. Comme pour l'extraction à l'appareil de Fenwick, la différence de kystes obtenue est due à la nature du sol limoneux très dense et plein de résidus qui étaient bien plus importants avec la méthode de Cobb qu'avec l'appareil de Fenwick. De plus, en sol sableux, les kystes se séparent facilement des particules contrairement au sol limoneux qui présente une forte proportion d'argile dont les particules sont condensées.

Avantages et inconvénients de la méthode

Le mode opératoire de la méthode de Cobb est très simple et ne requière comme matériel qu'un seau et un tamis. L'extraction ne nécessite pas de structure appropriée.

Le seul inconvénient constaté est l'obtention d'une plus grande quantité de résidus qu'avec l'appareil de Fenwick ce qui rend la collecte des kystes plus longue et plus laborieuse mais cet inconvénient peut être corrigé par l'utilisation de tamis superposés.

Conclusion :

Les résultats obtenus par les deux méthodes d'extraction ne montrent pas de différence très significative. Si l'on compare par type de sol, 88% des kystes ont été collectés avec l'appareil de Fenwick contre 82% par la méthode de Cobb pour le sol limono-sableux, la quantité d'eau et le temps de manipulation sont également inférieurs avec l'appareil de Fenwick.

Pour le sol limoneux par contre, 69% des kystes ont été retrouvés par l'appareil de Fenwick contre 72% par la méthode de Cobb malgré que la collecte fût plus longue et plus ardue compte tenu des résidus importants. La quantité d'eau consommée est la même et le temps de manipulation est en moyenne 3mn plus court avec l'appareil de Fenwick.

Si l'on prend en considération le nombre de kystes total extraits : sur 200 kystes, 157 ont été collectés par l'appareil de Fenwick et 154 par la méthode de Cobb ce qui ne représente pas un écart considérable.

Selon TESSIER (2011), les résultats d'une analyse nématologique sont considérés conformes lorsque les deux exigences suivantes sont respectées :

- taux moyen de détection des kystes (nombre total de kystes détectés rapporté au nombre total de kystes apportés dans les témoins contaminés) au moins égal à 60 %.
- kystes non détectés dans les témoins sains.

Si l'on se réfère à ces deux exigences, le résultat de chacune des deux méthodes est considéré comme acceptable.

Les résultats obtenus peuvent présenter une marge d'erreur liée à certains facteurs tels que la précision lors de la manipulation. En effet, la méthode de Cobb nécessite une grande attention et un maniement minutieux, lorsqu'on est pas habitué des pertes peuvent se produire surtout au moment où l'eau doit être déversée dans le tamis. De plus, selon CASWELL et *al.* (1985), le nombre de kystes

collectés dépend également de l'âge et des caractéristiques des kystes utilisés, les vieux kystes contiennent plus d'air et flottent plus que les jeunes kystes, or, cet aspect n'a pas pu être contrôlé lors de nos manipulations car il a fallu utiliser plus de 200 kystes au cours de cette expérience et il aurait été difficile d'obtenir un tel nombre de kystes du même âge et ayant exactement les mêmes caractéristiques. L'utilisation de kystes de différents âges issus d'élevage pourrait donner de meilleures informations sur ces techniques.

Nous pouvons conclure qu'aucune des deux méthodes n'est fiable à 100% et que le choix d'une procédure d'extraction dépend du but de l'échantillonnage, du type de sol, des moyens disponibles et de la préférence de la personne qui effectue l'opération. L'appareil de Fenwick paraît plus précis mais la méthode de Cobb est tout aussi intéressante malgré son manque de popularité, elle nécessite un matériel basique ce qui est très utile en l'absence de l'appareil de Fenwick ou juste dans le cas d'un échantillonnage préventif ou encore pour détecter la présence d'un nématode dans une parcelle donnée, le montage opératoire est très simple et les résultats seraient sûrement plus concluants avec l'utilisation d'un autre tamis pour l'élimination d'une partie des résidus. Autrement dit, la différence de kystes extraits par les deux méthodes peut être tolérée du fait de la simplicité et de l'aisance que procure la méthode de Cobb.

Enfin, l'expérimentation avec l'appareil de Kort est recommandée pour avoir plus d'informations sur les techniques d'analyses nématologiques.

Conclusion

Conclusion

La première partie de ce travail a concerné une étude sur la répartition géographique du nématode à kyste *H. avenae* et l'état d'infestation de quelques parcelles.

Le traitement des échantillons collectés a indiqué que toutes les parcelles prospectées sont infestées mis à part celles de Boumèrdes et de Tipaza où seule une parcelle sur six est infestée avec un degré de 82 kystes/kg de sol.

Le degré d'infestation des 9 parcelles échantillonnées varie de 1 à 129 kystes/kg de sol, valeurs respectives pour Djoumhouria et El Harrach.

Il ressort de cette étude que la seule pratique de rotations ne suffit pas à maintenir le nématode des céréales en dessous du seuil de nuisibilité car le développement d' *H. avenae* dans les parcelles échantillonnées est favorisé par différents facteurs selon les régions tels que la dissémination par l'homme à Ain Defla, la non utilisation de nématicides à Bouira et la négligence des façons culturales à Tipaza. La gestion du nématode des céréales doit faire l'objet d'une lutte intégrée où les rotations et l'usage de variétés résistante est recommandé.

L'étude morphométrique a montré une diversité de mensurations des kystes au sein d'une même population, d'une région à l'autre et entre des régions géographiquement proches. Cette variabilité pourrait être liée à plusieurs facteurs tels que l'influence des paramètres édaphiques (matière organique et humidité), à des facteurs intrinsèques liés à la population elle même et aussi à l'effet des culture.

Pour ce qui est de la seconde partie de l'expérimentation, les nématodes parasites des céréales peuvent être extraits du sol de différentes manières. De nos jours, aucune technique ne permet encore d'extraire la totalité des nématodes contenus dans un échantillon.

Certaines méthodes sont plus efficaces que d'autres pour un type particulier d'échantillon de sol et certaines sont mieux adaptées que d'autres à des fins spécifiques, telles que l'inspection des parcelles et la vérification de la présence ou pas des nématodes dans un échantillon. Ces opérations peuvent être effectués de façon efficace par la méthode de Cobb.

L'analyse des échantillons par l'appareil de Fenwick apporte des résultats très satisfaisants et représente une norme de comparaison à l'échelle mondiale. La méthode de Cobb est révolue dans la plupart des laboratoires du monde au détriment de dispositifs plus laborieux tels que l'appareil de Kort et de Seinhorst et ne reste pratiquée que dans les pays du tiers monde, plus particulièrement les pays d'Afrique noire dépourvus de toute technologie.

En outre, elle peut être proposée provisoirement à l'ENSA dans l'attente de la disponibilité d'un laboratoire de nématologie. Evidemment il serait plus simple et plus urgent d'appeler à la mise en place d'une telle structure mais en attendant la bonne volonté des personnes concernées, les résultats apportés par la méthode de Cobb paraissent assez satisfaisants pour être une alternative à la sollicitation des laboratoires externes où la bureaucratie fait qu'une expérimentation de quelques mois s'effectuera dans un délai doublé.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- 1- **ABBAD ANDALOUSS F., ALAOUI Y., MOKRINI F. et TROCCOLI A.**, 2009- Importance and distribution of the main cereal nematodes in Morocco. Cereals cyst nematodes: status, research and outlook, Pp. 45-50.
- 2- **ABBAS D.**, 1994- *Etude de l'infestation de quelques parcelles de céréales par le nématode à kyste Heterodera avenae dans la région de Djendel, contribution à l'étude du comportement de 3 variétés de blé tendre vis-à-vis de ce nématode.* Mem. ing., Inst. nat. agro., El Harrach, 79p.
- 3- **ABDEL-MAWGOOD A. A., AL-DOS A.A., AL-HAZMI A.S., AL-OTAYK S., AL-REHIAYANI S.M., DAWABAH A.AM et MOUSTAFA K.A.**, 2009- Use of molecular markers for screening wheat germ plasm for cereal cyst nematodes resistance genes (Cre) in Saudi Arabia. Cereals cyst nematodes: status, research and outlook, Ed. CIMMYT, Pp. 177-182.
- 4- **ABDUL-RAZIG A.T., ALDERFASI A. A., AL-HAZMI A. S., AL-YAHYA F. A. et IBRAHIM A.M.**, 1998- Effect of the cereal cyst nematode on growth and physiological aspects of wheat under field conditions. Pakistan Journal of Nematology, N°16, Pp. 55-62.
- 5- **ABDUL-RAZIG A.T., AL-HAZMI A.S. et AL-YAHYA F.A.**, 1999- Damage and Reproduction Potentials of *Heterodera avenae* on Wheat under Outdoor Conditions. Supplement to the Journal of Nematology, Vol. 31, N°4S, Pp. 662-666.
- 6- **ABELARD P., JAHIER J., RIVOAL R. et TANGUY A .M.**, 2001- Utilization of deletions to localize a gene of resistance to the cereal cyst nematode *Heterodera avenae*, on an *Aegilops ventricosa* chromosome. Rev. Plant breeding, N° 115, Pp. 282-284.
- 7- **ABIDOU H., EL-AHMED A., GAUTHIER J.P., RIVOAL R., VALETTE S. et YAHYAOU A.**, 2005- Molecular Polymorphism and Morphometrics of Species of the *Heterodera avenae* Group in Syria and Turkey, Journal of Nematology. Vol. 37, N°2, Pp. 146-154.
- 8- **AGRIOS G.N.**, 2005- *Plant pathology*, Ed. Academic press. 925 p.

