

INTERET DU RADIO-PISTAGE EN EPIDEMIOLOGIE

M. ARTOIS*

=====



RESUME : L'auteur présente la technique de radio-pistage qui permet de localiser à distance un animal sauvage équipé d'un radio-émetteur. Les exemples de la rage vulpine et de la tuberculose du blaireau illustrent l'intérêt de cette technique éthologique, pour l'étude des facteurs de transmission de maladies contagieuses atteignant les animaux sauvages.

SUMMARY : The author presents the radiotracking technique which allows the localization at a distance of a wild animal bearing a radio-transmitter. Examples of fox rabies and badgers tuberculosis demonstrate the interest of this ethological method in the study of transmission factors of wild animals contagious diseases.

* * *

INTRODUCTION

Dans le domaine de l'épidémiologie des maladies transmissibles, il n'est pas rare que des animaux sauvages interviennent comme vecteurs ou réservoirs d'affections communes à l'Homme et aux animaux domestiques. La connaissance de leur comportement est souvent un élément essentiel de la compréhension des processus de contagion. Un exemple particulièrement démonstratif en est donné par les travaux de HOHORST et coll. (in EUZEBY 1971) sur la perturbation du comportement des fourmis parasitées par les métacercaires de *Dicrocoelium lanceolatum*. La localisation du parasite dans le ganglion nerveux sous oesophagien induit une modification comportementale aboutissant à la fixation des fourmis à l'extrémité des brins d'herbe. De cette façon, leur ingestion par le mouton est grandement facilitée, ce qui contribue à l'efficacité de la transmission du parasite.

Dans un cas comme celui-ci, des résultats ont pu être obtenus sans marquage des animaux. Ce dernier peut parfois s'effectuer plus simplement : RIOUX et coll. (1979) ont marqué à l'aide de poudres fluorescentes *Phlebotomus ariasi*, vecteur de Leishmaniose. Ils ont pu ainsi démontrer le rôle de ce diptère dans la dissémination de l'agent pathogène.

Mais lorsqu'on suspecte un vertébré de transmettre un agent pathogène, et que son comportement semble recéler la clef du processus de contagion, ces méthodes peuvent se révéler insuffisantes.

* Ministère de l'Agriculture, Direction de la Qualité, Service vétérinaires, Centre National d'Etudes sur la Rage, B.P. 9, 54220 Malzeville.

Or, pour les biologistes, connaître la position d'un animal a toujours été une préoccupation essentielle. Avant l'invention du transistor, seules des circonstances favorables (traces dans la neige ou la boue, contact visuel) permettaient d'obtenir cette information, au prix d'un effort de prospection considérable. Grâce à la miniaturisation des radio-émetteurs, un progrès important a été réalisé.

La première référence connue est celle de LE MUNYAN et coll. (1959) qui implantèrent un émetteur dans la cavité abdominale d'une marmotte américaine. Mais la véritable histoire du radio-pistage commence avec le marquage de sylvilagus, skunks et rats-laveurs sur le terrain d'étude de Ceder Creek, près de Minneapolis (COCHRAN et LORD, 1963). Depuis, des animaux aussi différents que le crabe ou l'éléphant ont été appareillés, non seulement pour suivre leurs déplacements, mais aussi pour permettre un enregistrement biotéléométrique. MACDONALD et AMLANER (1981) donnent un brillant aperçu de la diversité des travaux réalisés grâce à ces techniques dans un article paru dans New Scientist.

La plupart des zoologistes connaissent aujourd'hui les méthodes de radio-pistage et de bio-télémetrie. Ils y ont recours lorsque leur problématique les y incite. D'un autre côté, chaque fois que cela est nécessaire, l'épidémiologiste se tourne vers ces spécialistes pour obtenir les informations dont il a besoin. Mais le dialogue entre les deux disciplines n'est pas toujours aisé, et surtout, certains éléments particuliers peuvent faire défaut. Dans ces circonstances, l'épidémiologiste se doit de connaître les techniques de terrain afin de pouvoir éventuellement les employer lui-même. Plus fréquemment, il aura à solliciter des collaborations et, pour parvenir aux résultats qui l'intéressent, il devra être à même d'apprécier les capacités et les limites de ces techniques. L'objet de ce bref article est d'en présenter une, le radio-pistage, et de montrer grâce à des exemples, son intérêt en épidémiologie.

PRINCIPES DU RADIO-PISTAGE

Le radio-pistage n'est qu'une application, parmi d'autres, du domaine plus vaste, de la bio-télémetrie. Celle-ci est relativement familière aux biologistes utilisant des modèles expérimentaux animaux. Mais, le plus souvent, les fondements technologiques de ces deux applications d'une même théorie (la propagation des ondes électro-magnétiques) sont différentes. On emploie généralement en biotélémetrie des systèmes ultra-miniaturisés, à très hautes fréquences et large bande (50 000 Hz). La portée des émetteurs est limitée à quelques mètres (COCHRAN, 1980).

