

Maladies vectorielles à tiques et modifications de l'écosystème en Lorraine.

J. C. George & C. Chastel

(1) Médecine générale, 9 rue de la voie sacrée, 55220 Souilly, France. E-mail :Jean-Claude.George@wanadoo.fr
(2) 3 rue Rouget de l'Isle, 29285 Brest, France. E-mail :chastelc@aol.com

Manuscrit n °2341. "Épidémiologie". Reçu le 6 août 2001. Accepté le 6 mai 2002.

Summary: Tick-borne diseases and ecosystem changes in Lorraine.

The number of persons suffering from tick-borne diseases has notably increased in the French region of Lorraine since the mid 1990s. Greater awareness of the pathology is insufficient to explain such an increase in incidence. Instead, the proliferation of ticks is a major factor in the increased incidence of cases, and is mainly due to a modification of the ecosystem. Prophylaxis is based upon appropriate information for persons concerned and requires a sound understanding of the biology and habits of the vector ticks. Numerous factors - anthropogenic, natural, social - may contribute to the destabilisation of a well-balanced ecosystem, but all are more or less the direct result of human activity. The geographic specificities of this region may be an additional factor in the emergence of tick-borne diseases.

tick-borne disease
climate change
Lorraine
France
Southern Europe

Résumé :

Le nombre de victimes de maladies vectorielles à tiques s'est particulièrement accru en Lorraine depuis le milieu des années 90. À elle seule, une meilleure connaissance de ces pathologies ne suffit pas à expliquer l'augmentation d'incidence. La prolifération des tiques représente un facteur prépondérant dans l'émergence de ces pathologies, elle est la conséquence d'une modification de l'écosystème. La prophylaxie reposant essentiellement sur l'information, elle suppose une bonne compréhension de la biologie et de l'habitat des tiques vectrices. Les particularités géographiques de la région pourraient représenter un facteur d'émergence supplémentaire.

maladies à tiques
modification de l'écosystème
Lorraine
France
Europe méridionale

Parasitocénose

Depuis le milieu des années 90, la Lorraine est confrontée à une augmentation d'incidence des pathologies vectorielles à tiques^a, tant chez les animaux que chez l'Homme. Sur le terrain, tous les intervenants ont observé l'augmentation de fréquence des morsures et la prolifération de ces acariens; le plus souvent, sans déterminer les espèces en cause. La région possède une dizaine d'espèces ixodidiennes susceptibles de se fixer sur l'Homme, mais trois, exophiles, occasionnent l'essentiel du parasitisme (41). *Ixodes ricinus* représente le risque sanitaire le plus important; espèce de sous-bois, il est le vecteur de nombreux agents pathogènes: les trois génotypes pathogènes de *Borrelia burgdorferi*, *Rickettsia helvetica* (RAOULT, 1998), probablement *Ehrlichia phagocytophila*(47), les virus de l'encéphalite européenne à tiques et Eyach (9) et *Babesia microti* (26). *Dermacentor marginatus*, plus xérophile, héberge *Coxiella burnetii*, *Francisella tularensis* et d'autres rickettsies du groupe des fièvres pourprées; il est le vecteur de *R.slovaca* (RAOULT, 1997) et probablement du virus Erve (9). *Dermacentor reticulatus* affecte les paysages bocagers; contrairement aux deux espèces précédentes,

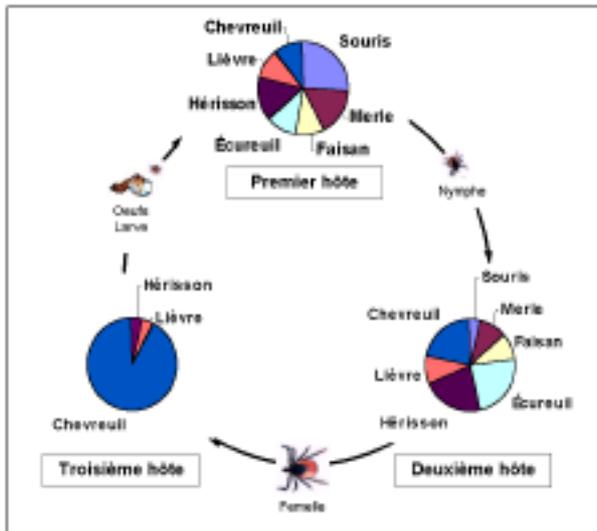
il s'est adapté aux milieux à forte pression humaine; le témoignage de vétérinaires lorrains, concernant la babésiose canine, accrédite sa présence en ville, et bien plus encore en Zone Rouge (champ de bataille de la Première guerre mondiale). Il est vecteur de *Babesia canis* et *B. caballi*, serait porteur de *F. tularensis*, de *B. burgdorferi* et du virus de l'encéphalite européenne (41).

