
Les cahiers de l'ADMES

**DE L'IMAGE VIDEO A
L'IMAGE NUMERISEE
DANS DES T.P. UNIVERSITAIRES
DE BIOLOGIE**

Pierre CLEMENT, Valdiodio NDIAYE

Numéro 9 - 1995

RESUME

Les déplacements d'animaux, ou d'autres objets, peuvent être filmés et numérisés en temps réel (25 images par seconde, dans un espace de 512 x 512 pixels) pour être ensuite caractérisés par des indices chiffrés, et comparés entre eux. Réalisée en T.P. à l'Université, cette trajectométrie automatique permet de consacrer plus de temps à la définition des questions à résoudre et des protocoles expérimentaux, ainsi qu'au traitement, à l'analyse et à l'interprétation de résultats. L'observation de coupes histologiques au microscope est aidée par une

caméra installée sur le microscope, elle-même couplée à un micro-ordinateur permettant à l'étudiant de dessiner directement sur écran son interprétation sur une image numérisée d'une coupe. La numérisation des contours de structures sur des coupes sériées devrait permettre leur reconstruction en 3D, qui peut ensuite être observée sous différents angles : la conceptualisation par les étudiants de l'articulation entre 2D et 3D est un des obstacles majeurs dans ce type de T.P.

INTRODUCTION

Nous avons réalisé une série de recherches pour évaluer l'utilisation de la vidéo dans les Travaux Pratiques universitaires de Biologie : la communication de V.Ndiaye dans le présent volume en expose certains résultats.

L'objet de cette communication est d'explorer en quoi la numérisation possible d'images vidéo peut renouveler certaines pratiques de T.P. universitaires. Certes, tout film scientifique, souvent utilisé comme structurant antérieur en T.P., ou comme document accompagnateur lors des cours magistraux, peut désormais être réalisé plus facilement en utilisant, pour son montage, les nouvelles possibilités de numérisation d'images vidéo. Celles-ci permettent aussi de composer des génériques et autres documents

avec des animations qui étaient jusqu'alors hors de portée financière. Mais ces possibilités sont valables pour tout document filmé, et ne sont en rien spécifiques d'enseignements scientifiques : nous ne développerons donc pas ce point ici.

Nous limiterons à présenter deux innovations possibles utilisant, pour des T.P. de Biologie, la numérisation d'images issues d'une caméra vidéo. La première (trajectométrie automatique) fonctionne bien dans notre équipe de recherche et a déjà été utilisée pour des T.P. La seconde (incrustation d'un schéma sur une image vidéo fixe) est encore en projet, mais réaliste puisque toute la technologie nécessaire est disponible sur le marché.

LA TRAJECTOMETRIE AUTOMATIQUE : SUIVI ET ANALYSE DE DEPLACEMENTS

Les recherches que nous avons jusqu'à présent effectuées sur l'observation de comportements animaux lors de T.P. universitaires, ont surtout comparé l'utilisation d'animaux vivants en salle de T.P. à celle de documents vidéo observés par les étudiants en situation plus ou moins interactive (Ndiaye et Clément 1988, Ndiaye 1990 et dans le présent volume). Dans tous ces cas, l'observation est

visuelle, tant dans l'identification des actes moteurs que pour leur chronométrage.

Ces pratiques de recueil visuel d'indices comportementaux ont récemment été révolutionnées, dans les laboratoires de recherche, par l'automatisation de ce recueil, qui passent par la numérisation d'images vidéo puis par l'analyse

automatique des images numérisées.

Plusieurs systèmes de numérisation des déplacements animaux ont vu le jour ces dernières années. L'un des premiers, et qui reste encore l'un des plus performants au monde, a été mis au point par une collaboration entre l'équipe de P.Clément et des roboticiens de Grenoble, dans le cadre de la RCP-CNRS dirigée par P.Clément (1982-1987) : Clément et al 1983, 1985, 1988, Coulon et al 1983, Clément 1986.

Un tel système (actuellement commercialisé par la SECAD SA dans l'Ain) est tout à fait utilisable dans des séances de T.P. universitaires et scolaires, pour numériser et analyser les déplacements d'un animal (biologie) ou de tout objet en mouvement (physique : vitesse, accélération, frottements, ...). Nous l'avons déjà utilisé pour des T.P. universitaires.