En revanche, les émetteurs de radio-pistage sont pilotés par quartz ; celui-ci étant l'élément le plus grand du montage électronique, ils sont généralement de taille plus importante que les précédents. Leur portée peut dépasser plusieurs dizaines de kilomètres.

Le principe de fonctionnement de l'émetteur est le suivant : une pile (type : stimulateur cardiaque) fournit de l'énergie transformée par le circuit électronique en un signal électro-magnétique, émis dans l'atmosphère par l'intermédiaire d'une antenne (fig. 1).

Ce signal est reçu par une antenne réceptrice directionnelle. A la différence des antennes radiophoniques (mais de façon analogue à celles de télévision) ces antennes doivent être orientées vers l'émetteur.

Fig. 1 Schéma du principe du système : "émission - réception - analyse" du radio-pistage (d'après MACDONALD et AMLANER, 1981).

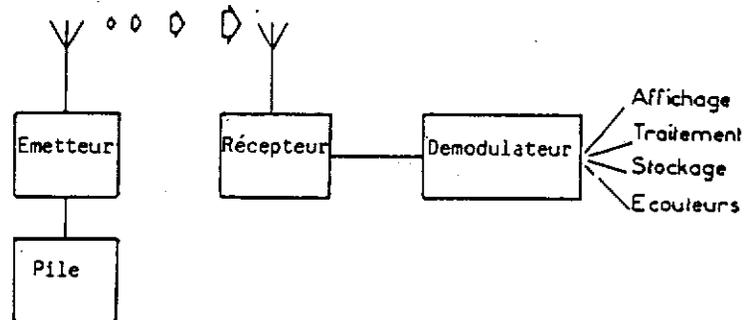
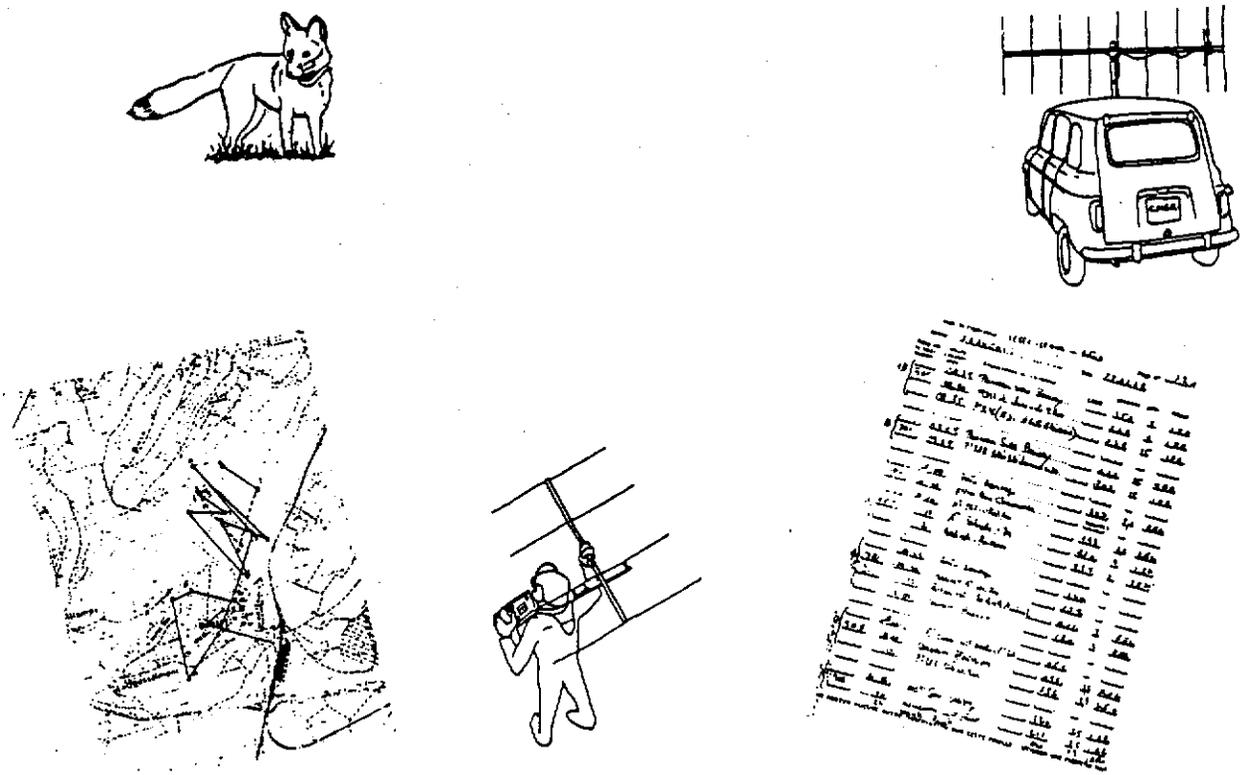