Ces trois espèces d'*Ixodidae* ont un cycle biologique triphasique, leur imposant de se gorger de sang sur un hôte vertébré afin d'assurer les différentes stases de leur développement, à trois reprises pour les femelles (figure 1). L'habitat des tiques doit donc contenir une concentration et une variété suffisantes d'hôtes vertébrés (41) pour permettre aux stases pré-imaginales, les larves et les nymphes, de se nourrir sur des petits vertébrés à sang chaud (mammifères et oiseaux), et aux adultes de se gorger sur des grands mammifères, qui constituent de bons hôtes de reproduction (18, 42). À l'occasion de ces repas, les tiques sont susceptibles d'échanger de nombreux agents pathogènes avec leurs hôtes, les transformant à leur tour en réservoirs, plus ou moins efficaces. Plus la gamme d'hôtes acceptés est large, plus la tique diffuse efficacement les maladies; c'est précisément le cas d'*Ixodes ricinus* espèce télotrope par excellence.

(a) Incidence moyenne de la borréliose de Lyme en 2000, estimée par le Réseau Sentinelles à 34/100.000 en Lorraine et à 9,4 en France.

Figure 1.

Importance relative des hôtes d'*Ixodes ricinus* à ses différentes stases (d'après l'EUCALB).
Relative importance of *Ixodes ricinus* hosts at different stases (according to EUCALB).



L'émergence des pathologies semblant être favorisée par la prolifération des vecteurs (50), la prophylaxie repose autant sur la bonne compréhension de la biologie des tiques que sur celle des mécanismes de rupture de l'équilibre de notre écosystème, qui favorisent leur pullulation.

Modification de l'écosystème

Durant deux mille ans, le paysage naturel lorrain a été très progressivement modifié par l'Homme, jusqu'à ce que l'industrialisation le bouleverse, à partir du XIX^e siècle, créant de nouveaux équilibres dans l'écosystème. Schématiquement, les perturbations tiennent à trois grands facteurs, plus ou moins intriqués.

Facteurs anthropiques

Agriculture (48)

Avec les fils barbelés et le remembrement, sont arrivés les défrichages massifs, les monocultures céréalières, l'industrialisation des récoltes et les traitements phytosanitaires. Aucun de ces éléments ne paraît, *a priori*, favoriser l'épanouissement des tiques. Par contre, l'extension des cultures céréalières a permis l'agrandissement des cheptels lorrains, le nombre de bovins a plus que doublé entre 1929 et 1976, passant de 487 000 têtes à 1 090 000; les grands troupeaux procurent de très bons hôtes de reproduction aux tiques et l'abondance des céréales est propice au développement des populations de petits rongeurs. L'agriculture mécanisée n'accédant plus aux terrains à forte pente, ni aux espaces restreints, elle a laissé s'installer de nouvelles friches à proximité des habitations; les petits mammifères et les oiseaux s'y sont installés.

Forêts (48)

La forêt primaire couvrait probablement 80 % de la Lorraine. Dès le XVI^e siècle, l'accroissement des besoins en produits agricoles et industriels a accéléré le défrichage de vastes superficies forestières, au point que cette forêt était réduite à 14 % du territoire à la fin du XVIII^e siècle. La création de l'École royale de sylviculture de Nancy, puis la promulgation du