- 9- AGUADED S., ANDRES M. F., DELIBES A., DUCE A., GARCIA-OLMEDO F., LOPEZ-BRANA I., MARTIN-SANCHEZ J. A. et ROMEO D., 1993-** Resistance to the cereal cyst nematode (*Heterodera avenae* Woll.) transferred from the wild grass *Aegilops ventricosa* to hexaploid wheat by stepping-stone procedure. *Rev. Theoretical and applied genetic. N°87, Pp. 402-408.*
- 10- AHMADI A.R. et TANHA MAAFI Z., 2009-** Occurrence and distribution of two cereal cyst nematodes *Heterodera avenae* and *Heterodera filipjevi* in Khuzestan province, Iran. *Cereals cyst nematodes: status, research and outlook, Ed. CIMMYT, Pp. 79-81.*
- 11- AIT MENGUELLET S., DAY R., FOURNIER I., JARDIN-MATHE O., LEMAIRE R., SALZET M., STAUBER J. et WISZTORSKI M., 2007-** Imagerie MALDI Une nouvelle technologie pour découvrir et valider de nouveaux biomarqueurs. *Revue médecine/science. N°spécial, Vol. 13.*
- 12- ALARMIC N., BREZILLON M., FAIQ C., ROUBINET E., SCHROEDER M. et TITE A., 2008-** Le semis direct. La vulgarisation de l'agro-écologie : de la théorie au terrain. 4p.
- 13- AL-BANNA L., LAFI H.A. et SADDER C., 2009-** Clonning of parasitism gene from the mediterranean cyst nématode, *Heterodera latipons*. *Cereals cyst nematodes: status, research and outlook, Ed. CIMMYT, Pp. 208-212.*
- 14- ALDERFASI A. A., AL-HAZMI A. S., AL-YAHYA F. A. et IBRAHIM A.M., 1999-** Damage potential and reproduction of *Heterodera avenae* on wheat and barley under Saudi field conditions, *Rev. Nematology, Vol. 1, N° 6 , Pp. 625-630.*
- 15- AL-HAZMI A.S. et DAWABAH A.A.M., 2009-** Present status of cereal cyst nématode (*Heterodera avenae*) in Saudi Arabia. *Cereals cyst nematodes: status, research and outlook, Ed. CIMMYT, Pp. 56-60.*
- 16- ALLEN R., BAUM T. J., DAVIS E. L., GAO B. L., HUSSEY R. S. et MAIER T., 2002-** Identification of a new beta-1,4- endoglucanase gene expressed in the esophageal sub ventral gland cells of *Heterodera glycines*. *Journal of Nematology. N°34, Pp.12-15.*

- 17- AL-REHIYANI et BELAL A.**, 2009- Effect of solarisation on *Heterodera avenae* and wheat yield in Al-Quassim, Saudi Arabia. *Cereals cyst nematodes: status, research and outlook*, Ed. CIMMYT, Pp. 233-236.
- 18- AMARA M., HARRAD F. et KHEYAR M.O.**, 2007- La mécanisation de la céréaliculture algérienne : constat et perspectives. *Annales de l'Institut National Agronomique EI-Harrach*; Vol.28NO 1et 2. Pp 95- 102
- 19- ANDERSSON S. et KERRY B.R.**, 1983- Nematophthora gynophila och Verticilium Chlamydosporium, svampparasiterpacystnetoder. vanligaisvenka. Jordamedforekomst av strasadesystematoder, Vaxtskyddsmotiser. N°47, Pp. 79-80.
- 20- ANDERSSON S., CLARK I., HOLGADO P., MAGNUSSON C. et ROWE J.**, 2009- Management strategies for cereal cyst nematodes *Heterodera spp.* in Norway. *Cereals cyst nematodes: status, research and outlook*, Ed. CIMMYT, Pp. 154-159.
- 21- ANDRES M. F., DELIBES A., DUCE A., EASTWOOD R. F., LOPEZ-BRANA I., MARTIN-SANCHEZ J. A., MONTES M. J., ROMEO M. D. et SIN E.**, 1998- A cereal cyst nematode (*Heterodera avenae* Woll.) resistance gene transferred from *Aegilops triuncialis* to hexaploid wheat. *Rev. Theoretical and Applied Genetics*. N° 96, Pp. 1135-1140.
- 22- ANONYME**, 2009- *Cereals cyst nematodes: status, research and outlook*. Proceeding of the first workshop of the international cereal cyst nematode initiative, Antalya, Turkey. Eds. Dababat A.A., NICOL J. and Riley I.T., 244 p.
- 23- ANONYME**, 2010- *Détection de Globodera pallida et Globodera rostochiensis (nématodes à kystes de la pomme de terre) par épuration ou centrifugation*). Ministère de l'alimentation, de l'agriculture et de la pêche. Réf : Méthode NS./97/01 version b.
- 24- ANONYME**, 2010- *Extraction, détection et identification morphobiométrique des nématodes phytoparasites. Méthodes officielles d'analyses*. Ministère de l'alimentation, de l'agriculture et de la pêche. 37p.
- 25- APPELS R., EASTWOOD R. F., HANNAH M., KOLLMORGEN J. F. et LAGUDAH E. S.**, 1991- *Triticum tauschii* a novel source of resistance to cereal cyst nematode (*Heterodera avenae*). *Rev. Australian journal of agricultural research*, N° 24, Pp. 69-77.

- 26- APPELS R., EASTWOOD R. F. et LAGUDAH E. S., 1994-** A directed search for DNA sequences tightly linked to cereal cyst nematodes resistance genes in *triticum tauschii*. *Rev. Genome*, N°37, Pp. 311-319.
- 27- ARYA H.C., HANDA D.K., MATHUR B.N. et MATHUR, R.L., 1974-** The Occurrence of Biotypes of the Cereal Cyst Nematode (*Heterodera avenae*) in the Light Soils of Rajasthan and Haryana, India, *Rev. Nematologica*. Vol. 20, N° 1, Pp. 19-26.
- 28- ASSOCIATION DE COORDINATION TECHNIQUE AGRICOLE, 1986-** Nématodes des plantes cultivées, fiche 191. Pathogenesis and host specificity in host diseases. *Ed. Pergamon Press, Oxford, Vol:II, Pp. 355-370*.
- 29- ATKINSON H. J., SIJMONS P. C. et WYSS U., 1994-** Parasitic strategies of root nematodes and associated host cell responses. *Rev. Annu Rev Phytopathol. N°32, Pp. 235-259*.
- 30- ATKINSON H. J., BAKHETIA M., CHARLTON W. L., MCPHERSON M. J. et URWIN P. E., 2005-** RNA interference and plant parasitic nematodes. *Trends Plant Sci. N°10, Pp. 362-367*.
- 31- B'CHIR M.M et NAMOUCHI-KACHOURI N., 2008-** Influence de la température sur l'éclosion des populations tunisiennes d'*Heteroera avenae*. *Rev.Nematol. medit. N° 36, Pp. 31-37*.
- 32- B'CHIR M.M, HAJJI A. et NAMOUCHI-KACHOURI N., 2009-** Global importance of the main nematodes associated with cereals in Tunisia. *Cereals cyst nematodes: status, research and outlook, Ed. CIMMYT, Pp. 41-44*.
- 33- BARKER R., BYRD D. W., CINNIE A., FERRIS H., GRIFFIN W. E., NUSBAUM C. J., SMALL R. H. et STONE A., 1976-** Two semi-automatic elutriators extracting nematodes and certain fungi from soil. *Journal of Nematology, Vol. 8, N°3, Pp. 206-212*.
- 34- BAUM T.J., HIATT A., PARROTT W.A., PRATT L.H., HUSSEY R.S., 1996-** Expression in tobacco of a functional monoclonal antibody specific to stylet secretions of the root-knot nematode. *Mol Plant-Microbe Interact, N° 9, Pp. 382-387*.
- 35- BAUM T. J., DAVIS E. L. and HUSSEY R. S., 2004-** Getting to the roots of parasitism by nematodes. *Trends Parasitol. N°20, Pp. 134-141*.