Le principe du système est le suivant (figure 1) :

* L'animal (ou tout autre objet en mouvement) est filmé à la verticale : il suffit qu'il y ait un contraste suffisant entre cette cible et le fond pour que, après binarisation de l'image, la cible apparaisse blanche sur fond noir ou noire sur fond blanc (l'expérience montre qu'un léger contraste entre l'animal et son environnement suffit; dans certains cas, par exemple pour des cailles : Mills et al 1990, nous avons mis un brassard sur le dos de l'animal). La caméra est soit directement branchée sur l'ordinateur qui numérise le trajet, soit branchée sur un magnétoscope (un VHS suffit) pour que le film soit stocké et analysé ultérieurement (couplage magnétoscope - micro-ordinateur).

* L'image filmée est binarisée, puis analysée par une carte SECAD complétée par des logiciels spécifiques (LTIRF, INPG), le tout sur un micro-ordinateur PC-compatible. L'expérimentateur superpose une fenêtre sur l'image à l'écran de l'animal : c'est cette fenêtre qui va être analysée en temps réel, et qui se déplacera automatiquement avec l'image de l'animal. La carte d'analyse d'images comprend deux plans de mémoire qui fonctionnent

simultanément et alternativement: l'un acquiert les données pendant que l'autre les stocke. Les données ainsi acquises 25 fois par seconde sont:

. le centre de gravité de l'image de l'animal, dans un espace de 512 x 512 pixels;

. l'axe directionnel du corps de l'animal, entre 0° et + ou - 180° (l'expérimentateur indique la direction de la tête en début d'expérience) ;

. la surface en pixels de l'image de l'animal.

Une version récente permet de suivre plusieurs animaux en même temps (multi-cibles), et une version expérimentale permet de suivre l'animal sur une grande distance, par asservissement automatique de la caméra qui se déplace à la verticale de l'animal suivi.

* Les données ainsi numérisées constituent les «trajets», et sont stockées dans des fichiers. Ceux-ci sont utilisés pour calculer tous les paramètres qui intéressent l'expérimentateur, selon les problèmes qui l'intéressent (logiciels ADTA) : vitesse de déplacement, moyenne ou maximales (des histogrammes sont disponibles); sinuosité; angle moyen; pourcentage de reculs ou de déplacements sur le côté; distance à vol d'oiseau par rapport au point de départ (ou par rapport à tout autre point), surfaces explorées; redressements de l'animal, etc. Le même trajet peut être découpé en segments pour étudier l'évolution de ces paramètres dans le temps, ou pour ne s'intéresser qu'aux trajets dans une zone précise. D'autres paramètres peuvent être calculés dans le cas du suivi multi-cibles (distance des animaux entre eux, à chaque instant = chaque 40 msec).

Un tel système peut aussi bien être utilisé pour étudier les déplacements d'insectes (par exemple la recherche de proies par les coccinelles: Ferran et al 1994) que celui de **rongeurs** dans une enceinte (par exemple l'ontogenèse motrice de la gerbille: Le Berre et al 1988). La fiabilité des indices mesurés fait qu'il est de plus en plus utilisé dans des firmes pharmaceutiques ou de cosmétologie pour mesurer des réactions comportementales à différents types de produits (nous avons eu plusieurs contrats dans ce cadre) : les étudiants de l'IUT Biologie appliquée envisagent donc de l'utiliser en routine dans leurs T.P.

Dans l'immédiat, nous l'avons utilisé de façon expérimentale en T.P. d'éthologie dans le cadre de la maîtrise des Sciences Naturelles. Nous avons ainsi fait analyser aux étudiants des comportements non orientés, dont la trace devient visible sur l'écran au fur et à mesure de la numérisation du trajet (figure 2), pour étudier l'influence de divers paramètres sur les caractéristiques des déplacements (ici l'intensité lumineuse sur la nage d'un animal planctonique, un rotifère) : il devient ainsi possible de mettre en évidence des phénomènes qui jusqu'ici passaient inaperçus : la remarque «j'ai l'impression que l'animal tourne plus sur lui-même» se traduit désormais en indices chiffrés comparables par des tests statistiques classiques.