Code forestier en 1827 ont alors imposé l'exploitation raisonnée de la forêt. Depuis deux siècles, cette forêt continue à s'agrandir, grâce à la loi anti-érosion de 1882, puis aux travaux de reboisement de la Zone Rouge; ces lieux de combat ont ajouté 17000 ha au domaine forestier autour de Verdun. Plus de 100000 ha de friches et de terres agricoles abandonnées ont été reboisées en Lorraine depuis 1920 (27). La forêt lorraine ne connaît sa forme actuelle que depuis le XX^e siècle; jadis les animaux domestiques y pâturaient et de nombreux petits métiers y subsistaient. Le gros gibier souffrait plus de la concurrence de l'Homme et de ses animaux que des grands prédateurs. Jusqu'aux années 60, les communes rurales se contentaient de l'exploitation tournante de coupes de bois dans des taillis sous futaies tous les 25 à 30 ans. Ce type d'exploitation ne répondant plus aux besoins, depuis 25 ans l'Office national des forêts (ONF) procède au rajeunissement des peuplements. La destruction du couvert est tout d'abord défavorable à la population d'*Ixodes ricinus*, qui diminue de manière importante. Puis, les feuilles mortes s'accumulant dans le lacs de branchages laissés au sol, le terrain devient très favorable au développement des végétaux, des mammifères petits et grands, d'*I. ricinus* et aussi de *D. reticulatus* qui affectionne particulièrement les milieux dégradés (21). Dans les forêts domaniales, l'ONF poursuit une politique de la chasse en entretenant délibérément des parcelles pour satisfaire les besoins alimentaires du gibier (22). Le type d'utilisation de la forêt doit aussi être pris en considération. Les tiques ne disposant que de très modestes moyens de déplacement, la rencontre hôte-vecteur est conditionnée en grande partie par la densité de l'hôte. L'infestation d'une forêt n'a donc pas les mêmes conséquences épidémiologiques, selon qu'elle est utilisée à seule fin de production, qu'elle est traversée par une route très fréquentée ou qu'elle sert de forêt-promenade... Le nombre de personnes exposées aux morsures de tiques peut alors varier dans des proportions très importantes.

Chasse (34)

Le dernier loup de Meuse a été tué en 1905, libérant une niche écologique immédiatement occupée par le renard. Ce dernier a vu sa population gravement affectée par l'épizootie de rage de 1968, mais l'espèce a compensé ses pertes en doublant sa natalité. La prophylaxie traditionnelle a alors cherché à contrôler les populations vulpines, en incitant à leur destruction; mais l'emploi massif d'appâts empoisonnés a entraîné la destruction simultanée de nombreux autres carnivores prédateurs des micro-mammifères. Depuis quelques années, le largage par hélicoptère d'appâts vaccinaux antirabiques a permis de cesser le carnage aveugle. Avec la disparition des grands prédateurs, la gestion des grands mammifères sauvages est devenue exclusivement humaine. Les chasseurs ont suscité l'accroissement exponentiel des populations de gros gibier. En Meuse, de 1980 à 1998, les prélèvements de gibier sont passés de 2407 à 10471 pour les chevreuils et de 526 à 6303 pour les sangliers^b (2). En contrôlant strictement les carnivores, la politique cynégétique a occasionné un accroissement des populations de petits rongeurs, que les rapaces, concurrents alimentaires des carnivores, ne sont plus guère en mesure de réguler.

Nouvelles technologies

Les progrès de la médecine ont fait naître de nouveaux risques. La très large utilisation des antibiotiques en médecine humaine, autant que vétérinaire, a favorisé l'émergence de l'antibiorésistance; quelques souches de *Borrelia* sont maintenant connues

(b) ONC. Source site Internet <http://www.onc.gouv.fr/faune/index.htm>

pour avoir un haut niveau de résistance à la pénicilline (51). Des cas de transmission de babésiose murine ont été causés par la transfusion sanguine (11, 13), ce risque est probable avec le virus Eyach (9), et possible pour les rickettsioses et ehrlichioses (1, 8). La splénectomie et l'immunodépression constituent de nouveaux facteurs de risque; les prothèses vasculaires entraînent un risque de coxiellose chronique (7).

Facteurs naturels

Le vent

Le vent dissémine les insectes ailés, les graines et certains agents pathogènes, comme *Coxiella burnetii* (37). Mais son action mécanique peut aussi se révéler dévastatrice, comme le 26 décembre 1999 où Lothar a fauché 26 millions de mètres cubes de bois en Lorraine, soit l'équivalent de 8 à 10 années d'exploitation.

Le réchauffement climatique

Les années 90 ont été les plus chaudes du xx^e siècle. Dans les 50 années à venir, en Europe du nord, les gaz à effet de serre pourraient provoquer une élévation de 1,5 à 2,5 °C, ainsi qu'une grande pluviosité au nord du 48^e parallèle (6, 10, 24). Bien qu'il soit difficile d'extrapoler, il est possible qu'un tel changement climatique affecte les organismes et leur phénologie (53). La prolifération et l'extension des aires de répartition d'organismes opportunistes, comme les rongeurs et les arthropodes, pourraient être favorisées, et, par là-même, l'émergence de maladies vectorielles à tiques dans les populations humaines (4). De telles hypothèses nécessitent de s'interroger sur les conséquences d'un éventuel réchauffement climatique sur notre région.

