



DOSSIER DE CANDIDATURE

HABILITATION A DIRIGER DES RECHERCHES

**« Risques sanitaires
liés aux Animaux et Produits Animaux »**

Eric CARDINALE

*CIRAD – CRVOI
2 rue Maxime Rivière
97490 Ste Clotilde*

Sommaire

1. Travaux – Encadrements – Publications	3
1.1 Curriculum Vitae	3
1.2 Publications	4
1.3 Expérience professionnelle :	9
1.4 Parcours Professionnel	9
1.5 Résumé des activités scientifiques	12
1.5.1 Activités Scientifiques Doctorales :	12
1.5.2 Activités scientifiques pré et post-doctorales	12
1.6 Contrats de recherche	14
1.7 Production scientifique	15
1.8 Activités d'encadrement	15
1.9 Activités d'enseignement	17
1.10 Activités d'expertise	18
2. Travaux de Recherche actuels : Mieux maîtriser les risques sanitaires liés à l'animal ou aux denrées alimentaires d'origine animale	20
2.1 Comment maîtriser les risques sanitaires liés aux denrées alimentaires d'origine animale et limiter leur impact sur la santé publique ?	20
2.1.1 Contexte	20
2.1.2 Les objectifs de l'étude	21
2.1.3 Les enjeux	21
2.1.4 Méthodologie	23
2.1.5 Le potentiel pour l'encadrement	25
2.1.6 Le potentiel pour les publications	26
2.1.7 La source des financements	26
2.2 Comment mieux maîtriser les risques sanitaires liés à l'animal dans l'Océan indien et éviter la diffusion des maladies émergentes ?	27
2.2.1 Le Contexte	27
2.2.2 Les objectifs du projet	28
2.2.3 Méthodologie	28
2.2.4 Le potentiel pour l'encadrement	33
2.2.5 Le potentiel pour les publications	33
2.3 Pourquoi de telles perspectives ?	33
2.3.1 La rationalité de ces perspectives	33
2.3.2 La philosophie de ces perspectives	40
Conclusion: Une unicité dans l'approche	44
Annexe :	45

1. Travaux – Encadrements – Publications

1.1 Curriculum Vitae

Eric CARDINALE (M.)

Né le 27 avril 1968
Vie Maritale, 3 enfants

Adresse Professionnelle :
Centre de recherche et de veille
Sur les maladies émergentes
dans l’Océan Indien
2, Rue Maxime Rivière
97490 Ste Clotilde
Tél : 02 62 93 88 05

Adresse Personnelle :
46 bis, rue Desbassyns
Rivière des Pluies
97438 Ste Marie
Tél : 02 62 97 22 83

FONCTION : - Responsable du pôle Qualité des productions agricoles et alimentaires tropicales du CIRAD – Réunion
- Coordonnateur régional sur la santé animale du CRVOI (*Voir annexe : Organigramme*)

FORMATION :

- **Certificat de Bactériologie médicale.** Institut Pasteur de Paris (2005)
- **Doctorat d’Université** en Microbiologie (Ecole E2M2 Université Claude Bernard Lyon I): « *Salmonella* et *Campylobacter* dans la filière avicole sénégalaise. Impact sur la santé publique ». Félicitations du jury. Soutenance 7 février 2005.
- **DEA** d’écologie Microbienne. Université Claude Bernard Lyon I (2001)
- **CEAV** (Certificat d’études approfondies vétérinaires) de santé publique vétérinaire. Ecole Nationale des Services Vétérinaires. Lyon (1997)
- **Doctorat vétérinaire.** Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse (1994). Prix de thèse
- **D.E.S.S. de productions animales en régions chaudes.** Institut d’élevage et de médecine vétérinaire tropicale (1993)
- **Certificat de pathologie tropicale.** Institut d’élevage et de médecine vétérinaire tropicale (1992)

COMPETENCES LINGUISTIQUES : - Anglais- Espagnol (lu, écrit, parlé)
- Italien

1.2 Publications

ARTICLES DE PERIODIQUE:

- avec Comité de lecture et facteur d'impact

- 1. Kinana A.D., Cardinale E., Bahsoun I., Tall F., Sire J.M., Breurec S., Garin B., Boye C.S., Perrier-Gros-Claude J.D.2007. *Campylobacter coli* isolates derived from chickens in Senegal: diversity, genetic exchange with *Campylobacter jejuni* and quinolone resistance. Res. Microbiol. 158: 138 -142
- 2. Kinana A.D., Cardinale E., Bahsoun I., Tall F., Sire J.M., Garin B., Boye C.S., Dromigny J.A., Perrier-Gros-Claude J.D.2007. Analysis of topoisomerase mutations in fluoroquinolone-resistant and –susceptible *Campylobacter jejuni* strains isolated in Senegal. Int. J. Antimicrob. Ag. 29: 397-401
- 3. Cardinale E., Rose V., Perrier Gros-Claude J.D., Tall F., Rivoal K., Mead G. et Salvat G. 2006. Genetic Characterization and Antibiotic Resistance of *Campylobacter* spp. isolated from Poultry and Humans in Senegal. J. Appl. Microbiol. 100 (1), 209-217
- 4. Kinana A.D., Cardinale E., Tall F., Bahsoun I., Sire J.M., Garin B., Breurec S., Boye C.S., Perrier-Gros-Claude J.D.2006.Genetic diversity and quinolone resistance in *Campylobacter jejuni* isolates from poultry in Senegal. Appl Environ Microbiol. 72(5):3309-13.
- 5. Cardinale E., Perrier Gros-Claude J.D., Rivoal K., Rose V., Tall F., Mead G. et Salvat G. 2005. Epidemiological analysis of *Salm onella enterica* subsp. *enterica* serovars Hadar, Brancaster and Enteritidis from humans and broiler chickens in Senegal using pulsed-field gel electrophoresis and antibiotic susceptibility. J. Appl. Microbiol. 99, 968-977
- 6. Cardinale E., Perrier Gros-Claude J.D., Tall F., Guèye E.F. et Salvat G. 2005. Risk factors for contamination of ready-to-eat street-vended poultry dishes in Dakar, Senegal. Int. J. Food Microbiol. 103: 157 -165
- 7. Cardinale E., Perrier Gros-Claude J.D., Tall F, Cisse M., Guèye E.H.F.and Salvat G. 2005. Risk Factors associated with *Salmonella enterica* subsp. *enterica* contamination of chicken carcasses in Senegal II. Brit. Poult. Sc. 46 (3) 293-299
- 8. Cardinale E., Perrier Gros-Claude J.D., Tall F, Cisse M., Guèye E.H.F.and Salvat G. 2005. Risk Factors associated with *Salmonella enterica* subsp. *enterica* contamination of chicken carcasses in Senegal I. Brit. Poult. Sc. 46 (2) 204-210
- 9. Njoya A., Awa D.N., Ngo Tama A.C., Cardinale E., Mamoudou A. 2005. Evaluation d'une stratégie de réduction de la mortalité des petits ruminants en zone soudano-sahélienne du Nord-Cameroun. Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux. vol.58:n 1-2: p. 89-94
- 10. Cardinale E., Tall F, Cisse M., Guèye E.H.F.and Salvat G. 2004. Risk Factors for *Campylobacter* spp. contamination in Senegalese broiler-chicken flocks. Prev. Vet. Med. 64: 15-25