Dans ce T.P. expérimental, le seul problème que nous avons rencontré est que nous ne disposons que d'un poste équipé (emprunté à l'équipe de recherche de P.Clément), sur lequel des groupes successifs de 3 ou 4 étudiants ont travaillé en rotation. Mais l'équipement d'une salle de T.P. est facilement envisageable : de telles salles équipées de micro-ordinateurs existent déjà : il suffirait d'y adjoindre des cartes et logiciels de Trajectométrie (SECAD). Le T.P. comporte une phase active d'acquisition des images filmées

(VHS); la salle informatique devra ensuite être utilisée pour numériser les trajets filmés (avec initialisation active du suivi par l'étudiant, puis décision sur la durée/longueur du trajet à acquérir), puis pour calculer les indices voulus sur les trajets numérisés, et comparer les trajets entre eux de façon à répondre aux questions posées en début de T.P.

Les étudiants aiment bien ce type de T.P., à condition d'avoir des explications suffisantes sur le fonctionnement de la numérisation des trajets, puis sur la nature des indices calculés sur lesquels ils auront à travailler : il faut en effet que l'ensemble ne soit pas pour eux une boîte noire un peu magique. Si cette condition est remplie, le T.P. peut devenir plus intelligent par l'automatisation du recueil de données qui sans cela serait fastidieux et occuperait toute la durée du T.P. Le temps ainsi dégagé peut être utilisé pour travailler sur les phases de la démarche expérimentale qui sont trop souvent traitées trop vite dans les T.P. universitaires : définition du problème à résoudre et du protocole expérimental, avant même l'expérimentation; puis, après l'acquisition de résultats, leur analyse pour voir jusqu'à quel point ils répondent aux questions posées.

IMAGES NUMERISEES : SCHEMATISATION ET ANALYSE DE COUPES HISTOLOGIQUES

Tous les universitaires ou enseignants du secondaire qui ont animé des T.P. durant lesquels les étudiants utilisent principalement un microscope optique (cytologie, histologie, embryologie, mais aussi la micro-anatomie animale ou végétale), connaissent la difficulté de communication avec les étudiants pour les aider dans leurs observations.

Un pas en avant important est franchi quand une caméra est branchée sur le microscope et permet à l'enseignant et à l'étudiant de discuter en pointant du doigt sur l'écran vidéo les structures dont ils parlent. Un tel système est utilisé dans les T.P. universitaires d'embryologie à l'Université Lyon 1, et son efficacité a été évaluée par V.Ndiaye (1990) dans le cadre de sa thèse de Didactique de la Biologie. Mais un autre pas en avant peut être franchi en couplant

la vidéo à un micro-ordinateur équipé d'une carte d'analyse d'image avec palette graphique couleurs (Béguet 1991 pour les T.P. d'embryologie). L'image peut en effet être stabilisée sur le moniteur, et interprétée non plus par le dessin papier classique, mais par un schéma incrusté sur l'image du moniteur. Plusieurs schémas interprétatifs peuvent ainsi être stockés en mémoire, et discutés avec l'enseignant qui a ainsi les moyens d'identifier les difficultés d'interprétation de l'étudiants, et de focaliser son intervention sur ce qui fait obstacle.

Sur ces deux exemples, (numérisation et analyse de trajets, et numérisation/schématisation de coupes histologiques), nous mesurons combien les images numériques peuvent renouveler la pratique des T.P.

Il sera ainsi possible en fin de parcours d'imprimer (en couleurs si les finances suivent) le schéma d'interprétation de l'étudiant, qui pourra être juxtaposé, dans le compte rendu du T.P., à l'image initiale numérisée. L'intérêt d'une telle solution serait de revaloriser, de renouveler sans la supprimer, la pratique du dessin que nombre d'étudiants trouvent plutôt ringarde. La finalité du schéma comme interprétation d'une structure deviendrait plus évidente.

Et l'évaluation des schémas des étudiants par l'enseignant serait radicalement renouvelée elle aussi : en effet, l'évaluation actuelle se fait en général en absence des coupes histologiques que l'étudiant a interprétées : l'origine des erreurs d'interprétation est difficilement identifiable, et la note sanctionne souvent une conformité suffisante par rapport à des structures de référence, conformisme que l'étudiant moyen assimile très vite en reproduisant des schémas théoriques qui n'ont pas grand chose à voir avec ce qu'il est censé observer au microscope.