- 36- BEANE J. et WILLIAMS T. D.**, 1982- Variations in Cereal Yield Losses associated with *Heterodera avenae* in England and Wales¹, *EPPO Bulletin*, Vol.12, N° 4, Pp. 485-490.
- 37- BELAIR G. et SIMARD L.**, 2009- Gestion intégrée des nématodes à kyste de la pomme de terre. *Catalogue Agriculture et Agroalimentaire Canada*, Vol. 52, N° 58, 4p.
- 38- BENKHEROUF R.**, 1996- *Etude de l'état d'infestation de quelques parcelles par Heterodera avenae dans la station de l'ITGC de Oued Smar et de Ain Defla, de la biologie et de la virulence de ce parasite*. Mémoire Ing. Inst. Nat. Agro., El Harrach, 68 p.
- 39- BENMESSAOUD M.**, 2011- Contribution à l'étude biométrique de quelques populations du nématodes *Heterodera avenae* Woll. *Inféodé aux cultures céréalières*. Mémoire Mag. Inst. Nat. Agro., El Harrach, 103 p.
- 40- BENNOUR O.**, 1996- *Contribution à l'étude morphologique, systématique et biologique de quelques espèces de nématodes à kystes inféodées aux grandes cultures dans la région de Sétif*. Mémoire Ing. Inst. Nat. Agro., El Harrach, 77 p.
- 41- BENTLEY A.R., FERRAR P.J. et NICOL J.M.**, 2010- *Soil born pathogens of weat: their biology, economic importance and integrated control*. 181p.
- 42- BERK A., DARNELL J., KAISER C.A., LODISH H. et MATSUDAIRA P.**, 2005- *Biologie moléculaire de la cellule*. Ed. De Boek Université, 1096p.
- 43- BERT W., DEEREN A.M., COLAK YILMAZ Z., DE SUTTER N., VIAENE N. et VANDENBOSSCHE E.**, 2009- Cyst nematodes of the genus *Heterodera* in Belgium. *Cereals cyst nematodes: status, research and outlook*, Ed. CIMMYT, Pp. 66-70.
- 44- BHATNAGAR V. K., MATHUR B. N., MIDHA R. L., SAIN R. S., SHARMA S. N. et SHARMA G. L.**, 2007- Development and validation of the first cereal cyst nematode (*Heterodera avenae*) resistant wheat for northern india, *Sabrao journal of Breeding and Genetics*. Vol. 39, N° 1, Pp. 1-16.
- 45- BLANCARD D., LAFON R., MESSIAEN C. M. et ROUXEL F.**, 1991- *Les maladies des plantes maraichères*. Ed. INRA, 556p.

46- BLANCHARD A., 2006- *Identification, polymorphisme et évolution moléculaire de gènes du pouvoir pathogène chez le nématode à kyste de LA pomme de terre Globodera pallida*. Thèse doctorat. Université de Rennes. 230 p.

47- BOGACKI P., KUCHEL H., LEWIS J. H., PALLOTTA M. A., WALLWORK H., WILLIAMS K. J. et WILLSMORE K. L., 2003- Mapping of a QTL contributing to cereal cyst nematode tolerance and résistance in wheat. *Rev. Australian journal of agricultural research*. N° 54, Pp. 731-737.

48- BOLAT N., BISHNOI S. P., CHEN S. L., ELEKSIOGLU I. H., KANWAR R. S., LI H. L., NICOL J. M., OGBONNAYA F., PENG D. L., SAHIN E., SINGH A. K., 2009- Current global knowledge of the usability of cereal cyst nematode resistant bread wheat germ plasm through international germ plasm exchange and evaluation. *Cereals cyst nematodes: status, research and outlook*, Ed. CIMMYT, Pp. 149-153,

49- BOLAT N., BRAUN H. J., CALISKAN M., ELEKSIOGLU I. H., KILINC A. T., NICOL J. M., SAHIN E., TOKTAY H., YILDIRIM A. F., YORGANCILAR A. et YORGANCILAR O., 2009- Long term studies on the cereal cyst nematode *Heterodera filipjevi* in Turkey: International collaboration with regional implications. *Cereals cyst nematodes: status, research and outlook*, Ed. CIMMYT, Pp. 11-16.

50- BONIERBALE M.W., PATERSON A.H., TANKSLEY S.D. et YOUNG N.D., 1989- RFLP mapping in plant breeding : new tools for an old science. *Rev. BioTechnology* , N°7, Pp. 257-264.

51- BOURDON P. et RIVOAL R.,2005- Sélection du ray gras d'Italie pour la résistance du nématode des céréales (*Heterodera avenae*). *Rev. Fourrages*, N° 184, Pp. 577-566.

52- BRANDONISIO A., D'ADDABBO T., ELIA F. et GRECO N., 1993- Damage to Italian crops caused by cyst-forming Nematodes. *Supplement to Journal of Nematology*, Vol. 25, N°4, Pp. 836-842.

53- BRIDGE J., LUC M., et SIROKA R. A., 2005- *Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture*. Ed. CABI publishing, Londre, 843 p.

- 54- BRIDGE J. et STARR L. J.**, 2007- *Plantes nematodes of agricultural importance*. Ed. Academic Press, 150 p.
- 55- BROOKS R., DANIEL R. et MCLENAN D.**, 2002- *The nature of diversity: an evolutionary voyage of discovery*, Ed. The University of Chicago Press, Chicago, 602p.
- 56- BROWN R. H.**, 1972- Chemical control of the cereal cyst nematode (*Heterodera avenae*) in Victoria. A comparison of systemic and contact nematicides. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, N° 12, Vol. 59, Pp. 662-667.
- 57- BROWN R. H. et MEAGHER J. W.** , 1974- Micro-plot Experiments On the Effect of Plant Hosts On Populations of the Cereal Cyst Nematode (*Heterodera aenae*) and On the Subsequent Yield of Wheat. *Nematologica*, Vol. 20, N° 3, Pp. 337-346.
- 58- BROWN R. H.**, 1982- Cultural Practices and their Effects on *Heteroderaavenae* and Grain Yields of Wheat in Victoria, Australia1. *EPPO Bulletin*, Vol. 12, N° 4, Pp. 477-484.
- 59- BROWN R. H.**, 1984- Ecology and Control of Cereal Cyst Nematode (*Heteroderaavenae*) in Southern Australia. *Journal of Nematology*., Vol. 16, N° 3, Pp. 216-222.
- 60- BROWN R. H. et KERRY B. R.**, 1987- *Principles and practices of nematodes control in crops*. Ed. Academic Press. Sidney. 447 p.
- 61- BRUN F., BUISSON A. , CHABERT A., CHAMPEIL A., FOURNET S., RUCK L., TAUPIN P. ET THIBORD J.B.**, 2012- Effets des systèmes de production sur les populations de nématodes nuisibles aux grandes cultures : recherche de méthodes pratiques de diagnostic et de gestion des risques. *Innovations Agronomiques*. N° 25, Pp.205-217.
- 62- CARVER B. F.**, 2009- *Weat, science and trade*, Ed. Black well, Iowa, 616 p.
- 63- CASTILLO P., MADANI M., MOENS M., SUBBOTIN S.A. et VOLVAS N.**, 2004- Molecular Characterization of Cyst Nematode Species (*Heterodera spp.*) from the Mediterranean Basin using RFLPs and Sequences of ITS-rDNA, *Journal of Phytopathology*. N°152, Pp. 229-234.
- 64- CAYROL J. C.**, 1971- Les nématodes des cultures. Ed. ACTA. 560 p.

- 65- CAYROL J. C.**, 1993- Les biopesticides à l'assaut des nématodes du sol. *Rev. La recherche*. N°24, Pp. 78-80.
- 66- CHAMBERLAIN D., FOSU-NYARKO J., JONES M. G. K., PERERA M. RANA J., PERERA F. et ZHANG J. J.**, 2009- Towards developing transgenic resistance to nematodes in wheat. *Cereals cyst nematodes: status, research and outlook*, Pp. 191-194.
- 67- CHAMOLA O. B. P., DUEBY P., MUKERJI RAJEEV G., MUKHERJI K. G. et UPADHYAY H.**, 2009- *Integrated pest and disease management*, Ed. APH Publishing corporation, New Delhy, 694 p.
- 68- CHEHAT F.**, 2007- Analyse macroéconomique des filières, la filière blés en Algérie. Projet PAMLIM «Perspectives Agricoles et Agroalimentaires Maghrébines Libéralisation et Mondialisation », Pp. 7-9.
- 69- CHELLEMI D. O., MCSORLEY R., MITCHELL D. J. OLSON S. M. et SECKER I.**, 1997- Adaptation of soil solarization to the integrated management of soil born pests of tomato under humid conditions. *Phytopathology*. N°87, Pp. 250-258.
- 70- CHEN S. Y., CHEN Z. X. et WARD DICKSON D.**, 2004- Nematology, advances and perspectives, *Vol. 2, Ed. Tsinghua university press, 1019 p.*
- 71- CHEN S., HOU S., LI H., MA P., NICOL J. M., PENG D. et RILEY I.**, 2009- Current knowledge cereal cyst nematode (*Heterodera avenae*) on wheat in China. *Cereals cyst nematodes: status, research and outlook*, Pp. 29-34,
- 72- CHET I., COHN E. et SPIEGE L.** 1989- Use of Chitin for Controlling *Heterodera avenae* and *Tylenchulus semipenetrans*. *Journal of Nematology*. N°21, Vol. 3, Pp. 419-422.
- 73- CIANICO A. et MUKERJI G.**, 2008- *Integrated management and biocontrol of vegetable and grain crops nematodes*. Ed. Springer, Netherlands, 356 p.
- 74- CLARKSON D.T., HAGUE N.M. et PRICEN.S.**, 1982- The uptakeof potassium and phosphorus in oatsinfestedwith the cerealcystnematode, *Heteroderaavenae*.*Revue Nematol*.Vol.5, N° 2, Pp. 321-325.