- 11. Cardinale E., Tall F, Cisse M., Guèye E.H.F.and Salvat G.2004. Risk Factors for *Salmonella enterica* subsp. *enterica* contamination in Senegalese broiler-chicken flocks. *Prev. Vet. Med.* 63 (3-4): 151-161
- 12. Cardinale E., Dromigny J.A., Tall F., Ndiaye M., Konte M., Perrier Gros-Claude J.D. 2003. Fluoroquinolone Susceptibility of *Campylobacter* strains isolated from chicken in Senegal. *Emerg. Inf. Dis.* 9 (11) 1479-1481
- 13. Cardinale E., Tall F., Cisse M., Guèye E.H.F and Salvat G. 2003. Prevalence of *Salmonella* and *Campylobacter* in retail chicken carcasses in Senegal. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 56 (1-2) : 13-16
- 14. Cardinale E., Dromigny J.A., Tall F., Ndiaye M., Konté M., Perrier Gros-Claude J.D., 2003 Antimicrobial susceptibility of *Campylobacter* strains isolated from chicken carcasses in Senegal . *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, vol.55, n. 4, p. 259-264.
- 15. Desvaux S., Som S., Holl D., Chavernac D, Goutard F ; Thonnat J., Porphyre V ; Menard S ;, Cardinale E., Roger F. 2006. HPAI surveillance programme in Cambodia: results and perspectives. *Dev Biol (Basel)*. 2006;124:211-24.
- 16. Cardinale E. et Seignobos C. 2004. Le poney Musey et les pratiques vétérinaires (région de Gobo, Nord-Cameroun). *Anthropozoologica* 39 (1) : 43-60
- 17. Cardinale E., Colbachini P., Perrier Gros-Claude JD., Gassama A and Aidara Kane A.. 2001 Dual emergence in food and humans of a novel multiresistant serotype of *Salmonella* in Senegal : *Salmonella enterica* subsp. *enterica* Serotype 35 :c :1,2. *J. Clin. Microbiol.* 39 : 2373 - 2374
- 18. E. Cardinale, J.D. Perrier, A. Aidara, F. Tall, C. Coudert, I.L. Gueye, Konte M. Identification d'une nouvelle Salmonelle multirésistante dans une viande de poulet de chair au Sénégal. *Revue Elev. Med. Vet. Pays Trop.* 2000, 53(1) : 5 - 7
- 19. E. Cardinale. Le Réseau Sénégalais d'Epidémiologie Aviaire : Présentation et premiers résultats. *Epidémiol. et Santé anim.* 2000, 37 : 105-116
- 20. E. Cardinale, F. Tall, P. Kane, A. Moisan. Etude comparative de protocoles de vaccination contre la maladie de Newcastle dans les élevages modernes de poules pondeuses au Sénégal. . *Revue Elev. Med. Vet. Pays Trop.* 1999, 52 (3).5p.
- 21. E. Cardinale. JF.Dayon, G.Pene, M. Faye, B. Doyen. Apparition d'encéphalomyélite aviaire au Sénégal. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays. Trop.* 1999. 52 (1) : 5 - 8
- 22. C. Sailleau, J. Seignot, B. Davoust, E. Cardinale, B. Fall et S. Zientara. African Horse Sickness virus isolated in Senegal and nucleotide sequence determination of the NS3 coding segment S10. *Journal of virological methods.* 1999. 10p
- 23. E. Cardinale, B.Arbelot, Y. Kaboret, JF Dayon, C. Biauou, O. Bada Algom. La maladie de Gumboro dans les élevages semi-industriels de la région de Dakar. *Revue Elev Med Vet Pays Trop*, 1998, 51 (4) : 293-297
- **Avec comité de lecture** :
- 24. Gueye E.F., Cardinale E., Cisse M. Mandiamy D ,Dieng A, Ly C. 2004. Family poultry keeping in the Dakar area, Senegal. GRM International PTY Ltd. Australia. March 2004. ThirdEditionp3-4.
<http://www.vsap.uq.edu.au/RuralPoultry/content/news/eNewsletter320PICT.pdf>

En cours de publication :

- 25. Cardinale E., Perrier Gros-Claude J.D., Tall F., Cisse M., Guèye E.H.F. and Salvat G. Risk Factors associated with *Campylobacter* spp. contamination of chicken carcasses in Senegal. Soumis à British Poultry Science.
- 26. Cardinale E., Gueye I.L., Tall F., Kane P., Moisan A. Etude de la qualité microbiologique des œufs de consommation de la région de Dakar . Revue Elev. Med. Vet. Pays Trop.
- 27. E. Cardinale, AC Ngo Tama, A. Njoya et D. Bouchel « Les performances de reproduction des petits ruminants du Nord-Cameroun »
- 28. E. Cardinale, AC Ngo Tama, A. Njoya et D. Bouchel « Mortalité et exploitation des petits ruminants au Nord-Cameroun »
- 29. E. Cardinale, AC Ngo Tama, A. Njoya et D. Bouchel « Croissance pondérale des petits ruminants du Nord-Cameroun »

Articles dans revues professionnelles

- 1. E. Cardinale, XA Pavard. Toxi-infections alimentaires au Royaume-Uni. Augmentation des cas et intensification des recherches de virus. La semaine vétérinaire. 2 mai 1998. N°894. Supplément p IV.
- 2. E. Cardinale, XA Pavard. Une agence de la sécurité alimentaire devrait voir le jour en 1999. La semaine vétérinaire. N°879. 10 janvier 1998.p 38

OUVRAGES ET CHAPITRES D'OUVRAGE

- 1. Bastianelli D., Bebay C.E., Cardinale E. 2002. Zootechnie spéciale. L'élevage des monogastriques non herbivores : l'aviculture. [Cd-Rom]. In *Mémento de l'agronome. - Montpellier : CIRAD, 2002*, 1 disque numérique (CD-ROM)
- 2. Bastianelli D., Bebay C.E., Cardinale E. 2002. Zootechnie spéciale. L'élevage des monogastriques non herbivores : l'aviculture. In *Mémento de l'agronome. - Montpellier : CIRAD, 2002*, p. 1529-1567
- 3. Barbet A., Cardinale E., Ehret P., Mallet E., Thonnat J., Vareille S. Formation des personnels des services officiels de contrôle sanitaire des pays en développement : Tool box. 2003. Montpellier, France, CIRAD-EMVT, 1 disque optique numérique (CD-ROM)
- 4. Cardinale E. La conduite sanitaire des élevages de poules au Sénégal. Impact sur la qualité de l'œuf de consommation. 2003. In : La Production d'œufs de consommation en climat chaud. ITAVI. P 111 - 116
- 5. P. Drouin et E. Cardinale. Biosécurité et décontamination en productions de poulets de chair en climat chaud. In Production de poulets de chair en climat chaud. ITAVI. 1999. p 94 - 107
- 6. E. Cardinale et al. « L'élevage des petits ruminants au Nord-Cameroun » CIRAD. Agriculture des savanes du Nord-Cameroun. 25-29 novembre 1996. 12p.