Un dernier pas en avant mérite d'être envisagé dès à présent pour aider l'étudiant face à un obstacle majeur auquel il est régulièrement confronté durant la plupart de ces T.P. en microscopie optique : celui du passage 2D - 3D. En effet, toutes les coupes d'histologie sont de tranches fines d'organes ou organismes qui ont un volume, une architecture qui doit être

imaginée pour comprendre ce qui est observé sur la coupe. Nombre d'aides didactiques peuvent pour cela être utilisées: par exemple des schémas en 3D, ou photos de microscopie électronique à balayage en 3D donc, avec indication sommaire du plan de coupe observé.

Une autre solution que nous avons mise en œuvre dans des T.P. universitaires d'Histologie, et le dessin sur transparents de coupes sériées: la superposition des coupes (à condition d'avoir pris des repères judicieux autour des structures dessinées) permet d'avoir une image 3D approximative des structures dessinées, ou plutôt la projection sur un plan de ce volume reconstitué.

L'informatisation de cette opération renouvelle complètement ce type de T.P. : la numérisation des contours des structures observées peut se faire sur écran (là encore en choisissant judicieusement les repères qui permettent de superposer correctement deux coupes successives), et l'ensemble des contours numérisés permet d'obtenir in fine une structure 3D que l'on peut faire tourner sur écran pour la voir sous tous les angles. C'est sans nul doute le moyen le plus pédagogique pour faire comprendre aux étudiants en T.P. l'articulation entre le 2D et le 3D, c'est à dire d'avancer vers la résolution d'un des problèmes les plus difficiles dans ces domaines de la Biologie.

CONCLUSION

Sur ces deux exemples, (numérisation et analyse trajets, et numérisation / schématisation de coupes histologiques), nous mesurons combien les images numériques peuvent renouveler la pratique des T.P. universitaires pour avancer dans la résolution de problèmes qui ont toujours constitué des obstacles majeurs lors de ces enseignements.

La difficulté vient alors plutôt du côté des enseignants: elle est à la fois financière et psychologique.

Le problème financier pourrait pourtant être résolu : il y a de plus en plus de salles équipées en micro- ordinateurs dans les

Universités, mais elles ne sont utilisées que pour les enseignements d'informatique: il serait important qu'elles servent aussi à certains enseignements de Biologie. Il faudrait alors équiper chaque micro-ordinateur de cartes d'analyse d'image, dont les fonctions pourraient fort bien être polyvalentes. Ainsi la carte SECAD qui, complétée par des logiciels appropriés, permet la trajectométrie automatique, est tout à fait capable de résoudre nombre des problèmes posés par les T.P. d'histologie, embryologie et autres T.P. utilisant des microscopes optiques. Une étude technique devrait être entreprise après avoir centralisé les principaux

desiderata des universitaires biologistes pour que leur Université rationalise dans ce sens l'équipement informatique de salles de T.P. qui leur seraient destinées.

Le problème psychologique est tout autre: il pourrait être contourné par la formation des enseignants supérieurs dans ces domaines. Le désir de cette formation pourrait naître de l'existence réussie de T.P. universitaires expérimentaux: toute réussite est contagieuse!

Et un motif d'espoir est de constater que les recherches des biologistes nécessitent des qualifications croissantes dans ces domaines d'images numériques: qualifications soit acquises par des enseignants-chercheurs en place et qui complètent ou renouvellent leurs compétences; soit par le recrutement de nouveaux enseignants-chercheurs dont on peut espérer qu'ils soient mieux formés en informatique et en imagerie numérique: ce qui est aussi de notre responsabilité!

REMERCIEMENTS

Les recherches en trajectométrie automatiques n'ont pu être développées que par la collaboration constante des roboticiens grenoblois (P.Y. Coulon et al.), et avec l'aide à Lyon de deux doctorants dans l'équipe de P.Clément : P.Mimouni et C.Charoy.

Le travail d'évaluation sur les T.P. d'embryologie a bénéficié de l'aide des enseignants de cette U.V., et de discussions constructives avec B.Béguet (Univ.Lyon 1).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Béguet B., 1991 – Une nouvelle aide didactique à l'enseignement de la biologie : l'imagerie informatique. In « L'informatique scientifique dans l'enseignement de la biologie et de la géologie au lycée », Actes du colloque organisé par l'ENS et l'INRP, juin 1991n J.C.Duval et N.Salamé éd., éd. INRP, Paris, p.257-260.

Clément P., 1986 – Une interface Biologie – Robotique – Mathématique : la trajectométrie. In « L'imaginaire numérique », Hermès éd., Paris, Londres, Lausanne, p.62-72.