- 75- CLAUDIUS-COLE B., COYNE D. L. et NICOL J. M.,** 2010- *Les nématodes des plantes, un guide pratique des techniques de terrain et de laboratoire.* Ed. IITA, Institut International d'Agriculture Tropicale, 82 p.
- 76- COHN E., SPIEGEL Y. et MOR M.,** 1992- Phenology, Pathogenicity and Pathotypes of Cereal Cyst Nematodes, *Heterodera avenae* and *H. Latipons* (Nematoda, Heteroderidae) in Israel. *Rev. Nematologica*. Vol. 38, N° 1-4, Pp. 494-501.
- 77- COLENO A.,** 1989- *Protection des plantes. Evolution, adaptation. Propositions pour les cultures vivrières tropicales. Plantes vivrières tropicales.* Ed. Aupelf-uref. Paris. Pp. 91-101.
- 78- COLOMBO A., HANDOO Z., LOMBARDO S. et RAPISARDA C.,** 2009- Occurrence and distribution of cyst nematodes infecting cereals in Sicily, Italy. *Cereals cyst nematodes: status, research and outlook*, Pp. 61-65.
- 79- CORBAZ R.,** 1990- *Principes de phytopathologie et lutte contre les maladies des plantes.* Ed. ISBN, Lausanne, 285 p.
- 80- CROSNIER J. C., ROBERT Y. et ROUSSELLE P.,** 1996- *La pomme de terre : production, amélioration, ennemies et maladies, utilisations.* Ed. INRA, 607p.
- 81- CRUMB D. H.,** 1987- Effect of time sampling, method of isolation and age of nematode on the species of fungi isolated from females of *Heterodera schachtii* and *H. avenae*. *Rev. Nématology*. Vol. 10, N° 3, Pp. 369-373.
- 82- CURTIS B. C., GOMEZ MACPFERSO N. et RAJARAM S.,** 1994- Directive sur la bonne pratique phytosanitaire: principes de bonne pratique phytosanitaire. Bulletin OEPP, N°24, Pp. 233-240.
- 83- DACKMAN C. et NORDBRING-HERTZ B.,** 1985- Fungal Parasites of the Cereal Cyst Nematode *Heterodera avenae* in Southern Sweden, *Journal of Nematology*, Vol. 17, N°1., Pp. 50-55.
- 84- DAHAN A., FAHIMA T., GRAMA A., KORL A.B., NEVO E., PENG J. H., RODER M. S. et RONON Y. I.,** 1999- Microsatellite tagging of the strip rust resistance gene YrH52 derived from wild emmer wheat, *Triticum dicoccoides*, and suggestif negative crossover interference on chromosome 1B. *Rev. Theoretical and applied genetics*, N°89, Pp. 862-872.

- 85- DALMASSO A., BRANCO-LACOMBE G. et MUNK R.**, 1971- Association de coordination agrocole, Les nématodes des cultures. ED. ACTA. Pp. 373-392.
- 86- DANTEC J. P., ELLISSECHE D., FOUVILLE D., MUGNIERY D. et ROUSSELLE-BOURGEOIS F.**, 2001- Résistance à *Globodera pallida* Pa2/3 chez *Solanum sparsipilum*. *Rev. Nematol.* N°3, Pp. 619-626.
- 87- DAVET P.**, 1996- *Vie microbienne du sol et production végétale*, Ed. INRA, 288 p.
- 88-DAVIDE R. G.**, 2007- Nematode survey and collection of samples. http://www.inibap.org/pdf/IN050684_en.pdf
- 89- DAVIES K. G., FLYNN C. A., KERRY B. R. et LAIRD V.**, 1990- The life-cycle, population dynamics and host specificity of a parasite of *Heterodera avenae*, similar to *Pasteuria penetrans*. *Rev. nematol.* Vol. 13, N° 3, Pp. 303-309.
- 90- DAVY D E., VIRVILLE J. et PERSON-DEDRYVER F.**, 1989- Croissance et intensité respiratoire des racines de différentes Triticinées tolérantes ou résistantes à *Heterodera avenae* Woll., infestées ou non par le nématode, *Rev. Nématology.* Vol. 12, N°4, Pp. 379-386.
- 91- DAWES B.**, 1994- *Advences in parasitology*, Ed. US Edition, 205 p.
- 92-DE WAELE D. et SPEIJER P. R.**, 2000- Nematode resistance in Musa, *Review of IPM research activities– Nematodes*, Pp. 119-126.
- 93-DECKER H.**, 1981- *Plant nematodes and their control (Phytonematology)*, Ed. Pauls Press, New Delhy, 437 p.
- 94-DELIBES A., EASTWOOD R. F., JAHIER J., LAGUDAH E. S., LOPEZ-BRANA I., OGBONNAYA F. C. et SEAH S.**, 2001- Molecular-genetic characterization of a new nematode résistance gene in wheat. *Rev. Theoretical and Applied genetics*, N° 102, Pp. 623-629.
- 95- DEVIKA G. S. et NAIK M. K.**, 2008- *Advances in soilborn plant deseases*. Ed. New IndiaPublishingAgency. 431 p.
- 96- DJADI F.**, 1995- *Contribution à l'étude de la biologie du nématode à kyste Heterodera avenae. Essai de comportement de quelques variétés de blé vis-à-vis de cette espèce*. Mem. ing., Inst.nat.agro., El Harrach, 75p.

- 97-DJERMOU N.**, 2009- La production céréalière en Algérie: les principales caractéristiques, *Rev. Nature et technologie*, N° 1, Pp. 45-53.
- 98-DORE C. et VAROQUAUX F.**, 2006- *Histoire et amélioration de 50 plantes cultivées*, Ed. INRA. Paris, 809 p.
- 99- DOUSSINAULT G., HULLE M. et RIVOAL R.**, 1990- Influence of *Heterodera avenae* on winter wheat in France: experiments with resistant and susceptible varieties, *Annals of Applied Biology*, Vol. 116, N° 3, Pp. 537-548.
- 100- DUCHESNE J., LILI Z., NICOLAS H. et RIVOAL R.**, 1991- Detection of *Heterodera avenae* infestations on winter wheat by radiothermometry, *Revue Nématol.*, Vol. 14, N°2 , Pp.285-290.
- 101- DURAND H.**, 2001- *Méthodes de laboratoire pour la détection et l'identification des nématodes phytopathogènes Globodera pallida et Globodera rostochiensis*. Note de service DGAL/SDQPV/N2001-8117. Ministère de l'Agriculture de France. 12 p.
- 102- EASLEY S. A., GOURLIE J. A., INGHAM E., SMILEY W. et WHITTAKER R. G.**, 2005- Plant-Parasitic Nematodes Associated with Reduced Wheat Yield in Oregon: *Heterodera avenae*, *Journal of Nematology*, Vol. 37, N°3, Pp. 297–307.
- 103- EASLEY S., PINKERTON J., SHEEDY J., SMYLEY R., THOMSON A. et YAN G. P.**, 2007- Cereal cyst nematodes: distribution, yield reduction and crop management strategies. *Oregon Agricultural Experiment Station Special Report N°1074*, Pp. 15-29.
- 104- EASTWOOD R. F., LAGUDAH E. et OGBONNAYA F. C.**, 2009- Identification and utilization of genes for cereal cyst nematodes (*Heterodera avenae*) resistance in wheat: the Australian experience. *Cereals cyst nematodes: status, research and outlook*, Pp. 166-171.
- 105-EBRAHIMI N., GITTY M., KAZEMI H., KHOSHKHABAR Z. H., MOHHAMADI POUR M., NICOL J. M. et TANHA MAAFI Z.**, 2009- Cereal cyst nematodes, root rot pathogens and root lesion nematodes affecting cereal production in Iran. *Cereals cyst nematodes: status, research and outlook*, Pp. 17-22.
- 106- ELEKCIOGLU I. H., ENNELI S., OZTURK G., RUMPENHORST H. J. et STURHAN D.**, 1996- The cereal cyst nematode *Heterodera filipjevi* (Madzhidov) in Turkey, *Rev. Nematol. Medit.*, N°24, Pp. 135-138.