COMMUNICATIONS DE CONGRES

- 1. Cardinale E., Perrier Gros-Claude J.D., Tall F., Guèye E.F. et Salvat G. Use of Antibiotic susceptibility patterns and PFGE to compare isolates of *Salmonella enterica* subsp. *enterica* serovars Hadar, Brancaster and Enteritidis from humans and broiler chickens in Senegal ISVEE XI. 4 -11 August 2006. Cairns. Australia

- 2. Cardinale E., Perrier Gros-Claude J.D., Tall F., Guèye E.F. et Salvat G. Epidemiological analysis of *Campylobacter* spp. Isolated from Poultry and Humans in Senegal using pulsed-field gel electrophoresis and antibiotic susceptibility. ISVEE XI. 4 -11 August 2006. Cairns. Australia
- 3. Cardinale E., Perrier Gros-Claude J.D., Tall F., Guèye E.F. et Salvat G. Risk factors for contamination of ready-to-eat street-vended poultry dishes in Dakar, Senegal. Symposium Euro-Maghrébin sécurité alimentaire. Fès. 7-8-9 septembre 2005
- 4. Cardinale E., Tall F., Cisse M., Guèye EHF, Salvat G. Risk Factors for *Salmonella enterica* subsp. *enterica* and *Campylobacter* spp. contamination of chicken carcasses in Senegal. ISVEE X Vina del Mar. Chili. Novembre 2003. 3p.
- 5. Cardinale E. 2004. Aviculture péri-urbaine et santé publique [Résumé]. [Cd-Rom]. In *Journées de septembre CIRAD-FLHOR 2004 : réunion agriculture périurbaine, 1er septembre 2004. - Montpellier : CIRAD-FLHOR, 2004*, 1 diaporama (15 vues)
- 6. Cardinale E., Tall F., Cisse M., Guèye E.H.F and Salvat G. 2003. Risk Factors Associated with *Salmonella enterica* subsp. *enterica* and *Campylobacter* spp. contamination of broilers and chicken carcasses in Senegal. XVI European Symposium on the Quality of Poultry Meat. 23 – 26 September . St Briec France.
- 7. Cardinale E., Tall F., Cisse M., Guèye E.H.F and Salvat G. 2003. Antimicrobial susceptibilities of *Campylobacter* strains isolated from chicken carcasses in Senegal. XVI European Symposium on the Quality of Poultry Meat. 23 – 26 September . St Briec France.
- 8. Cardinale E., Dieng C., Pene G., Wade I., Diallo A., Tall F., Kane P., Konte M. 2001. Les Pratiques Hygiéniques des Aviculteurs Sénégalais : Impact sur la Productivité. Journées de la Recherche Avicole. Nantes. 27 –29 mars : 333-336
- 9. Cardinale E., Porphyre V., Bastianelli D. 2002. Methods to promote healthier animal production : Examples in periurban poultry production around Dakar. [On line]. In *Appropriate methods for urban agriculture: research, policy development, planning, implementation and evaluation. Email conference, February 4-16, 2002. - , 2002*, n.p. http://www.ruaf.org/conferences_fr.html
- 10. Cardinale E. Œufs et Volailles : Filières orientées vers le marché local, enjeux de minimisation de la présence des contaminants microbiologiques et de résidus de médicaments vétérinaires. 2000. Atelier sur la gestion de la sécurité des aliments dans les pays en développement. CIRAD –FAO. Montpellier France . 10 –14 décembre.
- 11. Cardinale E., Hendrikx P. The Senegalese Epidemiosurveillance Network on Poultry Diseases (RESESAV). ISVEE. Breckenridge (Col). USA. 6 – 11 août 2000. 3 p.
- 12. Cardinale E. Hendrikx P. The Senegalese Epidemiosurveillance Network on Poultry Diseases (RESESAV) : One Year Results. ISVEE. Breckenridge (Col). USA. 6 – 11 août 2000. 3 p.
- 13. Colbalchini P., Perrier-Gros-Claude J.D., Cardinale E., Fougerouse C., Ka S.. Cas groupés de salmonelloses multirésistantes : acquisition communautaire et diffusion hospitalière ? Septièmes actualités du Pharo. Toulon, 8-9 Septembre 2000.
- 14. Leriche H. and Cardinale E. The International Cooperation Centre in Agronomic Research for Development (CIRAD). SADC Planning Workshop on Newcastle Disease Control in Viallge Chickens. Maputo. Mozambique. 6 – 9 march 2000. Aciar Proceedings N° 103. p 115
- 15. Njoya A., Cardinale E., Mamoudou A., Awa D.N., Ngo Tama A.C. 2000. Stratégie de contrôle de la mortalité des petits ruminants en zone sahélienne du Nord Cameroun. Contrôle

de la mortalité des petits ruminants au Cameroun. In *Bilan et perspectives de programmes européens sur les petits ruminants en Afrique : communications présentées au symposium techniques T1, Poitiers, le 20 mai 2000*. - Bruxelles : Commission européenne, 2000, p. 233-247

- 16. N. Eteradossi, E. Cardinale, G. Rivallan, C. Arnauld, F. Tekaiia, D. Toquin, J. Domenech, H. Le Coq et M. Guittet. Caractérisation antigénique et génomique des souches ivoiriennes et sénégalaises du virus de la maladie de Gumboro. Troisièmes Journées de la Recherche Avicole. St Malo. 23-25 mars 1999. 5p
- 17. E. Cardinale . Lutte contre la pathologie aviaire au Sénégal. Situation et gestion. ITAVI. 15 Septembre 1998. 9p
- 18. E. Cardinale et Ch. Seignobos. « La pharmacopée traditionnelle du poney Musai » Colloque Méga-Tchad. Orléans. 15-17 octobre 1997
- 19. D.Reiss, E. Cardinale et al.« Traitements trypanocides et médicaments vétérinaires au Nord-Cameroun » Colloque Méga-Tchad. Orléans. 15-17 octobre 1997.
- 20. Cardinale E., Ngo Tama A.C., Njoya A. 1997. Elevage des petits ruminants. Connaissance et amélioration de la productivité. In *Agricultures des savanes du Nord-Cameroun. Vers un développement solidaire des savanes d'Afrique Centrale. Actes*. - Montpellier : CIRAD, 1997, p.123-135
- 21. Moussa C., Njoya A., Ngo Tama A.C., Cardinale E., Sali B. 1997. Formation des prix au producteur et impact de la dévaluation du franc CFA sur les stratégies de production des petits ruminants. In *Agricultures des savanes du Nord-Cameroun. Vers un développement solidaire des savanes d'Afrique Centrale. Actes*. - Montpellier : CIRAD, 1997, p.514 (1 p.)
- 22. Njoya A., Awa N.D., Moussa C., Ngo Tama A.C., Cardinale E., Ebangi A.L., Ngangué J.M. 1997. L'élevage porcin au Nord-Cameroun : situation actuelle et possibilités d'amélioration. In *Agricultures des savanes du Nord-Cameroun. Vers un développement solidaire des savanes d'Afrique Centrale. Actes*. - Montpellier : CIRAD, 1997, p.516 (1 p.)
- 23. Vall E., Ebangi A.L., Cardinale E., Njoya A., Dugué P. 1997. Exploitation de l'énergie animale. Diversité de la traction animale et pratiques de culture attelée. In *Agricultures des savanes du Nord-Cameroun. Vers un développement solidaire des savanes d'Afrique Centrale. Actes*. - Montpellier : CIRAD, 1997, p.137-158

1.3 Expérience professionnelle :

- De mars à août 1992 : Contractuel du Ministère de la Coopération Française à Djibouti. Etude sur le réservoir potentiel de zoonoses

- De juillet 1993 à août 1996 : Responsable des actions zootechniques et sanitaires sur les ruminants à l'Institut de recherches zootechniques et vétérinaires à Garoua (Cameroun) - CIRAD

- De octobre 1997 à juillet 2004 : Responsable du laboratoire de bactériologie et de pathologie aviaire à l'Institut scientifique de recherches agricoles – Laboratoire national d'élevage et de recherches vétérinaires à Dakar (Sénégal) – Détaché au CIRAD par le Ministère de l'Agriculture et des affaires rurales

- De novembre 2004 à décembre 2005 : Responsable des actions relatives à l'hygiène et la qualité des denrées alimentaires d'origine animale à Montpellier au département Elevage et Médecine Vétérinaire Tropicale - Détaché au CIRAD par le Ministère de l'Agriculture de la pêche et de l'Alimentation

- De janvier 2006 à juin 2008 : Responsable depuis 2 ans du pôle « Qualité des productions agricoles et des produits alimentaires » (Kappa) ; un des trois pôles de recherche du CIRAD à la Réunion (encadrement de 13 chercheurs, 50 agents). En plus, depuis Décembre 2007, Coordonnateur de la santé animale auprès du Centre de recherche et de veille de l'Océan Indien sur les maladies émergentes (décision du comité directeur du CRVOI).