Fig. 2 Schéma de la réalisation d'une localisation de renard par radio-pistage. Le curieux objet fixé au cou de l'animal n'est pas un tonnelet de rhum mais son collier émetteur. Le recouvrement de la direction, par rapport au nord, des deux antennes, permet de connaître la position ; celle-ci est reportée sur une carte (à gauche) et tous les gisements notés sur un bordereau (à droite) pour report ultérieur sur disquettes informatiques.



Le signal est transmis à un récepteur dont le rôle est de transformer celui-ci sous une forme analysable : son, déviation d'une aiguille sur un potentiomètre, affichage digital, etc.

De cette façon, il est possible de connaître la direction dans laquelle se trouve l'émetteur par rapport à l'observateur grâce à l'antenne réceptrice. Le recoupement de deux directions, observées depuis deux points distincts (azimuth ou gisement), et relevées simultanément par deux observateurs ou successivement par un seul, donne la position de l'émetteur (c'est le principe de la goniométrie) (fig. 2).

On trouvera dans les références suivantes de plus amples informations sur les bases théoriques et techniques du radio-pistage et de la bio-téléométrie : BROEKHUIZEN et coll. (1980), COCHRAN (1980), MACDONALD et AMLANER (1980), TAYLOR et LLOYD (1978), THOMAS (1982), ZIMMERMAN et coll. (1976).

MATERIEL

Le choix de celui-ci est conditionné par la bande de fréquence retenue. De nombreux facteurs interviennent dans ce choix, mais dans la pratique courante la bande des 150 MHz (2m de longueur d'onde) est la plus utilisée (ainsi que 26,75 et 100 MHz).

Les émetteurs peuvent être fabriqués au laboratoire (ZIMMERMAN et coll. 1976) mais il est bien préférable de se les procurer auprès de fabricants spécialisés (aucun fournisseur français). Leur poids est compris entre 2 g et plusieurs kg selon leur portée, leur durée de vie (taille et nombre des piles), leur fonction et surtout leur enrobage et mode de fixation sur l'animal (collier ou harnais). La tolérance de surcharge de l'animal est de 5 % du poids corporel. La durée de vie peut être comprise entre quelques jours et plusieurs mois, et la portée pratique est de l'ordre du kilomètre, mais peut atteindre des distances bien supérieures en propagation en plein ciel (oiseaux en vol, satellite) (fig. 3).