- 107- ELEKCIOGLU I. H., IRMEN M., NICOL J. M., OCAL A. et TOKTAY H.,** 2009- Occurrence of cereal cyst nematode, *Heterodera avenae* in south east Anatolia, Turkey. *Cereals cyst nematodes: status, research and outlook*, Pp. 87-82.
- 108- FERHAOUI S.,** 1993- *Contribution à l'étude de la biologie du nématode à kyste des céréales Heterodera avenae (Nematoda-Heteroderidae) dans la région de djendel. Essai de comportement variétal*. Thèse Ing. Agro., Inst. Nati. Agro., El Harrach, 102 p.
- 109- FISHER J. M. et WILLIAMS K.,** 1993- Development of *Heterodera avenae* Woll. and host cellular responses in susceptible and resistant wheat. *Rev. Fundam. appl. Nematol.*, Vol. 16, N° 5, Pp. 417-423.
- 110- FISHER J. M., LANGRIDGE P. et WILLIAMS K. S.,** 1994- Identification of RFLP markers linked to the cereal cyst nematode resistance gene (Cre) in wheat. *Rev. Theoretical and applied genetic*. N°89, Pp. 927-930.
- 111- FUSHTEY S. G. et JOHNSON P. W.,** 1996- The Biology of the Oat Cyst Nematode, *Heterodera avenae* in Canada. I. the Effect of Temperature On the Hatchability of Cysts and Emergence of Larvae, *Rev. Nematologica*, Vol. 12, N° 2, Pp. 313-320.
- 112- GOWEN S. R., KERRY B. R. et MITCHINSON S.,** 2009- Increased biodiversity in cereal cyst nematode infestation is not a threat to intensive cereal production in southern Britain., *Cereals cyst nematodes: status, research and outlook*, Pp. 215-220,
- 113- GOZEL U., OKA Y., MOR M. et SPIEGEL Y.,** 2009- Cereal cyst nematode in Israel, and their biology and control strategies. *Cereals cyst nematodes: status, research and outlook*, Pp. 118-123.
- 114- GRAHAM C. W. et STONE L. E. W.,** 1975- Field experiments on the cereal cyst-nematode (*Heterodera avenae*) in south-east England, *Annals of Applied Biology*, Vol. 80, N° 1, Pp. 61-73.
- 115- GRANDISON G. S.,** 1982- The Status of *Heterodera avenae* on Cereals in New Zealand, *EPPA Bulletin*, Vol. 12, N° 4, 1982, Pp. 333-334.
- 116- GRECO N., INSERRA R. N., TROCCHI A. et VOVLAS N.,** 2002- The Mediterranean cereal cyst nematode, *Heterodera latipons* : a menace to cool season cereals of the United States. *Rev. Nematology, Circulaire N° 221*, 6p.

- 117- GRYMASZEWSKA G. et GOLINOWSKI W.,** 1991- Structure of Syncytia Induced by *Heterodera avenae* Woll. in Roots of Susceptible and Resistant Wheat (*Triticum aestivum* L.), *Journal of Phytopathology*, Vol. 133, N° 4, Pp. 307-319.
- 118- HAJJI A., MOULDI M. B., et NAMOUCHI-KACHOURI N.,** 2008- Effects of Initial Populations of *Heterodera avenae* on Wheat and Barley Yield Components and on Final Nematode Populations under Tunisian Field Conditions. *Tunisian Journal of Plant Protection*, Vol. 3, N°2, Pp.19-26.
- 119- HALE J.,** 2000- L'usage des pesticides en lutte intégrée. Colloque sur la lutte intégrée en serre produire, fleurir et nourrir avec la lutte biologique et intégrée en serre. Centre de Référence en Agriculture et Agroalimentaire du Québec. 6 p.
- 120- HAMMERAAS B., HOLGADO R., MAGNUSSON C. et STOEN M.,** 2003- The occurrence and hosts of cereal cyst nematodes (*Heterodera* sp.) in Norway. *International Journal of Nematology* N°6, Pp. 857-865.
- 121- HAMROUN O., MOKABLI A. et SMAHA D.,** 2009- Soil temperature and hatching of *Heterodera avenae* in Algeria. *Cereals cyst nematodes: status, research and outlook*, Pp. 130-133.
- 122- HANDA D. K., MATHUR B. N., SETHI C. L., SHARMA G. L., SWARUP G. et YADAV B. D.,** 1986- On the loss estimation and chemical control of 'Molya' disease of wheat caused by *Heterodera avenae* in India, *Indian Journal of Nematology*, Vol. 16, N° 2, Pp. 45-56.
- 123- HANDOO Z. A.,** 2002- A Key and Compendium to Species of the *Heterodera avenae* Group (Nematoda: Heteroderidae). *Journal of Nematology*. Vol. 34, N°3, Pp. 250-262.
- 124- HARROUCHE F.,** 1998- Aperçu sur l'état d'infestation de quelques parcelles de céréales par *Heterodera avenae* dans la région de Staoueli. *Morphométrie et systématique de quelques population du genre Heterodera*. Mem. Ing., Ins. Nati. Agro., El Harrach, 101 p.
- 125- HENRY M., MONNEVEUX P., NACHIT M. M., RIVOAL R., VALKOUN J. et ZAHARIEVA M.,** 2001- Evaluation of a collection of wild wheat relative *Aegilops geniculata* Roth and identification of potential sources for useful traits, *Rev. Euphytica* N°119, Pp.33-38.

- 126- HERMANN O.**, 2004- Détection des nématodes à kyste et importance d'un bon échantillonnage du sol. *Rev. Le betteravier*. N° 204. P 10.
- 127- HERMANN O.**, 2006- Nema-check : une nouvelle méthode d'analyse des nématodes. *Rev. Le betteravier*. N° 424. P 21.
- 128- IBRAHIM S. K., PERRY R. N. et RAJA N.**, 1998- Characterization of the hatching fluid from *Heterodera avenae*, *Rev. Nem.*, Vol. 44, N° 2, Pp. 171-179.
- 129- ITGC**, 2011- Journal la tribune; La céréaliculture en Algérie; 08-12-2010.
- 130- JAKOBSEN J.**, 1978- Experience in Denmark with Cereal Cultivars Resistant to Cereal Cyst Nematode (*Heterodera avenae* Woll.), *EPPO Bulletin*, Vol. 8, N° 1, Pp. 29-36.
- 131- KADA A.**, 1999- Contribution à l'étude de l'état d'infestation de quelques parcelles par le nématode à kyste des céréales *Heterodera avenae* dans deux régions (Dar El Beida et Tiaret). Capacité d'hôte d'une population d'*Heterodera latipons* à l'égard d'un blé dur « vitron ». Mem. Ing., Ins. Nat. Agro., El Harrach, 81 p.
- 132- KALLEL S., MENSI I. et NAMOUCHI KACHOURI N.**, 2011- Recherches sur des antagonistes naturels d'*Heterodera avenae* dans diverses conditions de cultures de blé dur, *Triticum durum*, en Tunisie. *Rev. Nematol. medit.*, N° 39, Pp. 141-149.
- 133- KARAPETYAN J. A. et MKRTCHYAN R. S.**, 2001- *Species diversity of plant parasitic nematodes associated with tobacco (Nicotiana tabacum) in Armenia*. Sixth national conference of parasitology, Ed. Pensoft, Sofia, 115 p.
- 134- KERRY B.**, 1980- Biocontrol Fungal Parasites of Female Cyst Nematodes 1. *Journal of Nematology*, Vol. 12, N° 4, Pp. 253-259.
- 135- KERRY B. R. et CRUMP D. H.**, 1998- The dynamics of the decline of the cereal cyst nematode, *Heterodera avenae*, in four soils under intensive cereal production. In : Fundamental and applied nematology : issue dedicated to Jan Willem Seinhorst. *Fundamental and Applied Nematology*. Vol. 21, N°5, Pp. 617-625.
- 136- KHAN A. et WILLIAMS K. L.**, 1998- Resent studies on *Paecilomyces liacinus* as a bionematicide. *Rev. Nematology*, Vol. 44, N° 5, Pp. 519-520.

- 137- KHEDIM A.**, 2012- Journal *L'econews*, Algérie - Des experts parlent de céréaliculture: Pas assez de fertilisants. <http://www.algeria-isp.com/actualites/economie-agriculture/201211-A13182/algerie-des-experts-parlent-cerealiculture-pas-assez-fertilisants.html> (communication salon de l'agriculture)
- 138- KUMAR A. et WILLIAMSON V. M.**, 2006- Nematode resistance in plants: the battle underground. *Trends Genet.* N° 22, Pp. 396-403.
- 139- LAMBERTI F., GRECO N. ET ZAOUCHI H.**, 1975- A nematological survey of date palms and other major crops in Algeria. A nematological survey of date palms and other major crops in Algeria. *FAO Plant Protection Bulletin*, Vol. 23, N° 5, Pp. 156-160.
- 140- LIU J., PENG D. L., WU H. Y, YU G. L. et ZHANG G. M.**, 2009- Observations and morphometrics of cereal cyst nematode from Binzhou, Shandong, China. *Cereals cyst nematodes: status, research and outlook*, Pp. 124-129.
- 141- LOMBION J.**, 2007- Protection phytosanitaire en culture de pomme de terre biologique Fiche 2 : *Lutte contre les ravageurs*, N° 258, Pp. 35-38.
- 142- LUC M. et MERNY G.**, 1968- *Les techniques d'évaluation des populations de nématodes dans le sol et dans les tissus végétaux*. Ed. ORSTOM, Côte d'Ivoire. 70 p.
- 143- MCGORVEN R. J. et MCSORLEY R.**, 2000- Effect of solarization and ammonium amendments on plant-parasitic nematodes. *Journal of nematology.* N°32, Pp. 537-541.
- 144- MCKAY A. C. et RILEY I. T.**, 2009- Cereal cyst nematodes in Australia : Biography of an biological invader. *Cereals cyst nematodes: status, research and outlook*, Pp. 23-28.
- 145- MCSORLE Y.**, 2000- Sampling and extraction techniques for nematodes, Manual of techniques in nematodes ecology. Ed. WHEELER T., FORGE T. and CASWELL-CHEN E. Pp. 25-27.
- 146- MAEGHER J. W.**, 1977- World Dissemination of the Cereal-Cyst Nematode (*Heterodera avenae*) and its potential as a pathogen of wheat 1. *Journal of Nematology*, Vol. 9, N° 1, Pp. 9-15.
- 147- MEAGHER J. W.**, 1981- The Effect of Environment on Survival and Hatching of *Heterodera avenae*, *EPPO Bulletin*, Vol. 12, N° 4, Pp. 361-369.
- 148- MEAGHER J. W.**, 1982- Yield Loss Caused by *Heterodera avenae* in Cereal Crops Grown in a Mediterranean Climate1. *EPPO Bulletin*, Vol. 12, N° 4, Pp. 325-331.