Clément P., 1988 – Les utilisations des images animées (films et vidéo) dans l'enseignement de la biologie. Pédagogiques, 8, 2, p.429-441.

Clément P., Chassain C., 1989 – Intérêt de la trajectométrie automatique dans l'étude des déplacements du trichogramme (insecte parasitoïde). Bull. S.F.E.C.A.,4,1, p.137-141.

Clément P., Luciani A., Chassé J.L., Coulon P.Y., Nougaret M., Fournier A., 1985 – Un

système de trajectographie automatique pour étudier la nage des animaux (Rotifères, miracidiums de Plathelminthes ; ...). Verth. internat. Verein. Limnol.,22, p.3002-3006.

Clément P., Mimouni P., Fouillet P., Coulon P.Y., Le Berre M., 1988 – Recueil et analyse de déplacements de Rongeurs par trajectométrie automatique. Sc. Et Techn. De l'Animal de Laboratoire, 13,1, p.5-14.

Clément P., Ndiaye V., 1987 – Observer des animaux vivants et/ou des documents vidéo en Travaux Pratiques d'Ethologie. I – Protocole expérimental. Actes neuvièmes journées internationales sur l'Education scientifiques, J.I.E.S.,9,p.223-230.

Clément P., R.CP.657, 1983 – Un dispositif de suivi automatique des déplacements d'animaux. Premiers résultats et perspectives d'utilisation. Bull. S.F.E.C.A., 1983,2, p.119-130.

Coulon P.Y., Charras J.L., Clément P., Chassé J.L., Cornillac A., Luciani A., Wurdak E., 1983 – An experimental system for the automatic tracking and analysis of Rotifer swimming. *Hydrobiologia*,104, p.197-202.

Ferran A., Ettifouri M., Clément P., Bell W.J., 1994- Sources of variability in the transition from extensive to intensive search in coccinelli predators. *J. of Insect Behaviour*,7,5, p.633-646.

Le Berre M., Mimouni P., Clément P., 1988 – Evolution du trajet de la Gerbille de Mongolie au cours de l'ontogénèse. *Sc. Et Techn. de l'Animal de Laboratoire*,13,1, p.33-41.

Mills A.D., Faure J.M., Jones R.B., Clément P., 1990 – Trajectory analysis of open-field behaviour in Japanese quail Chicks (*Coturnix japonica*). *Biology of Behaviour*,15, p.183-195.

Ndiaye V., 1990 – “Evaluation de l'utilisation de la vidéo dans des Travaux Pratiques universitaires de Biologie”. Thèse Université de Lyon 1, n° 90-395, DEA de Didactique des disciplines scientifiques ; Didactique de la Biologie ; directeur de thèse : P. Clément, 232 pp. + annexes.

Ndiaye V., Clément P., 1988 – Observer des animaux vivants et/ou des documents vidéo en travaux pratiques ? *Pédagogiques*,8,2, p.443-460.