Élargissement de la période d'activité des tiques

L'incidence des pathologies vectorielles à tiques en Suède semble corrélée avec la succession d'hivers doux; le climat favorisait le développement des tiques en deux ans, et l'accroissement des populations d'hôtes vertébrés (36). Mais d'autres paramètres pourraient, en partie, favoriser ce phénomène, notamment l'humidité, les cycles endozootiques, ou certains facteurs anthropiques et socio-économiques (43). En France, les nouvelles nymphes sont de toute façon incapables d'entrer en activité avant le retour du printemps (52).

Modification du comportement des tiques selon l'hygrométrie

Le nombre de larves et de nymphes se gorgeant sur les rongeurs conditionne en grande partie leur infection et le degré d'amplification de celle des tiques. Par temps sec, les nymphes quittent les herbes hautes pour rejoindre la végétation basse, probablement pour se rapprocher de l'humidité du sol. Elles se trouvent alors plus au contact des petits rongeurs et sont plus nombreuses à se gorger sur eux. Dans ces conditions, très peu de larves sont retrouvées, alors que leur nombre s'accroît dès que l'humidité augmente, suggérant qu'elles deviennent quiescentes pour échapper à la dessiccation. Le ratio des larves par rapport aux nymphes augmente

donc parallèlement au taux d'humidité, contribuant aux variations géographiques et saisonnières de la cinétique de transmission des maladies (46).

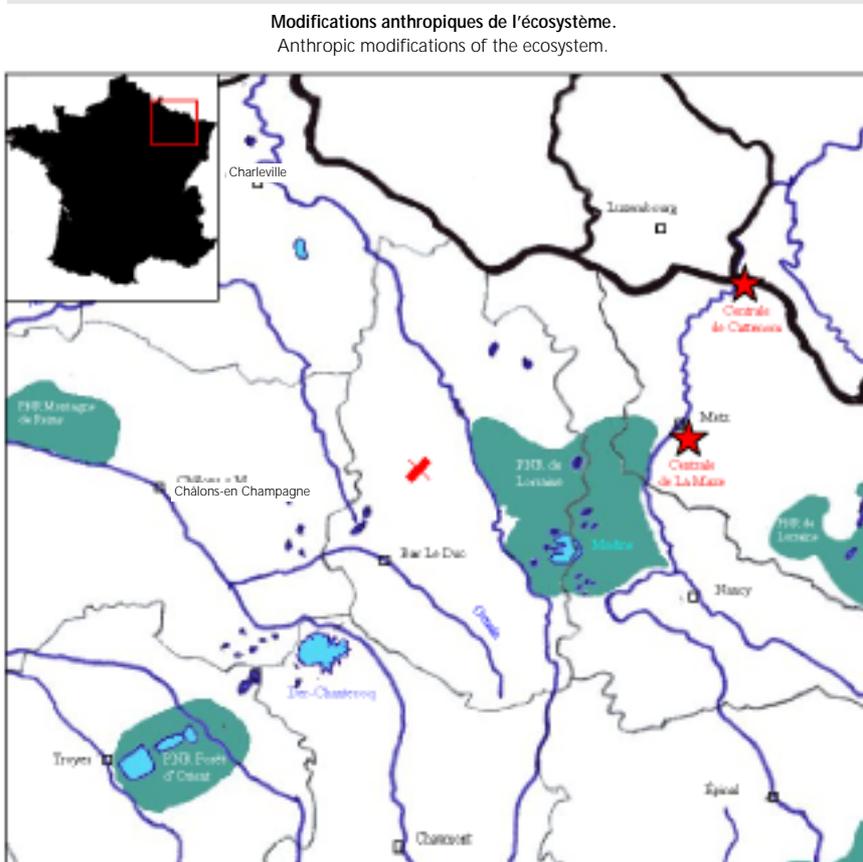
Facilitation du phénomène de co-repas ("cofeeding") (29 à 32, 38)