1.4 Parcours Professionnel

J'ai débuté mes activités de recherche à Djibouti en 1992 où j'ai été recruté sur un contrat liant l'Ecole nationale vétérinaire de Toulouse avec le Ministère de la Coopération Française. L'objectif de ce contrat était de mettre en évidence un réservoir potentiel animal, source d'anthropozoonoses. Notre action consistait à prélever les animaux qui devaient être abattus, effectuer sur ces animaux un examen ante- et post-mortem afin de se rendre compte de toute lésion suspecte et enfin analyser les prélèvements réalisés pour estimer la prévalence de certaines zoonoses : tuberculose, brucellose, chlamydie, fièvre Q...

J'ai ensuite été envoyé au Cameroun alors que je venais d'être recruté par le CIRAD d'abord en tant que Coopérant du Service National puis en tant que contractuel à durée déterminée. Ce poste s'est inscrit dans le cadre de deux projets : le projet de recherche sur les petits ruminants et le projet Garoua. L'essentiel de mon activité a consisté à animer, former et coordonner une équipe pluridisciplinaire constituée essentiellement de partenaires camerounais, agents de l'Institut de Recherches Zootechniques et Vétérinaires. Cette activité imposait d'organiser et de coordonner, in situ, de nombreuses missions en brousse (15 jours par mois) pour recueillir les données zootechniques et sanitaires et donc de résoudre les nombreuses difficultés afférentes à ce type de déplacement. Les résultats obtenus ont permis de mieux approfondir les connaissances relatives aux performances des animaux et ont mis en exergue des solutions pour améliorer leur

productivité : amélioration de la fertilité, réduction de la mortalité, rationnement plus équilibré...Ce qui répondait aux objectifs du projet.

Après un an au Ministère de l'Agriculture (Ecole Nationale des Services Vétérinaires), j'ai été nommé au laboratoire de l'ISRA-LNERV pour y développer le diagnostic des pathologies aviaires et l'appui à la production avicole. Cette dernière était en pleine expansion notamment en zones urbaines et péri-urbaines, particulièrement autour de Dakar mais ni les aviculteurs, ni les vétérinaires et autres techniciens d'élevage n'avaient recours aux services du laboratoire. En outre, le projet PRODEC (projet de développement des espèces à cycle court) financé par la Coopération Française se clôturait. J'ai donc dû d'abord me mettre à la recherche de financements afin de mettre aux normes le laboratoire et mieux valoriser ses activités (financements obtenus auprès des ambassades d'Espagne, de France et des Pays-Bas ; Aupelf-Uref). Ces premières actions m'ont permis de connaître les acteurs majeurs de la filière et d'identifier leurs besoins prioritaires. Parmi ces besoins, le problème sanitaire restait la préoccupation constante de tous ces professionnels ; en effet, l'activité avicole était menée dans des conditions d'hygiène souvent médiocres, sous un climat chaud et humide, sur des surfaces souvent limitées et les pathologies occasionnaient des pertes économiques souvent très importantes à la profession. J'ai donc mis en place un réseau de surveillance des pathologies aviaires avec les acteurs de la santé avicole, le premier en Afrique. Ce réseau, composé de 35 personnes dont 6 agents locaux sous ma responsabilité directe, a relancé les activités du laboratoire et a permis de mieux organiser la filière avicole avec la création d'une interprofession forte et enfin de lutter plus efficacement contre les maladies. En parallèle, le gouvernement sénégalais nous a demandé d'étudier les dangers liés à la consommation de poulet, notamment pour pouvoir comparer les produits locaux à ceux qui étaient massivement importés. Les résultats de cette étude ont fait l'objet de ma thèse d'Université ; ils ont permis d'identifier les points à maîtriser en priorité depuis l'élevage jusqu'au restaurant de rue pour limiter les effets néfastes sur la santé du consommateur.

Mon activité au Sénégal s'est arrêtée en juillet 2004 et je suis rentré au CIRAD à Montpellier. Ce passage en métropole avait pour objectif la finalisation de ma thèse, que j'ai soutenue en février 2005 et surtout la formalisation de l'équipe « Hygiène des denrées alimentaires d'origine animale » dont 3 chercheurs sous ma responsabilité. Cette année m'a permis d'identifier les agents du CIRAD qui travaillaient dans le domaine de l'hygiène et de la qualité alimentaire ; c'est ainsi que j'ai pris la tête du volet sanitaire d'un projet fédérateur LabelSud dans lequel nous avons élaboré une trame d'analyse des risques sanitaires adaptée aux filières agricoles des pays du Sud. Cette activité a été conduite dans une équipe pluridisciplinaire composée de sociologues, d'économistes, de juriste et de techniciens (animaux et végétaux) que j'ai animée. Il m'a également été confié la supervision des projets de recherche conduits au Vietnam sur le porc et le lait, au Sénégal sur la volaille, en Ouganda et en Ethiopie sur le lait dans le domaine. Enfin, j'ai repris et conforté le module « Maîtrise de la qualité hygiénique dans les filières animales en régions chaudes » du Master Productions animales en régions chaudes, qui rencontrait des difficultés, en en faisant un enseignement pratique autant pour les étudiants français et étrangers.

Depuis début 2006, j'ai été nommé à la Réunion en tant que responsable du pôle sur la qualité des productions agricoles et des produits alimentaires. Cette activité était un challenge intéressant

dans la mesure où il fallait défendre les projets menés par des équipes rattachées à des UR différentes et dans des activités différentes pour obtenir les financements du Programme Opérationnel Européen 2008-2013. Ce travail, de longue haleine, a été couronné de succès puisque les quatre programmes du pôle sont désormais financés. Parallèlement, j'ai lancé mes activités de recherche propres relatives aux risques sanitaires liés à la présence de bactéries pathogènes dans les produits à base de volaille. Cette action a provoqué l'engouement de la filière avicole puisqu'ils ont non seulement accepté de financer une partie de l'étude mais aussi de prendre en charge, dans le cadre d'une bourse CIFRE, le salaire d'une thésarde. La filière porcine se montre aussi très intéressée par ce sujet, marqué d'une double importance sanitaire et économique, et j'entame une étude préliminaire pour identifier les risques sanitaires majeurs présents dans les produits « porcins ». Parallèlement, suite à la crise du Chikungunya, le gouvernement français a décidé de créer un centre de recherches et de veille dans l'Océan Indien (CRVOI) pour mieux comprendre notamment l'apparition de certaines maladies émergentes ; la Direction Générale du CIRAD a décidé de s'engager aux côtés de ce centre en m'y positionnant. Mes premières actions, en tant que coordonnateur nommé par l'ensemble des partenaires du centre, ont été de monter un projet à vocation régionale qui vise à mieux maîtriser les risques zoo-sanitaires dans l'Océan indien et dont le financement de principe a été accepté dans le cadre du Programme opérationnel 2008-2013 sur le fonds de Coopération Territoriale. Ce projet devrait démarrer en septembre 2008. Les activités ont cependant déjà commencé avec l'apparition de la fièvre de la Vallée du Rift (FVR) à Mayotte, où j'ai été envoyé pour élaborer une enquête épidémiologique à grande échelle. Enfin, nous avons répondu au 1^{er} appel d'offres du CRVOI (financements de l'Etat Français) en déposant un projet sur les risques d'introduction et de dissémination de la FVR dans l'Océan Indien et celui-ci vient d'être accepté. Parallèlement à ces activités, de nombreuses expertises m'ont été confiées dont la plus récente pour définir la stratégie mondiale de la FAO en matière de « sûreté alimentaire et santé publique vétérinaire ».