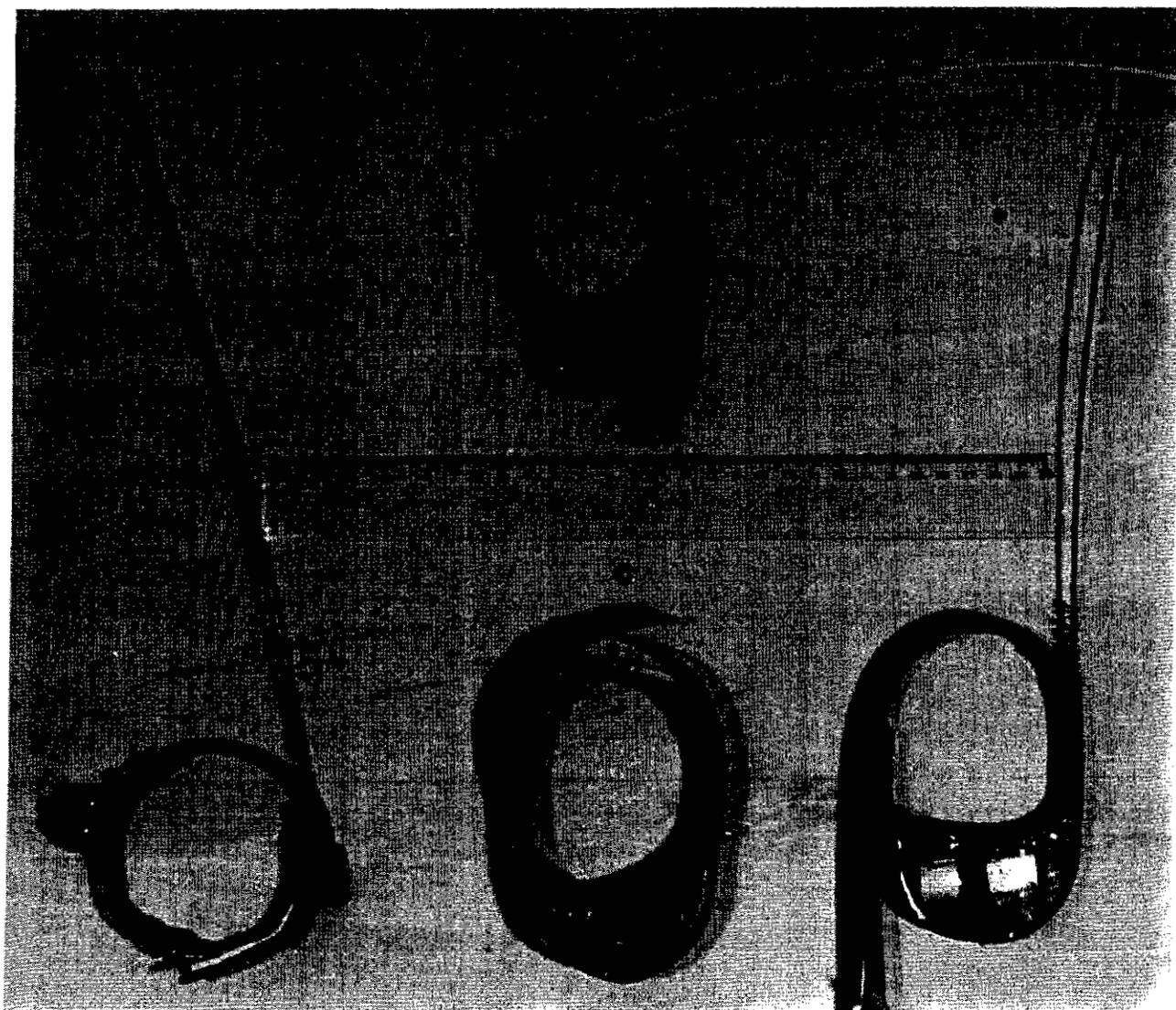
Le matériel de réception peut être obtenu à partir de transformation d'appareils destinés aux radio-amateurs (144-146 MHz), ce qui en réduit considérablement le coût. Les antennes composées de 3 à 9 brins, sont dites de type Yagi et peuvent être montées seules (antenne simple) ou en double, ce qui augmente la précision des relevés (de 0,5 à 5° dans ce dernier cas) (fig. 4).

METHODE

La surveillance de la position des animaux radio-marqués peut être faite de façon continue ou discontinue. Dans le premier cas, il est nécessaire d'avoir recours à des installations automatiques. Un réseau de tours permet de localiser pratiquement instantanément plusieurs animaux sur un terrain d'expérience de surface limitée (COCHRAN et coll. 1955, DEAT et coll. 1980, LEMNEL 1980).

Dans le second cas, "pistage léger", des observateurs se relaient pour suivre, de quart d'heure en quart d'heure, les animaux pendant des périodes de 24 heures, à partir de points fixes (JANEAU et coll. 1979) ou de stations mobiles. Il est aussi possible d'effectuer pendant des périodes plus longues, des relevés espacés de plusieurs heures.

Figure 3 : Différents modèles de collier émetteur ; en haut et à droite : colliers pour chat sauvage, au centre pour renard, à gauche pour chat domestique.



Le traitement des données nécessite dans le premier cas l'emploi d'un ordinateur. Dans le second, de difficiles problèmes d'interprétation sont soulevés, notamment en raison de l'absence de relevés à certaines époques (ARTOIS et AUBERT 1980, MACDONALD, BALL et HOUGH 1980, BOIGT et TINLINE 1980).

UTILISATION DU RADIO-PISTAGE EN EPIDEMIOLOGIE

1. Rage vulpine

Onze renards roux ont été marqués à l'aide de colliers-émetteurs (149 MHz) entre 1980 et 1983, sur un terrain d'étude proche du Centre National d'Etude sur la Rage. Six d'entre eux, atteints de rage, ont présenté des symptômes qui ont pu être rapportés avec plus ou moins de détails grâce au radio-pistage.

Les trois premiers individus (R2, R3 et Annonciade) ont été inoculés après leur capture avec une dose connue de virus rabique, sûrement mortelle, et correspondant à une incubation prévisible d'environ 18 jours (ANDRAL et coll. 1982). Une fois relâchés dans leur milieu d'origine, ces animaux se sont comportés normalement pendant 19, 16 et 12 jours respectivement. Il a ainsi été possible de déterminer leurs aires et rythmes d'activité.

A la fin de ce délai sont apparus les signes cliniques de la maladie : grâce à la prévisibilité d'apparition des symptômes, les déplacements des renards enrégés ont pu être enregistrés en détail, particulièrement dans le cas d'"Annonciade" qui a pu être suivie, sauf interruptions de quelques heures, pendant 6 jours (fig. 5).