L'hypothèse du co-repas est récente, elle met à mal le dogme selon lequel l'agent pathogène doit impérativement être présent dans le sang pour que l'hôte puisse le transmettre (32, 45). Le site cutané de la morsure de tique est une zone très importante de réplication virale. Le virus de l'encéphalite à tiques (TBEV) met à profit l'immunomodulation provoquée par la salive de la tique pour se disséminer dans la peau (45). Les larves naïves, se nourrissant à proximité de nymphes infectées, se font ainsi contaminer sans virémie, même chez des hôtes porteurs d'anticorps contre le virus (29-31, 40). Les foyers d'endémie sont les zones où le degré de synchronisation est le plus élevé entre les larves et les nymphes. Des conditions climatiques particulières permettant cette coïncidence représentent donc un facteur prédictif du phénomène de co-repas pour TBEV (44). Le même phénomène de co-repas a été récemment décrit pour *Borrelia burgdorferi*s.l. (38).

L'adaptation des agents pathogènes

Les arbovirus, à l'exception de celui de la peste porcine africaine, sont tous des virus à ARN. Leur forte mutagénicité leur permet d'explorer de nombreuses stratégies de réplication et de maintenir les génotypes optimaux. Les *Borrelia* possèdent également une grande variabilité génétique qui leur permet de s'adapter aux variations environnementales ou aux antibiotiques (49, 51). Leur génome porté sur un petit chromosome linéaire ainsi que sur une vingtaine de plasmides en majorité linéaires (49) est à l'origine du codage instable des gènes autorisant les recombinaisons et les réarrangements inter et intraplasmidiques.

Figure 2.



Les migrations

Dans les années 70, trois parcs régionaux naturels ont été créés en Lorraine, deux autres l'ont été non loin de là, en Champagne; simultanément, deux réserves ornithologiques ont été ouvertes au sein du Parc naturel régional de Lorraine (Madine et Lindre) et une autre en Champagne, sur le lac du Der. Les eaux de la Moselle sont réchauffées par les centrales électriques de La Maxe et de Cattenom (33) (figure 2). L'ensemble de ces zones a rapidement été colonisé par de nombreuses espèces d'oiseaux, au point d'en faire des sites ornithologiques des plus prisés de France. Certains oiseaux jouent le rôle de réservoir de maladies (3, 9, 25, 28), d'autres disséminent les tiques qu'ils portent, tout au long de leurs couloirs migratoires. Leur participation pourrait en partie expliquer la répartition des différents génotypes de *Borrelia* (39), l'extension du TBEV (45) et celle d'espèces d'*Ehrlichia* (5). En outre, le stress migratoire favoriserait la réactivation de borrélioses de Lyme latentes (23).

Facteurs sociologiques et culturels

Les agents pathogènes ne se sont réellement adaptés à l'Homme que lorsque sa population est devenue suffisamment importante, il y a moins de 10 000 ans. Les maladies infectieuses sont apparues avec l'agriculture et la domestication des animaux, la promiscuité a favorisé la contamination et les transports la diffusion.

Retour à la nature

Les transformations actuelles de notre mode de vie favorisent le temps libre et les loisirs à la campagne. Nombre de personnes mal informées se rendent en forêt sans observer les moindres précautions élémentaires; l'accès leur en est facilité par la politique d'ouverture de l'ONF. De surcroît, depuis trente ans, la Lorraine développe le tourisme vert, de magnifiques sentiers de randonnée ont été tracés en pleine nature, sur les champs de bataille, dans les Parcs naturels régionaux et les réserves ornithologiques. La paupérisation aussi amène à la forêt des personnes fragilisées, attirées, du printemps à l'automne, par l'argent des cueillettes. Depuis 1974, les difficultés économiques de la région et la flambée du coût de l'énergie ont approximativement les mêmes effets, en provoquant le doublement du nombre d'affouagistes.

Les animaux de compagnie

Le contact avec un animal de compagnie augmente le risque de morsure par les tiques (12, 15), les ectoparasites non fixés passant sur l'Homme ou étant à l'origine d'une invasion domiciliaire par certaines espèces xérophiles. Environ 45 % des foyers hébergent au moins un chien ou un chat^c.