- 149- MOENS M., SUBBOTIN S. A., WAEYENBERGE L. et ZHENG J.**, 2000- Molecular characterization of chinese *Heterodera glycine* and *Heterodera avenae* populations based on RFLPs and sequences of rDNA-ITS regions. *Russian journal of nematology*. Vol. 8, N°2, Pp. 109-113.
- 150- MOENS M., SUBBOTIN A., STURHAN D. and RUMPENHORST H. J.**, 2002- Description of the Australian cereal cyst nematode *Heterodera australis* sp. n. (Tylenchida: Heteroderidae). *Russian Journal of Nematology*, Vol. 10, N° 2, Pp. 139-148
- 151- MOENS M., SUBBOTIN S. A., et WAEYENBERGE L.**, 2009- Identification of cyst forming nematodes of the genus *Heterodera* (Nematoda: Heteroderidae) based on the ribosomal rDNA-RFLPs. *Rev. Nematology*. N°1, Pp. 153-164.
- 152- MOENS M., SUBBOTIN S. A., VIAENE N. et WAEYENBERGE L.**, 2009- Molecular identification of *Heterodera* spp., an overview of fifteen years of fifteen years of research. *Cereals cyst nematodes: status, research and outlook*, Pp. 109-114.
- 153- MOKABLI A., RIVOAL R. et VALETTE S.**, 1998- Influence of temperature on hatching of the cereal cyst nematodes *Heterodera avenae* and *Heterodera latipons*, from different geographic origins, in Mediterranean regions. *Rev. Nematology*. Vol. 44, N°4, Pp. 538-539.
- 154- MOKABLI A.**, 2002- *Biologie des nématodes à kystes (Heterodera) des céréales en Algérie. Virulence de quelques populations à l'égard de diverses variétés et lignées de céréales*. Thèse Doct., Inst. Nat. Agro., El Harrach, 63 p.
- 155- MRABET R.**, 2001- *Le semis direct : potentiel et limite pour une agriculture durable en Afrique du Nord*. Nations Unies. Commission Economique pour l'Afrique. 33p.
- 156- NAOUI Y.**, 1999- *Etude de la bioécologie des deux espèces de nématodes à des kystes des céréales Heterodera avenae et Heterodera latipons (Nematoda, Heteroderidae) dans quelques régions céréalières d'Algérie*. These Ing. Inst. Nat. Agro. El Harrach, 82p.
- 157- NICKLE W. R.**, 1991- *Manual of agricultural nematology*. Ed. Marcel Decker, New York, 1025 p.
- 158- NICOL J. M.**, 2002- Important nematode pests. In Bread wheat: improvement and production. Ed. Norme OEPP, Pp. 345-366.

- 159- NIVALL R. F.**, 1999- *Field crop diseases*. Ed. Iowa States University Press, 939 p.
- 160-OULD HAMOUDA W.**, 2013- Journal Horizons, Agriculture, la céréaliculture représente 30% de la production agroalimentaire ; 24/02/2013.
- 161- PARIHAR A., SHARMA S. K. et SIDDIQUI U.**, 2009- Studies on morphometric variation within the population of *Heterodera zea* on cereals in India. *Cereals cyst nematodes: status, research and outlook*, Pp. 73-78.
- 162- PRICE S. N. et SANDERSO J.**, 1984- The translocation of calcium from oat roots infected by the cereal cyst nematode *Heterodera avenae* (Woll.). *Revue Nématol. Vol. 7, N°3.Pp.239-243*.
- 163- RAYNAL G.**, 1989- *Ennemis et maladies des prairies*, Ed. I.N.R.A., Paris, 242 p.
- 164- REDDY P. P.**, 1983- *Plant nematology*. Agric. Publis. Acad., India 287 p.
- 165- REMINI N.**, 1997- *Etude préliminaire sur le nématode à kyste des céréales Heterodera latipons dans la région de Béjaia. Cycle d'éclosion de quelques populations du genre Heterodera*.Thèse. Ing. Inst. Nat. Agro. El Harrach, 76 p.
- 166- RENCO M.**, 2005- Current Occurrence and Geographical Distribution of *Heterodera avenae* Woll enweber 1924 in the Slovak Republic, *Rev. Plant protect. Sc., Vol. 41, N° 2, Pp. 80-85*.
- 167- RIBA G. et SILVY C.**, 1989- *Combattre les ravageurs des cultures, enjeux et perspectives*, Ed. INRA, Paris, 180 p.
- 168- RITTER A. D.**, 1971- *Les nématodes des cultures*. Association de coordination agricole. Ed. ACTA. 561 p.
- 169- RITTER M.**, 1981- Importance des nématodes à kystes des céréales 2.*OPPE Bulletin, Vol. 12, N° 4, Pp. 307-316*.
- 170- RIVOAL R.**, 1975- Le nématode à kystes des céréales, *Heterodera avenae* Woll., en France: nuisibilité, caractéristiques biologiques et perspectives de lutte 1. *EPPO Bulletin, Vol. 5, N° 4, Pp. 425-435*.

- 171- RIVOAL R.**, 1978- Biologie d'*Heterodera avenae* Woll enweber en France, différences dans les cycles d'éclosion et de développement des deux races, Fr 1 et Fr 4. *Rev. Nematol.* Vol. 1, N°2, Pp. 171-179.
- 172- RIVOAL R.**, 1979- Biologie d'*Heterodera avenae* Wollenweber en France II. Etude des différences dans les conditions thermiques d'éclosion des races Fr1 et Fr2. *Revue Nématol.* Vol. 2, N° 2, Pp. 233-248.
- 173- RIVOAL R.**, 1982- Caractérisation de deux écotypes d'*Heterodera avenae* en France par leurs cycles et conditions thermiques d'éclosion. *Bulletin OEPP*, N°12. Pp. 353-359.
- 174- RIVOAL R.**, 1983- Biologie d'*Heterodera avenae* Woll enweber en France, évolution des diapauses des races Fr 1 et Fr 4 au cours de plusieurs années consécutives; influence de la température. *Revue Nématol.* Vol. 6, N° 2, Pp. 157-164.
- 175- RIVOAL R.**, 1987- *Cycle biologique des nématodes à kyste (Heterodera)*. Ed. INRA. RENNES. 1p.
- 176- ROMEO M. D.**, 1982- Characterization of *Heterodera avenae* in Spain, *EPPO Bulletin*. Vol. 12, N°4, Pp. 345-347.
- 177- ROVIRA A. D. et SIMON A.**, 1981- Integrated Control of *Heterodera avenae*, *EPPO Bulletin*, Vol. 12, N° 4, Pp. 517-523.
- 178- ROVIRA A. D.**, 1982- Integrated Control of *Heterodera avenae* 1, *EPPO Bulletin*, Vol. 12, N° 4, Pp. 517-523.
- 179- ROVIRA A. D.**, 2007- The impact of soil and crop management practices on soil-borne root diseases and wheat yields. *Soil Use and Management*, Vol. 6, N°4, Pp. 195-200.
- 180- RUMPENHORST H. J., STURHAN D. et SUBBOTIN S. A.**, 1996- Morphological and electrophoresis studies on populations of the *Heterodera avenae* complex from the former USSR. *Russian journal of nematology*. Vol. 4, N° 1, Pp. 29-38.
- 181- RUMPENHORST H. J., STURHAN D.**, 1996- Untersuchungen über den *Heterodera avenae* Komplex. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem. N°75, Pp. 75-91.

- 182- SALT G. A. et WILLIAMS T. D.**, 2008- The effects of soil sterilants on the cereal cyst-nematode (*Heterodera avenae* Woll.), take-all (*Ophiobolus graminis* Sacc.) and yields of spring wheat and barley. *Annals of Applied Biology*, Vol. 66, N° 2, Pp. 329-338.
- 183- SASHI B. R., SHARMA D. P. et UMAR O.**, 2009- Preliminary findings of transgenic approaches to manage cereal cyst nematode in India. *Cereals cyst nematodes: status, research and outlook*, Pp. 204-207.
- 184- SCHMELZER G. H.**, 2008- *Plantes médicinales*. Ed. PROTA, Wageningen, 869 p.
- 185- SHAHINA F.**, 1989- *Studies of the important plant parasitic nematodes of cereal and vegetable crops of Pakistan with special reference to Heterodera zae and Heterodera avenae*. Thèse doc., Faculty of science. Karachi, 340 p.
- 186- SHARMA A. K., SHORAN J. et SINGH A. K.**, 2009- *Heterodera avenae* and its management on wheat in India. *Cereals cyst nematodes: status, research and outlook*, Pp. 17-22.
- 187- SHARMA D. P.**, 2004- *Plant pathology*. Ed. Rastogi, New Delhi, 465 p.
- 188- SHARMA S. B.**, 1998- *The cyst nematodes*. Ed. Cluwer Academic Publishers, Pays-Bas, 452 p.
- 189- SIDDIQI M. R. et WILLIAMS T. D.**, 1972- *Heterodera avenae*. Description of plant parasitic nematodes. *Common wheat agric. Set 1, N°2, 4p*.
- 190- SMILEY R. W. et YAN G. P.**, 2009- Discovery of *Heterodera filipjevi* on wheat in USA. *Cereals cyst nematodes: status, research and outlook*, Pp. 94-99.
- 191- SMILEY R. W.**, 2009- Occurrence, distribution and control of *Heterodera avenae* and *H. filipjevi* in the Western USA. *Cereals cyst nematodes: status, research and outlook*, Pp. 35-40.
- 192- STOYANOV D.**, 1982- Cyst-forming Nematodes on Cereals in Bulgaria. *EPPO Bulletin*, Vol. 12, N° 4, Pp. 341-344.
- 193- TAYLOR A. L.**, 1968- Introduction à la recherche sur les nématodes phytoparasites. *Mannuel F.A.O. , Rome, 135p*.
- 194- TESSIER R.**, 2011- *Détection des nématodes du genre Globodera*. *Ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche, de la ruralité et de l'aménagement du territoire*.