La construction scientifique autour du parcours professionnel

Le début de ma carrière à Djibouti m'a amené à travailler en élevage, à l'abattoir et au laboratoire sur les grands (bovins, dromadaires) et petits ruminants (moutons et chèvres) sur la thématique des zoonoses.

Au Nord du Cameroun, mon activité m'a conduit à effectuer de nombreux suivis et enquêtes de troupeaux (bovins et petits ruminants) dans les élevages mais m'a aussi permis de travailler en abattoir et au laboratoire. Les thématiques majeures étaient la production animale et la santé animale dont les zoonoses.

Le bref passage par le Ministère de l'Agriculture a porté sur les maladies contagieuses animales prioritaires et sur l'hygiène alimentaire.

Mon séjour au Sénégal m'a orienté sur le secteur des volailles avec une double approche : une sur la santé animale avec une évaluation des pratiques médicales et sanitaires ; une sur les maladies transmises par les produits d'origine avicole (œufs et viande de poulet) aux consommateurs. Cette double action a demandé des travaux d'enquête de terrain et de laboratoire.

Enfin, mon poste à la Réunion qui portait initialement sur les risques sanitaires des denrées alimentaires d'origine animale s'est enrichi d'actions sur la santé animale, particulièrement sur les maladies émergentes.

Ce parcours, un peu éclectique et assez diversifié, comprend cependant des caractéristiques qui sonnent comme un leitmotiv pour ma carrière : les travaux de terrain (enquête et suivis) m'ont

permis d'adopter une approche épidémiologique des problèmes sanitaires pour mieux comprendre comment apparaissaient ou persistaient certaines maladies (épidémiologie analytique, éco-pathologie) ; le recours au laboratoire m'a amené à approfondir mes connaissances en microbiologie pour compléter efficacement les résultats du terrain. Comme le disait Kant dans la Critique de la raison pure « aucune connaissance ne précède l'expérience, et toutes commencent avec elle ».

Ces deux disciplines Epidémiologie et Microbiologie sont aujourd'hui et seront demain le fondement de mon parcours scientifique. De même, mes activités professionnelles et mon intérêt personnel m'ont toujours permis de me situer à l'interface entre la santé animale et la santé humaine (Zoonoses).

1.5 Résumé des activités scientifiques

1.5.1 Activités Scientifiques Doctorales :

Salmonella et *Campylobacter* sont les bactéries responsables de la plupart des toxi-infections alimentaires dans le monde. Celles-ci sont régulièrement associées à la consommation de viande de poulet de chair. Pour limiter leur présence dans la viande de volaille, les efforts se portent particulièrement sur l'amélioration des pratiques d'hygiène, notamment au stade de l'élevage et de l'abattage. Mais avant de développer des mesures d'hygiène idoines, il est requis de connaître les points à risque sur lesquels intensifier la lutte ; ceci dépend non seulement de l'épidémiologie de ces bactéries mais aussi du mode de production. En Europe, quelques études ont permis d'appréhender un peu mieux leurs voies d'infection et de contamination mais ce n'est pas le cas dans les pays en développement. Or, il est ridicule de vouloir transposer les règles utilisées dans les pays du Nord dans les pays les moins avancés du Sud où non seulement les conditions de production sont différentes mais où les paramètres éco-climatiques particuliers influencent considérablement l'épidémiologie de ces bactéries. Les travaux entrepris dans le cadre des recherches doctorales ont cherché à développer une méthode qui permette de mettre en évidence les facteurs de risque d'infection des volailles et de contamination de la viande de poulet de chair sur toute la chaîne de production depuis les couvoirs jusqu'aux restaurants de rue. L'objectif était aussi de développer une méthode qui puisse être réutilisable dans les autres pays en développement où l'aviculture « moderne » poursuit son évolution. Enfin, il s'agissait aussi d'évaluer les niveaux de résistance de ces bactéries ; en effet, l'encadrement sanitaire de ces élevages n'est pas strict et les éleveurs ont très souvent recours à l'automédication pour lutter contre toutes les pathologies aviaires qui subviennent. Et l'accroissement de la résistance aux antibiotiques constitue un véritable problème de santé publique puisque ces bactéries peuvent infecter le consommateur ; et il arrive parfois que l'utilisation des antibiotiques classiques soit inefficace dans le traitement de ces infections. Ce problème est d'autant plus crucial pour les personnes immunodéprimées dont la proportion est plus élevée dans ces pays en développement qu'en Europe.

1.5.2 Activités scientifiques pré et post-doctorales

1.5.2.1 Qualité sanitaire de la viande de poulet de chair et impact sur la santé publique

Dans le cadre du travail entamé lors de la thèse, il fallait aller plus loin pour confirmer le risque de consommer de la viande de poulet de chair. Pour ce faire, il était donc nécessaire de recruter

des souches de *Salmonella* et de *Campylobacter* à partir de patients malades, présentant les symptômes associés à ces bactérioses. En raison de l'absence de système de déclaration obligatoire de toxi-infections alimentaires collectives dans la plupart des pays en développement, il a fallu entrer en relation avec les services concernés dans les différents hôpitaux de la ville ; l'Institut Pasteur de Dakar, centre national des entérobactéries, nous a aussi remis ses souches. Par la suite, une technique de biologie moléculaire, l'électrophorèse en champs pulsés, réputée pour sa capacité à discriminer les souches a été utilisée pour comparer les isolats « humains » et « animaux ». Il a ainsi été possible de conclure sur les potentielles contaminations croisées entre l'homme et le poulet.

L'approche scientifique que j'ai développée dans la thèse a été utilisée dans les projets que j'ai supervisés depuis lors, au Vietnam sur le porc et en Ouganda sur le lait. La traduction de cette approche m'a permis d'aborder les problèmes sanitaires liés à l'ensemble des denrées alimentaires d'origine animale (lait, œuf, poissons, porc).

1.5.2.2 Analyse Quantitative des risques liés à la consommation de viande de poulet de chair

En raison du développement des restaurants de rue dans les grandes villes des pays en développement, notamment en Afrique, nous avons cherché à évaluer le risque de contracter une salmonellose en consommant un plat à base de poulet dans ce type d'établissement. En général, il est difficile de pouvoir développer une telle approche car les données épidémiologiques manquent. Mais en raison du travail de thèse, qui comportait un volet sur les restaurants de rue et sur leurs pratiques culinaires, il nous a été possible de mener une analyse quantitative des risques. En ayant les informations concernant le nombre de salmonelles par g de viande de poulet, la portion moyenne de viande proposée dans les plats, le nombre moyen de consommateurs par jour, la fréquence de ces mêmes consommateurs par semaine, la fréquence du choix pour un plat à base de poulet, il a été possible, via une simulation de type Monte Carlo, d'estimer le nombre d'accidents alimentaires qui pourraient être liés à *Salmonella*.