Urbanisation

Jusqu'à 1945, les villes s'agrandissaient de proche en proche, en cercles concentriques, absorbant progressivement la campagne. L'automobile se démocratisant, l'habitat est devenu plus disséminé et leur extension s'effectue maintenant de façon excentrique dans les vallées, en excluant les pentes trop fortes. Ce mode d'extension a conduit à la création d'un espace périurbain où s'imbriquent des zones urbaines et des espaces ruraux. Petit à petit, les enclaves de terre vouées à l'abandon se sont laissées recoloniser par la végétation, les animaux sauvages et les chiens. *D. reticulatus* est bien adapté à ce nouvel habitat; B. GILOT l'a collecté sur différents terrains vagues des environs de Metz (19). L'espace suburbain, à proximité immédiate de la ville, possède les mêmes constructions anarchiques, plus des zones industrielles, des

infrastructures routières et ferroviaires qui multiplient encore les enclaves de terrain. Les terres abandonnées se sont transformées en landes suburbaines où l'on trouve des animaux, domestiques et même sauvages (14, 35). Elles servent souvent de terrain de jeu, alors que *D. reticulatus* y est systématiquement retrouvé dès que leur surface dépasse un hectare (20). Des cas de piroplasmose canine, chez des chiens n'ayant jamais quitté la ville, tendent à prouver l'activité de la tique jusqu'en zone urbaine (communication personnelle), là où existent de nombreuses possibilités de contact avec l'Homme. L'importance épidémiologique de *D. reticulatus* ne doit donc surtout pas être sous-estimée (19, 20).

Conclusion

Les modifications subies par l'écosystème lorrain depuis un siècle ont créé un ensemble de conditions favorable à la prolifération des tiques, pouvant expliquer l'augmentation actuelle de l'incidence de la borréliose de Lyme. Avec des cours d'eau et des reliefs exclusivement orientés sud-nord, la Lorraine appartient au réseau hydrographique du système rhénan. Les migrants empruntant préférentiellement les couloirs naturels, toutes les conditions sont réunies pour qu'ils puissent nous importer des maladies en pleine expansion en aval de nos fleuves (26). L'émergence de cas d'ehrlichiose granulocytaire humaine (16) et de rickettsiose à *Rickettsia slovaca* (17), sur le plateau de Souilly, pourrait en être un signe avant-coureur.

Références bibliographiques

1. ANONYME - News in brief. *Science*. 12 July 1997, **350**, 9071.
2. ANONYME - Suivi des populations de chevreuils. *Bulletin mensuel de l'Office National de la Chasse*, 1999, **244**, 1-140.
3. BARTHOLD SW - Globalisation of the Lyme borreliosis. *Lancet*, 1998, **348**, 9042.
4. BIRULYA NB & ZALUTSKAYA TI - Warming of the climate and outbreaks of tick-borne encephalitis. *Med Parazitol*, (Mosk.) 1965, **3**, 65-67. (article en russe).
5. BJÖERSDORFF A, BERGSTRÖM S, MASSUNG RF, HÆMIG PD & OLSEN B - Ehrlichia-Infected Ticks on Migrating Birds. *Emerg Infect Dis*, 2001, **7**, 877-879.
6. BRIGNALL P *et al.* - Agricultural drought in Europe. In : *Climate change and risk*. Editors Thomas Downing *et al.*, Routledge, 1999, page 79.
7. BROUQUI P, DUPONT HT, DRANCOURT M, BERLAND Y, ETIENNE J *et al.* Chronic Q fever. Ninety-two cases from France, including 27 cases without endocarditis. *Arch Intern Med*, 1993, **153**, 642-648.
8. CHAMBERLAND ME, EPSTEIN J, DODD RY, PERSING D, WILL RG *et al.* - Tick-borne agents and transfusion. *Emerg Infect Dis*, 1998, **4**, 85.
9. CHASTEL C. Erve et Eyach : deux virus isolés en France, neuro-pathogènes chez l'homme et à diffusion ouest-européenne. *Bull Acad Natl Méd*, 1998, **182**, 801-810.
10. DICKSON R, LAZIER J, MEINCKE J, RHINES P & SWIFT J - Long-term co-ordinated changes in the convective activity of the North Atlantic. *Prog. Oceanogr*, 1996, **38**, 241-295.
11. DOBROSYZCKI J, HERWALDT BL, BOCTOR F, MILLER JR, LINDEN J *et al.* - Transmission of Babesiosis by blood transfusion. *JAMA*, 1999, **281**, 927.
12. DOBY JM & CHASTEL C - Pathologies humaines liées aux tiques (I) Viroses et rickettsioses. *Rev Prat Méd Gén*, 1995, **9** (303), 23-28.
13. DODD RY - Transmission of parasites by blood transfusion. *Transmissible Diseases. VoxSang*. 1998, **74**, (Suppl 2): 161-163.
14. FETERMAN G - Balades nature à Paris. *Dakota Éditions*, 2000, 128 p.
15. GEFFRAY L & PARIS C - Risques infectieux des animaux de compagnie. *Méd Mal Infect*, 2001, **31** suppl 2, 126-142.
16. GEORGE JC - Comment un syndrome grippal estival peut révéler un premier cas d'ehrlichiose granulocytaire en France. *Rev Prat Méd Gén*, 1999, **13** (475), 1715-1717.