Les trois derniers renards ont contracté spontanément la maladie au cours de la traversée de la zone d'étude par une vague épizootique en 1982. Les informations recueillies sont moins détaillées que lors des trois cas précédents. En effet, l'apparition des signes cliniques étant imprévisible, la détection des premiers symptômes est plus difficile et peut même passer inaperçue (cas de "Clément"). Toutefois, les déplacements d'une femelle ("Pascaline") ont fait l'objet d'un radio-pistage et dans tous les cas les cadavres ont pu être retrouvés (ARTOIS, 1982).

Sans constituer un échantillonnage permettant de généraliser de façon définitive, ces observations permettent d'aboutir aux conclusions suivantes, sur le comportement du renard enrégé :

Le renard enrégé perd le sens de son organisation spatio-temporelle, sans toutefois s'éloigner beaucoup de son domaine habituel. Son niveau global d'activité est augmenté, principalement en raison d'importants déplacements diurnes. Ceux-ci semblent se faire sans but décelable. La paralysie qui atteint progressivement l'animal l'immobilise en un endroit résultant du hasard de ses errances. Il en résulte une plus grande fréquence des arrêts en limite de domaine, dans des secteurs habituellement peu fréquentés par les renards sains. Ce phénomène semble favoriser la transmission de la maladie par contamination d'un individu sain, cherchant à repousser l'individu malade, gêné dans ses déplacements.

Ces observations sont en faveur d'un mode de transmission de proche en proche, de la rage vulpine, tout à fait en accord avec l'évolution saisonnière des maximums d'incidence de rage, qui correspondent à des périodes de contacts nombreux entre individus sains : dispersion et reproduction.

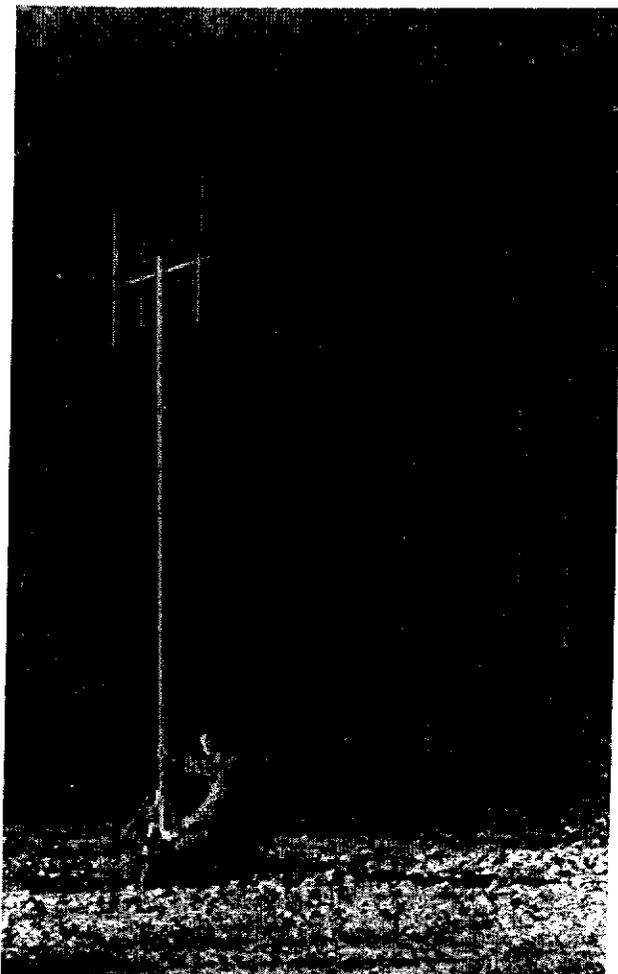


Figure 4 : Double antenne Yagi au sommet de son mât de 3 m.

Figure 6 : Déplacements erratiques d'un blaireau tuberculeux, 22 jours avant sa mort (*). Les traits pleins délimitent les domaines des clans ; les grands cercles, les terriers principaux ; les petits cercles, les terriers secondaires utilisés successivement par cet animal. Les pointillés indiquent la chronologie d'occupation de chacun d'eux (et non pas l'itinéraire) d'après CHEESEMAN et MALLINSON, 1981.