1.5.2.3 Vers une meilleure maîtrise des pathologies aviaires dans les élevages avicoles

Outre l'aspect santé publique, cet élevage avicole moderne a besoin pour assurer sa pérennité de limiter l'impact des pathologies. Celles-ci sont, en effet, très fréquentes en Afrique en raison des conditions éco-climatiques, du manque d'encadrement technique, du manque de formation des personnels affectés aux poulaillers ... Les maladies virales les plus graves sont quasiment toutes endémiques (Maladies de Newcastle, de Gumboro et de Marek) et les maladies bactériennes et parasitaires sont aussi toutes présentes. Les travaux de recherche ont donc porté sur l'identification des déterminants de l'apparition et du développement de ces pathologies afin de mieux maîtriser le choix des vaccins, l'administration vaccinale, les mesures de biosécurité à mettre en place.

J'utilise cette approche épidémiologique qui m'a permis d'identifier la prévalence des pathologies majeures et leurs voies de transmission et de diffusion dans les élevages avicoles pour les autres productions animales. En effet, cette approche permet de comprendre l'extension des maladies émergentes qui constituent le nouveau fléau de notre temps et d'apporter des solutions pour mieux les maîtriser.

1.6 Contrats de recherche

Mon activité de recherche et développement menée au CIRAD m'a amené à participer au montage et à la coordination des projets pour lesquels des financements ont été recherchés auprès de bailleurs de fonds nationaux et internationaux. Aux principaux contrats présentés dans le tableau 1, s'ajoutent des appuis techniques à des professionnels des filières avicoles (Chine, Ethiopie, Mauritanie, Réunion, Vietnam) ainsi que des expertises scientifiques dans mes domaines de compétences outre-mer (Afrique du Sud, Côte d'Ivoire, Madagascar, Mayotte, Maurice, Vietnam) ou dans des organismes internationaux (Banques Mondiale, FAO).

En tant que responsable de pôle « Qualité des productions agricoles et alimentaires tropicales » du CIRAD à la Réunion, j'ai depuis plus deux ans contribué au montage et à la structuration des activités du CIRAD dans ce domaine (programmation de la recherche, élaboration des budgets) qui représentent actuellement un volume 18 millions d'Euros sur la période 2008-2013 (cofinancement CIRAD- Etat – Région - Europe).

Tableaux 1 : Principaux contrats de recherche entre 1998-2008

Objet du contrat	Qualité	Partenaires	Origine des financements	Durée
Qualité microbiologique du poulet de chair au Sénégal	Coordinateur	ISRA – Collectif des techniciens avicoles (Sénégal)	Ministère Français des Affaires Etrangères	3 ans
Hygiène et Biosécurité dans les élevages de volailles au Sénégal	Coordinateur	Ecole Inter-Etats des Sciences (Sénégal)	Ambassades des Pays-Bas au Sénégal	2 ans
Réseau Africain des laboratoires d'hygiène alimentaire (RALHA)	Coordinateur	27 Laboratoires d'Afrique de l'Ouest et du Centre	Ministère Français des Affaires Etrangères	3 ans
Réseau de surveillance et de vigilance des pathologies aviaires	Coordinateur	35 sociétés publiques et privées	Ministère de la Coopération française	3 ans
Formation Hygiène alimentaire et santé publique vétérinaire	Coordinateur	10 institutions Libyennes	Gouvernement Libyen	1 an
Evaluation d'une méthode alternative pour la détection d'histamine dans le thon	Coordinateur	Ifremer, Critt, Professionnels de la pêche	Oséo ANVAR	1 an
Facteurs de risque d'infection des élevages de poulets de chair par <i>Salmonella</i>	Coordinateur	Avicom, Crête d'Or, Urcoopa, Proval, Couvée d'Or	Filière Avicole	3 ans

1.7 Production scientifique

Mes activités de recherche ont donné lieu à une cinquantaine de publications et communications (cf. Annexe 1- Liste des publications et travaux):

- 24 publications dans des revues internationales à comité de lecture,
- 16 communications dans des congrès internationaux, dont 13 avec actes,
- 4 communications dans des congrès nationaux
- 1 ouvrage en collaboration (pour la Banque Mondiale)
- 5 chapitres d'ouvrage.

D'autre part, les travaux sur la qualité des productions agricoles et alimentaires tropicales ont fait l'objet de 3 journées de séminaire CIRAD- Octroi en novembre 2007 que j'ai organisées à la Réunion et qui ont accueilli les responsables régionaux (Comores, Madagascar, Maurice, Mayotte, Seychelles). En outre, je suis le coordonnateur scientifique d'un atelier sur l'épidémiologie des maladies émergentes, notamment de la fièvre de la vallée du Rift, et des maladies à tiques qui sera organisé en Novembre à Mayotte.

1.8 Activités d'encadrement

Au cours des dix dernières années, j'ai encadré 5 Master II et ai participé à l'encadrement de 4 thèses dont la liste et les références sont présentées dans le tableau 2.

J'ai en outre encadré 4 thèses de doctorat vétérinaire au Sénégal (Ignace Latyr Gueye, Guy Sylvestre Nana, Ghislain Ella Aboghe, Thierry Kouzoukende), une thèse de doctorat vétérinaire de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse (Fanny Etienne), un mémoire de DEA en physique appliquée à la biologie option biophysique de l'Université Cheikh Anta Diop à Dakar (Mamadou Lamine Ndiaye) deux étudiantes en CEAV d'épidémiologie (Fanny Etienne (2000) et Stéphanie Maeder (2008)) et enfin 2 à 3 étudiants par an pour des stages ingénieurs de 6 mois sur mes thématiques de recherche.

J'ai également été amené à recevoir et à collaborer de façon étroite avec des chercheurs étrangers en séjour post-doctoral (2) ou bénéficiant d'une bourse du Ministère de la Coopération (8).

Tableau 2 : Participation à l'encadrement de doctorat et DEA

Titre	Diplôme	Nom	Période	Encadrement*
Epidémiologie des Salmonella et des Campylobacter dans la filière poulet de chair à la Réunion	Doctorat	Henry Isabelle	07 -10	100 %
Résistance des Campylobacters aux Quinolones - Sénégal	Doctorat	Kinana Alfred	03 - 06	30%
Microbiologie des poulets de chair au Sénégal – Risque pour la santé humaine	Doctorat	Tall Fatou	05 - 08	50%
Décontamination de peaux de volailles par utilisation d'une solution d'acide lactique et de vapeur d'eau. Effets des traitements seuls ou combinés	Doctorat	Lecompte Jean-Yves	05 - 08	15%
Salmonella et Campylobacter dans la filière avicole à la Réunion	Master II	Henry Isabelle	2007	80%
Evaluation des méthodes rapides et recherche de techniques alternatives pour la détection de l'histamine et du syndrome de chair brûlée dans le thon	Master II	Pellissier Pierre	2007	40 %
Enquête sur la filière « palmipèdes gras » sur l'île de la Réunion. La qualité une difficulté ou une motivation ?	Master II	Descroix Mickaël	2006	50 %
Impact de la réglementation sanitaire sur la filière oeufs de consommation	Master II	Tongho Tonda Agnès	2005	20%
Qualité microbiologique des œufs de consommation dans la région de Dakar	Master II	Massaka Arlette	2005	50 %
Les enjeux et les difficultés de la méthode HACCP dans des sociétés de transformation à Madagascar	Master II	Gares Hélène	2004	30 %

*Le pourcentage représente la part de l'encadrement que j'ai assuré personnellement

1.9 Activités d'enseignement

J'ai toujours assuré, parallèlement à mes activités de recherche, des activités d'enseignement.