LEGENDE DES FIGURES

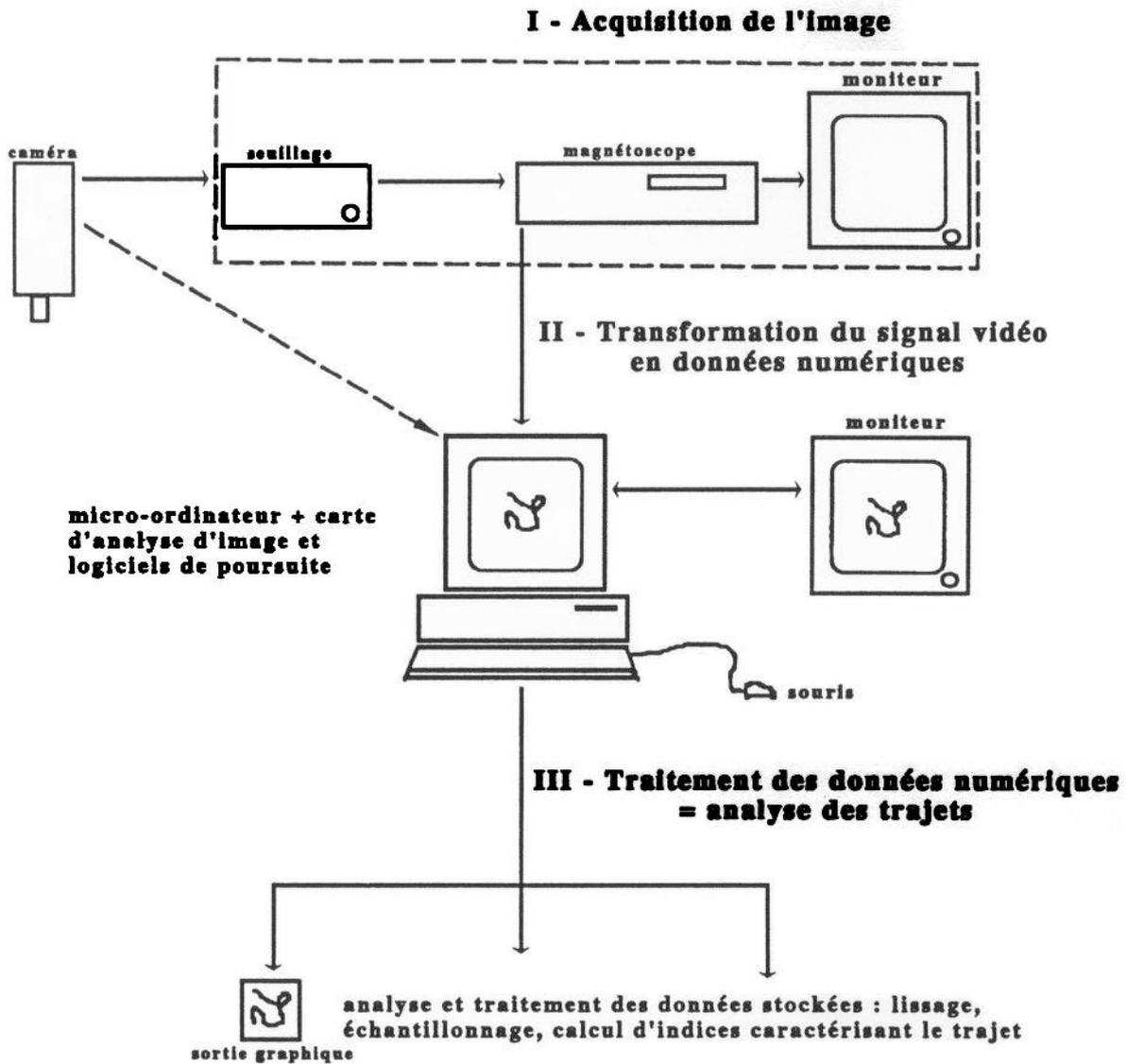
Figure 1 : les trois phases successives de la trajectométrie automatique.

Figure 2 : exemples de trajets d'un même animal (Rotifère) placé dans des contextes expérimentaux différents (les coordonnées x et y de chaque point de ces trajets sont stockées dans des fichiers , à partir desquels sont calculés les indices pour caractériser chacun de ces trajets).

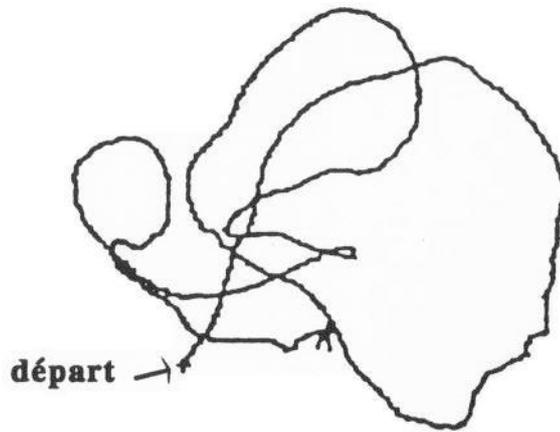
Auteur : Pierre CLEMENT (*) et Valdiodio NDIAYE (*) (**)

(*) Didactique de la biologie, LIRDIMS, Université Lyon 1, 69622 Villeurbanne Cx

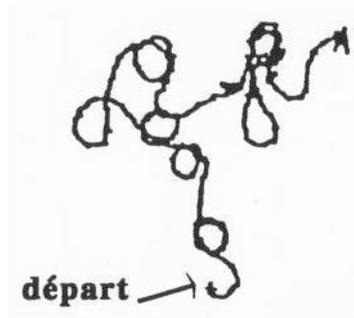
(**) ENS – Université Cheikh Anta Diop, Dakar-Fann, Sénégal



- Figure 1 -



$$E = 200 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$



$$E = 21 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

- Figure 2 -