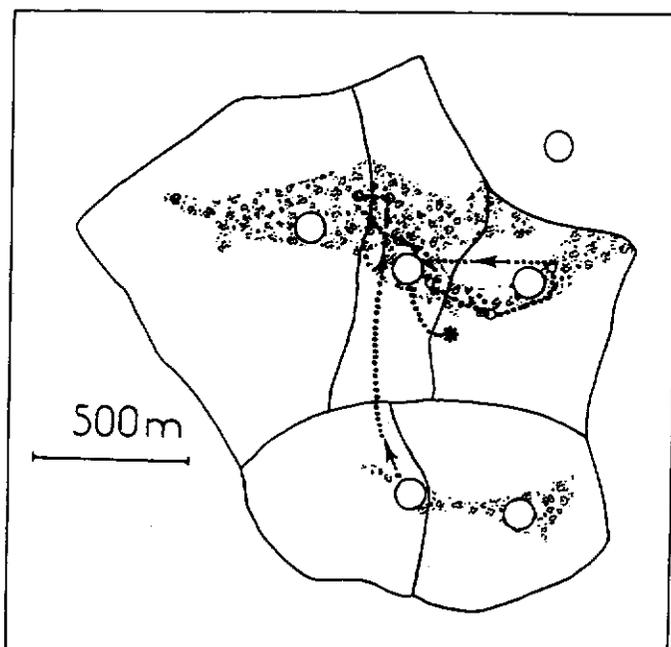
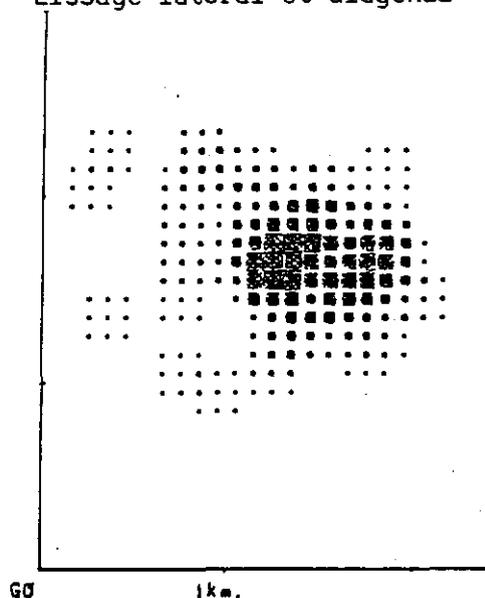


Fig. 5 Radio-pistage de la renarde "Annonciade", à gauche (N° 1 à 97), aire d'activité de l'animal en période pré-symptomatique, à droite, aire d'activité pendant la phase clinique de la rage. Plus les "carrés" noirs sont de grande surface, plus la présence sur le terrain est importante. On remarque sur cette figure deux éléments intéressants :

1. l'augmentation globale d'activité en période symptomatique (plus grand nombre de grands "carrés"),
2. un glissement de l'activité vers l'ouest, particulièrement en zone périphérique.

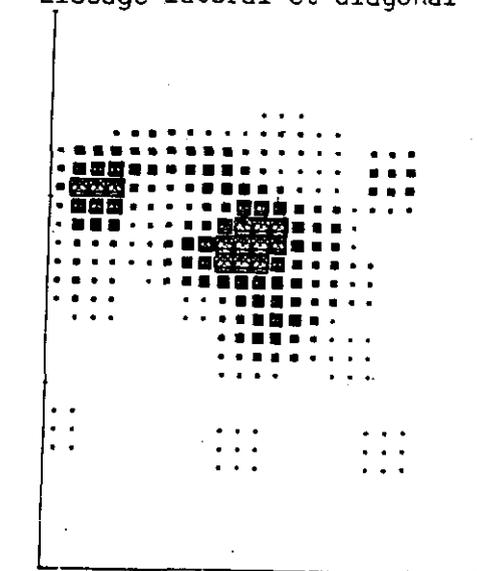
* Lissage latéral et diagonal



GO 1km.

ANNONCIADE du n° 1 (le 26.03.81 à 21.58 h) au n° 97 (le 06.04.81 à 14.25 h).

*Lissage latéral et diagonal



GO 1km.

ANNONCIADE du n° 98 (le 06.04.81 à 15.67 h) au n° 222 (le 11.04.81 à 05.27 h).

2. Tuberculose bovine du blaireau

En Angleterre, Chris CHEESEMAN (Ministère de l'Agriculture britannique - MAFF) a étudié le comportement des blaireaux dans les zones où sévit la tuberculose bovine. Depuis la découverte de nombreux blaireaux tuberculeux à proximité d'élevages où cette maladie a refait son apparition, le rôle de ces carnivores pour conserver et disséminer la maladie semble probable.

Dans le Comté de Costwold, la concentration des blaireaux atteint 20 adultes au km² (CHEESEMAN et coll. 1981), ce qui constitue la plus forte densité connue en Europe. C'est ce secteur qu'a choisi CHEESEMAN pour son étude.

Le radio-pistage lui permet de suivre les déplacements des blaireaux et l'aide surtout à les observer, grâce à des jumelles infra-rouge, lorsqu'ils "fourragent" dans les pâtures fréquentées par les bovins.