Entre 2000 et 2004, je suis intervenu au stage « Maîtrise de l'aviculture en zones chaudes » organisé par l'ITAVI (Institut Technique de l'Aviculture) à Ploufragan en Bretagne. Le public était constitué de techniciens d'Afrique du Nord et subsaharienne, de l'Asie du Sud Est et d'Amérique du Sud (entre 20 et 30 à chaque promotion). Mes domaines d'intervention étaient les pathologies aviaires, la biosécurité et la sûreté des produits avicoles (5 jours de formation : 30h). J'ai repris mes supports d'enseignement dans les revues professionnelles de l'ITAVI, diffusées dans de nombreux pays en développement.

A Montpellier, depuis 1998, j'interviens au cours du CEAV d'épidémiologie pour présenter mes travaux en terme de surveillance et vigilance des pathologies aviaires en Afrique et en Asie (6h). Depuis 2000, dans le cadre du Master Productions Animales en régions chaudes (Montpellier II), je suis responsable du module « Maîtrise de la qualité dans les filières animales en régions chaudes » où j'organise les enseignements, les visites de terrain et les travaux pratiques (40h de cours). Cette formation est destinée aux étudiants du Master mais accueille aussi des techniciens étrangers (Afrique, Asie du Sud Est) durant trois semaines. Cet enseignement très pratique leur permet d'acquérir les bases réglementaires, scientifiques et techniques de la sûreté des aliments pour les mettre en pratique dans leurs pays respectifs. J'ai créé une version anglophone de ce module pour intervenir au Vietnam devant les personnels des instituts techniques et des services de contrôle (30 personnes) en octobre 2005. De même, j'ai assuré seul la formation d'agents libyens (10) pendant un mois, appartenant aux différentes structures de contrôle officiel en mars 2006 (30 k€ pour l'UR). Ces présentations orales et écrites sont réunies sur un CD-Rom remis à jour annuellement.

Enfin, j'interviens dans les formations de l'institut des régions chaudes (ex ENSIA – SIARC) pour présenter mes travaux relatifs à la sûreté des aliments et plus particulièrement aux dangers liés aux denrées alimentaires d'origine avicole et la maîtrise de ces dangers par une approche globale (« de la fourche à la fourchette ») de la qualité sur toute la filière (3h).

Enfin, j'ai assuré des interventions dans le cadre de la formation professionnelle dans les différents postes que j'ai occupés. Ainsi, au Sénégal, tous les résultats issus de mes travaux de recherche sur les pathologies aviaires ont été transmis aux utilisateurs. Cette valorisation a pris plusieurs formes : j'ai régulièrement organisé avec le concours du Collectif des Techniciens avicoles des formations pratiques pour les aviculteurs entre 2000 et 2004 (30 h de formation) ; celle-ci ont permis de leur montrer les symptômes et les lésions des maladies les plus fréquentes, les mesures d'hygiène et de biosécurité à mettre en œuvre pour limiter l'introduction de ces maladies dans l'élevage et les bonnes conditions de vaccination (eau de boisson, pulvérisations, injections). Ces formations ont eu des effets directs car la maladie de Newcastle, maladie animale la plus contagieuse, a quasiment disparu des élevages « modernes » et la maladie de Gumboro a fortement reculé (de 60% à 12% de cas). Ces formations orales ont été transcrites dans des productions écrites (documents de vulgarisation), dans le bulletin trimestriel du réseau d'épidémiologie aviaire que je rédigeais et traduites en Wolof, le langage local. De même,

les travaux relatifs à la qualité sanitaire de la viande de volaille ont été présentés aux professionnels aux cours de sessions de formations que j'organisais soit au Centre National de l'Aviculture soit à l'ISRA. Ainsi, plus de deux cents éleveurs, 100 tueurs, 100 vendeurs au détail et 100 restaurateurs ont été formés (50 h de formation). A la Réunion, j'ai décidé de conserver le même mode de fonctionnement en faisant part des résultats de mes travaux de recherche aux professionnels impliqués. J'interviens aussi auprès des services de l'Etat (DRASS, DSV) pour les former, et les informer notamment les zoonoses potentiellement présentes dans la zone de l'Océan Indien.

1.10 Activités d'expertise

Suite à mes travaux de recherche et mes publications, j'ai pu développer une expertise particulièrement dans deux domaines : les pathologies aviaires et la sûreté des aliments d'origine animale.

- En effet, les premières missions ont d'abord concerné la production avicole ; le ministère français des Affaires Etrangères a requis mes services pour développer un suivi épidémiologique des pathologies aviaires à Madagascar (2 missions de 15 jours facturés en novembre 2001 et 2003) puis en Ethiopie (1 mission de 7 jours facturés en juillet 2005). Ces missions ont fait l'objet de rapports remis aux autorités locales pour les aider à bâtir des structures de surveillance des maladies et à choisir les mesures adéquates pour les maîtriser plus efficacement. L'Agence Française de Développement, à la requête du gouvernement Vietnamien, a aussi demandé au CIRAD que j'intervienne au Vietnam dans l'urgence, dès le début de la crise de la grippe aviaire en février 2004 pour évaluer l'impact de la crise sur la filière, mettre en place les mesures pour éviter son extension et proposer des moyens pour relancer la filière (1 mission de 3 semaines facturées). Un document a été remis aux différents ministères concernés pour leur permettre de choisir les meilleures options pour contrôler l'épizootie. En mars 2007, dans le cadre des jeux olympiques de Pékin, l'AFD Proparco a demandé à ce que j'évalue les pratiques sanitaires d'une société chinoise devant approvisionner en œufs de consommation et viande de poulet de chair, les athlètes et leur encadrement au sein du village olympique (1 mission de 7 jours facturés). Mon rapport a éclairé l'AFD sur leur choix de subventionner le développement de cette entreprise.

- Dans le domaine de la sûreté alimentaire, le Groupement de défense sanitaire de l'île de La Réunion avait demandé mon intervention pour appuyer la filière avicole à diminuer la prévalence en *Salmonella* de leurs produits en 2001 (1 mission de 12 jours facturés). Mon rapport avait éclairé ce secteur privé sur les choix des mesures prioritaires à mettre en œuvre. De décembre 2002 à mars 2003, la Banque Mondiale m'a confié, ainsi qu'à deux collègues du Ministère de l'Agriculture, l'élaboration d'une boîte à outils destinée à la formation des personnels chargés du contrôle sanitaire et phytosanitaire dans les pays en développement. Cette expertise a requis des missions au Sénégal, en Afrique du Sud et au Vietnam ainsi que du travail de conception à Montpellier (2 mois facturés). Le « délivrable » a été un CD-rom produit à plus de 10000 exemplaires et distribué dans plus de 100 pays. En 2007, j'ai effectué une mission Océan indien,

avec le directeur régional du CIRAD dans le cadre de la relance de la coopération régionale, pour évaluer les besoins des Comores, de Madagascar, de Maurice et des Seychelles en qualité sanitaire des aliments. Sur cette base, j'ai organisé en novembre 2007 un atelier à la Réunion, réunissant les responsables de cette activité dans la zone Océan Indien, pour monter un projet de coopération régionale sur fonds locaux et européens. Ce projet a été accepté pour un montant de 740 k€ pour 3 ans. Enfin, depuis début 2008, la FAO a requis mes services pour contribuer à élaborer leur stratégie internationale dans le domaine de la santé publique vétérinaire et la sûreté des aliments d'origine animale. Cette expertise est d'autant plus importante pour le CIRAD qu'elle me permet de rencontrer la plupart des responsables de cette thématique à la FAO mais aussi à l'OIE et l'OMS et qu'elle permet de placer le CIRAD au 1^{er} rang dans le domaine.