(c) Source: FACCO/SOFRES 2000

17. GEORGE JC - De nouvelles maladies vectorielles à tiques en France ? Émergence en Meuse de *Rickettsia slovaca*. *Rev Prat Méd Gén*, 2001, **15** (543), 1387-1390.
18. GILOT B, BONNEFILLE M, DEGEILH B, BEAUCORNU JC, PICHOT J & GUIGUEN C - La colonisation des massifs forestiers par *Ixodes ricinus* (Linné, 1758) en France : utilisation du chevreuil, *Capreolus capreolus* (L., 1758) comme marqueur biologique. *Parasite*, 1994, **1**, 81-86.
19. GILOT B & PAUTOU G - L'évolution des populations de tiques (*Ixodidae* et *Argasidae*) en relation avec l'artificialisation des milieux dans les Alpes françaises. *Acta Trop*, 1982, **39**, 337-354.
20. GILOT B, PAUTOU G, IMMLER R & MONCADA E - Biotopes suburbains à *Dermacentor reticulatus* (Fabricius, 1794) (*Ixodoidea*). *Rev Suisse Zool*, 1973, **80**, 411-430.
21. GILOT B, PAUTOU G & MONCADA E - L'analyse de la végétation appliquée à la détection des populations de tiques exophiles dans le sud-est de la France : l'exemple d'*Ixodes ricinus* (Linné 1758). *Acta Trop*, 1975, **32**, 340-347.
22. GUIBERT B - Analyse des milieux naturels. *Arborescence*. Office National des Forêts. 1997, **68**, p 10.
23. GYLFE A, BERGSTRÖM S, LINDSTRÖM J & OLSEN S - Epidemiology: Reactivation of *Borrelia* infection in birds. *Nature*, 2000, **403**, 724 - 725.
24. HADLEY CENTRE - Modelling climate change 1860-2050. *UK Meteorol Office*, 1995, Bracknell, UK.
25. HUMAIR PF, POSTIC D, WALLICH R & GERN L - An avian reservoir (*Turdus merula*) of the Lyme borreliosis spirochetes. *Zentralbl Bakteriol*, 1998, **287**, 521-538.
26. HUNFELD KP, ALLWINN R, PETERS S, KRAICZY P & BRADE V - Serologic evidence for tick-borne pathogens other than *Borrelia burgdorferi* (TOBB) in Lyme borreliosis patients from mid-western Germany. *Wien Klin Wochenschr*, 1998, **110**, 901-908.
27. HUSSON JP - *Les hommes et la forêt en Lorraine*. Éditions Bonneton, Millau, 1991, pp. 11-45.
28. JÚRICOVÁ Z, PINOWSKI J, LITERÁK I, HAHM KH & ROMANOWSKIJ - Antibodies to alphavirus, flavivirus, and bunyavirus arboviruses in house sparrows (*Passer domesticus*) and tree sparrows (*P. montanus*) in Poland. *Avian Dis*, 1998, **42**, 182-185 Jan-Mar. (Praha) 1998, **45**, 319-25.
29. LABUDA M, AUSTYN J, ZUFFOVÁ E, KOZUCH O, FUCHSBERGER N *et al.* - Importance of localized skin infection in tick-borne encephalitis virus transmission. *Virology*, 1996, **219**, 357-366.
30. LABUDA M, JONES L, WILLIAMS T & NUTTALL P - Enhancement of tick-borne encephalitis virus between co-feeding ticks. *Med Vet Entomol*, 1993, **7**, 193-196.
31. LABUDA M, KOZUCH O, ELECKOVÁ E, ZUFFOVÁ E, HAILS RS & NUTTALL PA - Tick-borne encephalitis virus transmission between ticks co-feeding on specific immune natural rodent hosts. *Virology*, 1997, **235**, 138-143.
32. LABUDA M, NUTTALL P, KOZUCH O, ELECKOVÁ E, ZUFFOVÁ E, *et al.* - Non-viraemic transmission of tick-borne encephalitis virus: a mechanism for arbovirus survival in nature. *Experimentia*, 1993, **7**, 802-805.
33. LE PIHAN JC - La Lorraine pays de lacs et d'étangs in : *Invertébrés et poissons de Lorraine*. Ed Mars et Mercure. Wettolsheim. 1980, p. 92-109.