Trois parmi les nombreux individus étudiés (CHEESEMAN et MALLINSON, 1980 et 1981) ont été atteints de tuberculose alors qu'ils étaient équipés d'émetteur (104-105 MHz).

Ces trois animaux, une femelle (G7) et 2 mâles (G10 et G30) ont tous adopté une activité solitaire, fréquentant des terriers accessoires et isolés, loin de leur clan d'origine pendant leur maladie. Ce comportement n'est pas cependant général puisque des cadavres de blaireaux tuberculeux sont fréquemment trouvés à proximité des bouches des terriers principaux (fig. 6).

Un des individus (G10) a trouvé refuge dans une étable inutilisée, se nourrissant (et déféquant) dans les auges où subsistaient les restes d'aliments. Il ne semblait pas craindre les allées et venues du personnel de la ferme.

Tous trois étaient gênés dans leur locomotion, particulièrement G7 qui présentait à l'autopsie un abcès lombaire d'où fût isolé *Mycobacterium bovis*.

L'"erraticisme" et la perte de crainte de l'Homme, conséquence de la recherche d'une nourriture plus aisée à se procurer à proximité des fermes (64 % de blaireaux trouvés à proximité des fermes, sont infectés, contre 21 % d'animaux tués sur la route) tendent à favoriser la contamination du bétail par des bacilles excrétés par les blaireaux malades.

CONCLUSION

Cette rapide revue des seules références connues d'utilisation du radio-pistage à des fins épidémiologiques, permet de montrer l'intérêt et les limites de cette technique. Dans le cas de maladies transmises par des animaux domestiques, les facteurs éthologiques de contagion sont pour la plupart mesurables directement. Les comportements expliquant ou facilitant le passage des germes d'un individu à l'autre peuvent être observés directement, même lorsque l'élevage se fait en plein air, puisque généralement l'animal domestique se laisse approcher facilement (il demeure que les méthodes d'études comportementales ne sont pas toujours familières des épidémiologistes, mais ceci est un autre problème...).

Il n'en va pas de même avec les vecteurs sauvages, très difficiles à observer. Dans ce cas, le radio-pistage peut apporter une contribution déterminante à la compréhension des processus de transmission d'une maladie. Néanmoins, il ne constitue qu'un élément d'une panoplie des moyens nécessaires à la connaissance des comportements normaux ou altérés par la maladie, et qui jouent un rôle épidémiologique. Ici encore, l'épidémiologiste doit se doubler d'un écologue, ce qui lui est relativement facile, et d'un éthologiste, ce qui l'est moins. Il ne faut pas néanmoins se dissimuler les difficultés du radio-pistage qui nécessite un investissement personnel considérable.

L'avenir dira si les deux expériences rapportées dans cet article seront suivies par d'autres... On peut suspecter par exemple qu'en matière de myxomatose, le pistage de lapins malades pourrait se révéler intéressant. Le chat domestique est vecteur de plusieurs zoonoses et son tempérament farouche rend difficile la connaissance des facteurs comportementaux qui favorisent le rôle vecteur de cette espèce... Mais l'imagination des chercheurs est sans limite ; l'important reste de savoir que cette technique existe et qu'elle est à la portée des chercheurs qui en ont besoin.

* * *

BIBLIOGRAPHIE

- ANDRAL (L.), ARTOIS (M.), AUBERT (M.F.A.) et BLANCOU (J.).- Radio-pistage de renards enragés. *Comp. Immun. Microbiol. Infect. Dis.*, 1982, 5, n° 1-3, 285-291.
- ARTOIS (M.).- Movements of two naturally infected rabid foxes as determined by radio-tracking and recovery. *Rabies Inf. Exch.*, 1982, 1-3.
- ARTOIS (M.) et AUBERT (M.F.A.).- Problèmes posés par le traitement des données de radio-pistage du renard et du chat forestier. *Soc. Fr. Etude Comp. Anim. Bull. int.*, 1983, n° 1, pp 63-68.
- BROEKHUIZEN (S.), VAN'THOFF (C.A.), JANSEN (M.B.) and NIEWOLD (F.J.J.).- Application of radio-tracking in wildlife research in the Netherlands, pp 65-84. in "Handbook on biotelemetry and radio-tracking" C.J. Amlaner and D.W. Macdonald Eds. Pergamon Press, Oxford, 1980, 804 p.
- CHEESEMAN (C.J.) and MALLINSON (P.J.).- Radio-tracking in the study of bovine tuberculosis in badgers, pp 649-656. in "Handbook on biotelemetry and radio-tracking" C.J. Amlaner and D.W. Macdonald Eds. Pergamon Press, Oxford, 1980, 804 p.
- CHEESEMAN (C.L.), JONES (G.W.), GALLAGHER (J.) and MALLINSON (P.J.).- The population structure, density and prevalence of T.B. in badgers from four areas in south-west England. *J. Appl. Ecol.*, 1981, 18, 795-804.
- CHEESEMAN (C.L.) and MALLINSON (P.J.).- Behaviour of badgers (Meles meles) infected with bovine tuberculosis. *Notes from the Mammal Society*, 1981, n° 42, 284-289.
- COCHRAN (W.W.) and LORD (R.D.).- A radio-tracking system for wild animals. *J. Wildl. Manag.*, 1963, 27, n° 1, 9-24.