Note de service DGAL/SDQPV/N2011-8098. 23 p.

195- THOMAS F., 2006- Colza : Gérer positivement les pailles, sécuriser la structure et changer de précédent. *Rev. Techniques culturales simplifiées* . N° 38, Pp. 14-25.

196- VAN SCHOLL L., 2005- *Gérer la fertilité du sol*. Ed Digigrafi et Mageningen. 86 p.

197- VLACHOPOULOS E. G., 1994- Plant protection problems caused by phytonematodes in Greece, *EPPPO Bulletin*, Vol. 24, N° 2, Pp. 413-415.

198- VOLVAS N., 1985- Morphology and hystopathology of the cereal cyst nematode (*Heterodera avenae* Woll.) attacking wheat, oat and barley in Italy, *Rev. Nematol.medit.*, N° 13, Pp. 87-96.

199- WALLWORK H., 2000- *Cereal root crown diseases*. Ed. Australian 2000. 62p.

Annexes

Annexe A

L'Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique permet de connaître sous forme pondérale la répartition des particules minérales inférieures à 02 mm, selon des classes de grosseur. Il s'agit de déterminer la répartition statique des particules d'un échantillon dans ces différentes classes granulométriques.

Principe :

L'analyse granulométrique est une opération qui implique la dissociation complète de matière pédologique jusqu'à l'état de particule élémentaire, et donc la destruction total des agrégats et fragments d'agrégats. Elle nécessite ainsi de supprimer l'action des ciments.

Un premier traitement assure la destruction de la matière organique par l'eau oxygénée. Ensuite, en l'absence de ciments, une longue agitation dans l'eau suffit en présence d'un sel dispersant (l'hexamétaphosphate de sodium). Il faut vérifier enfin qu'aucune floculation ne se produit.

Selon la loi de Stokes, plus une particule est grosse et plus elle tombe vite dans l'eau, sachant que la température de l'eau influe sur cette vitesse. Après une dernière agitation homogénéisant d'un échantillon de poids connu (10g) dans une allonge pleine d'eau, la sédimentation peut se donner libre cours sous la seule action de la gravité. Au bout d'un temps t , à une profondeur p , les particules de grosseur x sont toutes passées au cours de leur chute, y compris celles parties du point le plus haut de la suspension. On prélève une aliquote de la suspension à ce moment et à cette profondeur, garce à une pipette. Après évaporation de l'eau de cette aliquote, on détermine aisément le poids de particules inférieures au seuil de grosseur x . la détermination des particules inférieur à $20\mu\text{m}$ se fait d'abord ainsi (environ 4 minutes et 45 secondes à 10cm) puis celle de la fraction argile (8 heures à 10cm à $20\text{ }^\circ\text{C}$).

Pour connaître les proportions pondérales des autres fractions, on opère par tamisage du sable fin (SF) et sable grossier (SG). En ce qui concerne le limon grossier, il y a plusieurs façons d'opérer.

La première consiste à prélever à la pipette l'ensemble des fractions < 50 µm (environ 45 secondes à 10cm). Une deuxième méthode consiste à estimer limon grossier (LG) par différence :

$$LG = 100 - (A + LF + SF + SG + Hum. + MO)$$

Calcul 1

échantillon	Argil	Argile+LF	Argile+LF+LG	SG	SF
Poids P _{X(g)}	0,06	0,09	0,121	2,746	2,348

Calcul des pourcentages :

$$\text{Coefficient de correction} = \frac{100}{100 - (MO\% + H\%)} = \frac{100}{100 - (1.9 + 2.1)} = 1.05$$

P_X : poids de l'échantillon

P₀ : poids de dispersant (hexametaphosphate de sodium) = 0.032 g

$$\text{Argile (\%)} = \frac{(P_X - P_0) * 1000 * 100}{20 * 10} * (\text{coefficient de correction}) = 14,7\%$$

$$A + LF\% = \frac{(P_X - P_0) * 1000 * 100}{20 * 10} * (\text{coefficient de correction}) = 30,45\%$$

$$LF\% = [(A + LF) - (Argile)] = 15,75\%$$

$$A + LF + LG\% = \frac{(P_X - P_0) * 1000 * 100}{20 * 10} * (\text{coefficient de correction}) = 46,72\%$$

$$LG\% = [(A + LF + LG) - (A + LF)] = 16,27\%$$

$$SF\% = \frac{P_x * 100}{10} * (\text{coefficient de correction}) = 24,42\%$$

$$SG\% = \frac{P_x * 100}{10} * (\text{coefficient de correction}) = 28,83\%$$

Echantillon 1	Argile	LF	LG	SG	SF	(%) total
Percentage %	14,7%	15,75%	16,27%	28,83%	24,42%	99,97

Calcul 2

échantillon	Argil	Argile+LF	Argile+LF+LG	SG	SF
Poids P _{X(g)}	0,07	0,11	0,133	3,33	1,2

Calcul des pourcentages :

$$\text{Coefficient de correction} = \frac{100}{100 - (MO\% + H\%)} = \frac{100}{100 - (2.1 + 2.4)} = 1.04$$

P_x : poids de l'échantillon

P₀ : poids de dispersant (hexametaphosphate de sodium)

$$\text{Argile}(\%) = \frac{(P_x - P_0) * 1000 * 100}{20 * 10} * (\text{coefficient de correction}) = 19,76\%$$

$$A + LF(\%) = \frac{(P_x - P_0) * 1000 * 100}{20 * 10} * (\text{coefficient de correction}) = 40,56\%$$

$$LF(\%) = [(A + LF) - (\text{Argile})] = 20,8\%$$

$$A + LF + LG(\%) = \frac{(P_x - P_0) * 1000 * 100}{20 * 10} * (\text{coefficient de correction}) = 52,52\%$$

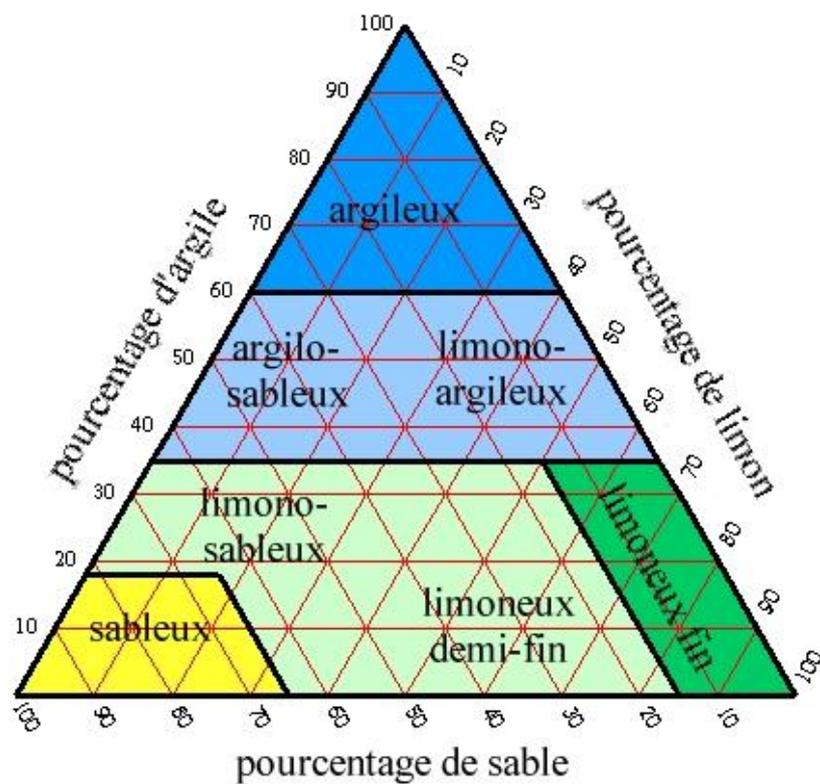
$$SF\% = \frac{P_x * 100}{10} * (\text{coefficient de correction}) = 52,52\%$$

$$SF\% = \frac{P_x * 100}{10} * (\text{coefficient de correction}) = 12,48\%$$

$$SG\% = \frac{P_x * 100}{10} * (\text{coefficient de correction}) = 34,63\%$$

Echantillon 2	Argile	LF	LG	SG	SF	(%) total
Percentage %	19,76%	20,8%	11,96%	34,63%	12,48%	99.63

Une fois les pourcentages calculés, la texture est déterminée à partir du triangle texturale : échantillon 1 : texture limono-sableuse, échantillon 2 : texture : limoneuse.