34. LE PIHAN JC, ARTOIS M, CONDE B, GLASSER J, LEFRANC N & POIVRE C - *La nature en Lorraine*. Mammifères batraciens et reptiles. Éditions Mars et Mercure, Wettolsheim, 1979, pp. 49-79.
35. LESAFFRE G - Animaux de la ville. *Les carnets de la nature*. Gallimard Jeunesse, Paris. 1995, 48 pages.
36. LINDGREN E - Climate and tickborne encephalitis. *Conservation Ecology* [on line], 1998, **2**, 5.
37. LYYTIKÄINEN O, PETERSEN L, SCHWARTLÄNDER B, MATZDORFF P, KUHNHEN C *et al.* - Q fever outbreak Germany 1996. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep*, 1997, **46**, 29-32.
38. OGDEN NH, NUTTALL PA & RANDOLPH SE - Natural Lyme disease cycles maintained via sheep by co-feeding ticks. *Parasitology*, 1997, **115**, 591-599.
39. OLSEN B, JAENSON TG & BERGSTROM - Prevalence of *Borrelia burgdorferi* sensu lato-infected ticks on migrating birds. *Appl Environ Microbiol*, 1995, **61**, 3082-3087.
40. PAVIS C & BARÉ N - Kinetics of male pheromone production by *Amblyomma variegatum* (Acari: *Ixodidae*). *J Med Entomol*, 1993, **30**, 961-965.
41. PÉREZ-EID C & GILOT B - Les tiques : cycles, habitats, hôtes, rôle pathogène, lutte. *Méd Mal Infect*. 1998, **28**, (N° spécial), 335-343.
42. PÉREZ-EID C, PICHON B, ZHIOUA E, TREMEL N, VILLERET R *et al.* - La borréliose de Lyme maladie émergente liée à l'environnement. *Bull Acad Natl Méd*, 1998, **182**, 267-283.
43. RANDOLPH SE - Tick-borne encephalitis in Europe. *Lancet*, 2001, **358** (9294), 1731-1732.
44. RANDOLPH SE, GREEN RM, PEACEY MF & ROGERS DJ - Seasonal synchrony : they key to tick-borne encephalitis foci identified by satellite data. *Parasitology*, 2000, **121**, 15-23.
45. RANDOLPH SE, MIKLISOVA D, LYSY J, ROGERS DJ & LABUDA M - Incidence from coincidence: patterns of ticks infestation on rodents facilitate of tick-borne encephalitis virus. *Parasitology*, 1999, **118**, 177-186.
46. RANDOLPH SE & STOREY K - Impact of microclimate on immature tick-rodent host interactions (Acari: *Ixodidae*): implications for parasite transmission. *J Med Entomol*, 1999, Nov, **36**, 741-748.
47. RAOULT D - Les nouvelles rickettsioses. *Concours Méd*, 1999, **121**, 1069-1073.
48. REITEL F - *La nature en Lorraine*. Les milieux naturels et humains. Éditions Mars et Mercure, Wettolsheim, 1977, pp. 45-53.
49. ROBERTS DM, CARLYON JA, THEISEN M & MARCONI RT - The bdr gene families of the Lyme disease and relapsing fever spirochetes. *Emerg Infect Dis*, 2000, **6**, 110-122.
50. RODHAIN F & PÉREZ C - *Précis d'entomologie médicale et vétérinaire*. Maloine, Paris, 1985, p.49.
51. STEERE AC - *Borrelia burgdorferi*. In : MANDELL GL, BENNETT JE, DOLIN R (eds) - *Principles and Practice of Infectious Diseases*, ed 4. New York, Churchill-Livingstone, 1995, pp. 2143-2155.
52. VASSALO M, PAUL R & PÉREZ-EID C - Distribution temporelle du stock annuel de nymphes d'*Ixodes ricinus*. *Méd Mal Infect*, 2001, **31** suppl 2, page 305s.
53. WALTHER GR, POST E, CONVEY P, MENZEL A, ARMESANK C *et al.* Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 2002, **416**, 389-395.