- COCHRAN (W.W.), WARNER (D.W.), TESTER (J.R.) and KUECHLE (V.B.).- Automatic radio-tracking system for monitoring animal movements. *Bioscience*, 1965, 15, n° 2, 98-100.
- COCHRAN (W.W.).- Wildlife telemetry, pp 507-520. in "Wildlife management technique, 4è ed." S.D. Chemnitz Ed. The Wildlife Society, Washington, 1980.
- DEAT (A.), MAUGET (C.), MAUGET (R.), MAUREL (D.) and SEMPERE (A.).- The automatic, continuous and fixed radio-tracking system of the Chizé forest : theoretical and practical analysis, pp 439-451. in "Handbook on biotelemetry and radio-tracking" C.J. Amlaner and D.W. Macdonald Eds. Pergamon Press, Oxford, 1980, 804 p.
- EUZEBY (J.).- Les maladies vermineuse des animaux domestiques et leurs incidences sur la pathologie humaine. II. Maladies dues aux plathelminthes. 2è fascicule : Trématodes. Livre 1 : Généralités - Distomatoses hépato-biliaires. Vigot Frères Editeurs, Paris, 1971, 798 p.
- JANEAU (G.L.), QUERE (J.P.), SPITZ (F.) et VINCENT (J.P.).- Le radio-tracking en forêt, expériences menées sur le chevreuil (Capreolus capreolus). *Ann. Zool. Ecol. Anim.*, 1979, 11, n° 2, pp 131-144.
- LEMNELL (P.A.).- An automatic telemetry system for tracking and physiology, pp 453-456. in "Handbook on biotelemetry and radio-tracking" C.J. Amlaner and D.W. Macdonald Eds. Pergamon Press. Oxford, 1980, 804 p.
- LE MUNYAN (C.D.), WHITE (W.), NYBERT (E.) and CHRISTIAN (J.J.).- Design of a miniature radio transmitter for use in animal studies. *J. Wildl. Manage.*, 1959, 23, n° 1, 107-110 (cité par Cochran W.W. et Lord R.D., 1963).
- MACDONALD (D.W.) and AMLANER (C.J.).- A practical guide to radio-tracking; pp 143-159. in "Handbook on biotelemetry and radio-tracking" C.J. Amlaner and D.W. Macdonald Eds. Pergamon Press, Oxford, 1980, 804 p.
- MACDONALD (D.W.), BALL (F.G. and HOUGH (N.G.).- The evaluation of home range size and configuration using radio-tracking data, pp 405-424. in "Handbook on biotelemetry and radio-tracking" C.J. Amlaner and D.W. Macdonald Eds. Pergamon Press, Oxford, 1980, 804 p.
- MACDONALD (D.W.) and AMLANER (C.J.).- Listening in to wildlife. *New Scientist*, 1981, 466-469.
- RIOUX (J.A.), KILLICK-KENDRICK (R.), LEANEY (A.J.), TURNER (D.P.), BAILLY (M.) et YOUNG (C.J.).- Ecologie des leishmanioses dans le sud de la France. 12. Dispersion horizontale de Phlebotomus ariasi Tonnoir, 1921. Expériences préliminaires. *Ann. Parasitol.*, 1979, 54, n° 6, 673-682.
- TAYLOR (D.) and LLOYD (H.G.).- The design, construction and use of a radio-tracking system for some british mammals. *Mammal. Rev.*, 1978, 8, n° 4, pp 117-141.
- THOMAS (M.D.).- A radio-telemetry system for animal tracking in New Zealand. *New Zealand J. Sci.*, 1982, 25, 245-252.
- VOIGT (D.R.) and TINLINE (R.R.).- Strategies for analyzing radio-tracking data, pp 387-404. in "Handbook on biotelemetry and radio-tracking" C.J. Amlaner and D.W. Macdonald Eds Pergamon Press, Oxford, 1980, 804 p.
- ZIMMERMANN (F.), GERARD (H.) et CHARLES-DOMINIQUE (P.).- Le radio-tracking des vertébrés : conseils et techniques d'utilisation. *Terre et Vie*, 1976, 30, n° 3, 309-346.