Annexe B

Tab. 1- Mensurations enjûmdes kystes d'*H. avenae* de la population de Ain Bessam

Kyste N°	Longueur (L)	Largeur (l)	Cou	Cône vulvaire	Rapport L/l
1	390	300	30	30	1,30
2	390	330	30	15	1,18
3	480	360	15	30	1,33
4	450	360	30	30	1,25
5	420	330	30	30	1,27
6	465	390	30	45	1,19
7	510	420	45	30	1,21
8	480	405	15	30	1,19
9	420	330	30	30	1,27
10	450	390	45	45	1,15
11	510	360	15	15	1,42
12	570	450	45	30	1,27
13	450	330	30	30	1,36
14	600	510	30	45	1,18
15	450	360	60	30	1,25
16	420	240	30	15	1,75
17	540	450	45	30	1,20
18	570	495	45	30	1,15
19	510	390	45	30	1,31
20	390	270	30	45	1,44
Moyenne	473,25	373,5	33,75	30,75	1,28

Tab. 2- Mensurations en μm des kystes d'*H. avenae* de la population de Bourached

Kyste N°	Longueur (L)	Largeur (l)	Cou	Cône vulvaire	Rapport L/l
1	570	480	15	15	1,12
2	510	360	30	30	1,29
3	480	240	30	30	1,27
4	540	420	45	30	1,21
5	510	390	30	15	1,62
6	540	450	30	45	1,29
7	570	480	30	45	1,50
8	570	435	15	60	1,13
9	450	375	30	60	1,11
10	420	330	30	15	1,47
11	390	270	30	15	1,67
12	450	330	15	15	1,13
13	480	390	15	30	1,17
14	450	360	30	45	1,27
15	570	450	30	15	1,17
16	570	480	30	60	1,47
17	540	435	15	30	1,21
18	510	390	30	30	1,50
19	555	450	45	30	1,50
20	495	390	30	30	1,91
Moyenne	508,5	395,25	27,75	32,25	1,35

Tab. 3- Mensurations en μm des kystes d'*H. avenae* de la population de Djendel

Kyste N°	Longueur (L)	Largeur (l)	Cou	Cône vulvaire	Rapport L/l
1	690	600	30	60	1,15
2	360	450	15	15	0,80
3	840	720	120	60	1,17
4	720	570	120	60	1,26
5	840	630	60	60	1,33
6	660	570	30	30	1,16
7	660	420	60	30	1,57
8	390	270	15	60	1,44
9	810	600	60	60	1,35
10	450	390	30	15	1,15
11	570	450	30	150	1,27
12	330	450	45	30	0,73
13	480	390	15	90	1,23
14	420	360	60	45	1,17
15	630	480	75	60	1,31
16	570	240	30	15	2,38
17	510	330	60	30	1,55
18	420	330	30	60	1,27
19	510	345	45	30	1,48
20	840	630	60	60	1,33
Moyenne	585	461,25	49,5	51	1,31

Tab. 4- Mensurations en μm des kystes d'*H. avenae* de la population de Djoumhouria

Kyste N°	Longueur (L)	Largeur (l)	Cou	Cône vulvaire	RapportL/l
1	510	390	75	30	1,31
2	420	300	30	30	1,40
3	570	420	30	30	1,36
4	420	270	60	45	1,56
5	390	240	60	30	1,63
6	420	270	60	30	1,56
7	630	480	30	45	1,31
8	510	360	45	30	1,42
9	600	450	45	75	1,33
10	510	390	45	45	1,31
11	360	210	45	30	1,71
12	540	510	60	30	1,06
13	630	540	45	30	1,17
14	570	420	60	30	1,36
15	360	390	90	45	0,92
16	450	390	30	15	1,15
17	420	270	45	30	1,56
18	300	210	45	30	1,43
19	300	270	60	30	1,11
20	330	240	75	30	1,38
Moyenne	462	351	51,75	34,5	1,35

Tab. 5- Mensurations en μm des kystes d'*H. avenae* de la population d'El Asnam

Kyste N°	Longueur (L)	Largeur (l)	Cou	Cone vulvaire	Rapport L/l
1	510	420	30	45	1,21
2	510	390	15	30	1,31
3	450	330	30	30	1,36
4	480	390	30	45	1,23
5	465	360	45	45	1,29
6	570	480	30	45	1,19
7	540	390	30	30	1,38
8	630	540	15	30	1,17
9	510	390	45	30	1,31
10	390	270	45	15	1,44
11	465	330	30	45	1,41
12	540	435	45	30	1,24
13	420	330	15	15	1,27
14	480	360	30	45	1,33
15	450	390	30	15	1,15
16	540	450	30	30	1,20
17	510	360	45	30	1,42
18	420	330	45	30	1,27
19	390	240	15	30	1,63
20	495	360	30	30	1,38
Moyenne	488,25	377,25	31,5	32,25	1,31

Tab. 6- Mensurations en μm des kystes d'*H. avenae* de la population d'El Harrach

Kyste N°	Longueur (L)	Largeur (l)	Cou	Cone vulvaire	Rapport L/l
1	430	510	60	60	0,84
2	600	430	60	80	1,40
3	570	530	30	90	1,08
4	570	480	100	30	1,19
5	560	420	100	30	1,33
6	700	460	50	50	1,52
7	550	500	60	30	1,10
8	530	380	80	70	1,39
9	500	400	60	50	1,25
10	470	390	90	60	1,21
11	520	570	70	20	0,91
12	430	290	60	30	1,48
13	430	320	50	80	1,34
14	510	400	60	40	1,28
15	390	300	70	60	1,30
16	300	240	80	70	1,25
17	400	300	100	70	1,33
18	500	280	90	50	1,79
19	800	600	80	50	1,33
20	580	450	100	70	1,29
Moyenne	517	412,5	72,5	54,5	1,28

Tab. 7- Mensurations en μm des kystes d'*H. avenae* de la population de Hammadi

Kyste N°	Longueur (L)	Largeur (l)	Cou	Cône vulvaire	Rapport L/l
Unique	810	630	60	90	1,29

Tab. 8- Mensurations en μm des kystes d'*H. avenae* de la population de Khémis-Miliana

Kyste N°	Longueur (L)	Largeur (l)	Cou	Cône vulvaire	Rapport L/l
1	630	570	90	60	1,11
2	510	390	15	30	1,31
3	480	270	30	30	1,78
4	540	390	45	60	1,38
5	540	420	60	15	1,29
6	600	480	120	45	1,25
7	630	480	60	30	1,31
8	570	435	15	60	1,31
9	540	390	30	60	1,38
10	510	420	30	15	1,21
11	420	270	30	15	1,56
12	480	330	45	15	1,45
13	510	390	15	60	1,31
14	450	360	60	45	1,25
15	540	390	30	60	1,38
16	570	480	30	60	1,19
17	630	510	120	30	1,24
18	540	330	45	150	1,64
19	570	450	75	30	1,27
20	585	480	60	90	1,22
Moyenne	542,25	411,75	50,25	48	1,34

Tab. 9- Mensurations en μm des kystes d'*H. avenae* de la population de Sétif

Kyste N°	Longueur (L)	Largeur (l)	Cou	Cône vulvaire	Rapport L/l
1	510	540	60	45	0,94
2	570	480	30	45	1,19
3	690	570	30	30	1,21
4	630	510	60	30	1,24
5	540	390	15	45	1,38
6	570	390	60	30	1,46
7	510	420	90	30	1,21
8	690	540	60	45	1,28
9	600	480	60	30	1,25
10	450	360	30	30	1,25
11	450	360	30	60	1,25
12	390	300	30	30	1,30
13	510	450	45	30	1,13
14	510	390	75	30	1,31
15	540	450	60	30	1,20
16	600	510	60	60	1,18
17	450	450	60	30	1,00
18	420	480	60	30	0,88
19	570	540	60	30	1,06
20	540	420	30	30	1,29
Moyenne	537	451,5	50,25	36	1,20

Tab. 10- Mensurations en μm des kystes d'*H. avenae* de la population de Tipaza

Kyste N°	Longueur (L)	Largeur (l)	Cou	Cône vulvaire	Rapport L/l
1	570	510	30	30	1,12
2	540	420	75	45	1,29
3	570	450	60	15	1,27
4	510	420	60	60	1,21
5	630	390	45	30	1,62
6	540	420	75	30	1,29
7	630	420	90	60	1,50
8	510	450	60	30	1,13
9	600	540	60	60	1,11
10	750	510	30	30	1,47
11	600	360	30	90	1,67
12	540	480	30	90	1,13
13	630	540	30	60	1,17
14	570	450	30	75	1,27
15	420	360	30	90	1,17
16	660	450	75	30	1,47
17	510	420	60	60	1,21
18	450	300	60	30	1,50
19	450	300	30	30	1,50
20	630	330	45	30	1,91
Moyenne	565,5	426	50,25	48,75	1,35