2. Travaux de Recherche actuels : Mieux maîtriser les risques sanitaires liés à l'animal ou aux denrées alimentaires d'origine animale

Les crises sanitaires alimentaires comme celle de la vache folle, de la dioxine, de la listériose et l'émergence récente de maladies transmissibles des animaux aux humains comme le Nipah, le SRAS et l'Influenza aviaire hautement pathogène ont amélioré la conscience publique du lien entre les animaux sauvages, la production animale et la santé publique mondiale. Le risque de transmission de maladies des animaux aux humains, directement ou indirectement, augmentera dans le futur en raison de la croissance de la population humaine et de l'augmentation du bétail, de changements spectaculaires dans la production animale, de l'émergence de réseaux agroalimentaires mondiaux et d'une augmentation importante des biens et des personnes.

Les travaux que je conduis sont destinés à mieux comprendre ces dangers environnants afin de mieux maîtriser leurs risques d'apparition ou de développement. Ils prennent en compte la globalité de la chaîne alimentaire de la fourche à la fourchette puisqu'ils s'adressent autant à l'animal qu'aux denrées alimentaires issues de ces animaux.

2.1 Comment maîtriser les risques sanitaires liés aux denrées alimentaires d'origine animale et limiter leur impact sur la santé publique ?

2.1.1 Contexte

Les risques sanitaires liés aux aliments d'origine animale sont devenus un problème majeur pour l'agro-industrie durant la dernière décennie. Cet intérêt croissant des professionnels de ce secteur a été décuplé par la succession des incidents graves qui ont affecté différentes filières animales comme l'ESB et la peste porcine classique en 1996, le poulet à la dioxine en 1999 ou la fièvre aphteuse en 2001. En outre, les toxi-infections d'origine alimentaire sont toujours en progression. L'OMS estime que ces infections sont responsables de millions de cas par an que ce soit dans les pays industrialisés ou ceux en développement, en engendrant des pertes économiques substantielles mais aussi des problèmes de croissance chez les enfants ou de la mortalité chez les personnes les plus sensibles (White *et al.*, 1997).

Salmonella et *Campylobacter* sont les bactéries principales responsables de la plupart des gastroentérites dans le monde (Altekruse *et al.*, 1999). Dans les pays développés, les recherches ont montré que les infections provoquées par *Campylobacter* spp. sont aussi sérieuses que celles provoquées par *Salmonella* subsp. aussi bien pour la sévérité des symptômes que pour la fréquence d'apparition de la maladie provoquée par cette bactérie (Bryan and Doyle, 1995 ; Aarestrup F.M., Engberg J., 2001). Ces bactéries représentent également un problème de santé publique et sont des sources complémentaires de complications pour les patients atteints du virus VIH (Obi and Bessong, 2002).

Plus de 60 % des toxi-infections dans le monde sont dues à *Salmonella*. De ce fait, les salmonelloses sont devenues un phénomène de santé publique justifiant l'implication de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) (Salm-Surv, 2005). Le contrôle des toxi-infections alimentaire est devenu l'objectif principal en santé publique dans les pays européens et la mise en place de la directive 92/117/EEC requiert à la fois le contrôle et l'éradication de ces pathogènes. *Campylobacter* représente la bactérie principale responsable des gastroentérites aux Etats- Unis, (Altekruse *et al.*, 1999) , au Royaume-Uni (Anon, 2003), et dans le reste du monde et en particulier dans les pays développés (Bates *et al.*, 2004 ; Charlett *et al.*, 2003).

A la Réunion, une attention toute particulière est apportée à ces bactéries en particulier dans la filière avicole dont les produits (œufs, viande de poulet de chair, saucisses de volaille...) sont régulièrement incriminés dans les infections alimentaires. Pourtant, l'aviculture reste un moteur de l'économie locale ou le volume de volailles vendues par la filière a augmenté de 2,2 % en 2006 par rapport en 2005. Et la filière s'est engagée officiellement à fournir des produits sains à ses consommateurs ; ce gage revêt une importance particulière à la Réunion car l'industrie met sur le marché des produits 100% volaille qui peuvent s'avérer plus dangereux lors de la consommation ; les saucisses de volaille notamment sont composées de muscle, de gras et de peau et la peau demeure un site de prédilection pour abriter les bactéries dans les follicules plumeux. La filière porcine commence aussi à s'intéresser particulièrement à *Salmonella* et *Campylobacter* car la réglementation européenne se durcit et une directive est en préparation qui vise à éliminer les porcs reproducteurs infectés par *Salmonella*.

2.1.2 Les objectifs de l'étude

L'objectif général est d'améliorer la qualité sanitaire des poulets de chair sur l'île de la Réunion par une meilleure maîtrise des risques.

Les objectifs spécifiques, consistent à : (i) identifier les risques majeurs d'infection au niveau des élevages et de contamination au niveau de l'abattoir et de l'atelier de transformation par les germes entéropathogènes : *Salmonella* et *Campylobacter* ; (ii) identifier l'origine des sources infectieuses et (iii) estimer l'impact sur le consommateur.

Cette étude permettra d'identifier quels sont les risques majeurs d'infection et de contamination aux différents maillons de la filière et ainsi de consolider les mesures de maîtrise au niveau de ces points critiques.

2.1.3 Les enjeux

- ***Les enjeux économiques***

Par décret du 17 février 2005, de nouveaux sérovars de *Salmonella* (Infantis, Virchow, Hadar) se rajoutent à ceux déjà réglementés (Enteritidis et Typhimurium). Même si les poulets de chair ne sont pas visés directement par cette réglementation, la présence de ces bactéries peut éventuellement constituer un risque pour la santé publique et s'avère désastreuse pour l'image de marque d'un produit aux yeux du consommateur, fortement sensibilisé aux différentes crises sanitaires (ESB, Listériose, Influenza Aviaire...).

De plus, à la Réunion, une diversité de culture et de religion coexistent et les résultats scientifiques apportés par cette étude seront bénéfiques à tous ceux qui souhaiteraient développer des spécificités locales comme les saucisses 100 % volaille. En effet, ces spécialités peuvent accroître le risque de contamination pour le consommateur en raison de l'incorporation de la peau (siège majeur de ces bactéries) dans ces produits.

Ainsi, ce projet peut s'avérer intéressant du point de vue économique à deux niveaux :

- d'abord assurer la consolidation de la filière avicole réunionnaise en augmentant la garantie sanitaire de ses produits
- ensuite, utiliser les résultats de ce travail pour les pays traditionnellement tournés vers la consommation de volailles comme les pays en développement (dont ceux à population majoritairement musulmane).

- ***Les enjeux techniques***

L'épidémiologie des germes entéropathogènes comme *Salmonella* ou *Campylobacter* est excessivement complexe car ce sont des bactéries ubiquitaires qu'il est possible de retrouver autant dans l'environnement que sur des organismes hôtes (volailles, ruminants, chiens...).

En raison des conditions climatiques (Température, hygrométrie...) et des pratiques régulièrement différentes de celles rencontrées dans les pays tempérés, les résultats des études de l'hémisphère Nord ne sont pas directement transposables.

De plus, du fait d'une utilisation intempestive de médicaments vétérinaires, on constate une résistance à certains antibiotiques qu'il est nécessaire de comprendre et d'évaluer pour appliquer des traitements adéquats à la fois chez l'homme et chez l'animal.

Il s'agira donc non seulement de détecter correctement les *Salmonella* et les *Campylobacter* présents (la culture de *Campylobacter* restant un exercice difficile) mais aussi de développer une méthodologie statistique performante afin d'identifier les facteurs de risque majeurs et spécifiques de la zone Océan Indien.

Enfin grâce à l'électrophorèse en champs pulsés (PFGE), il sera possible de déterminer la proximité génétique des souches circulantes au sein d'un même sérovar et faciliter l'identification de leurs sources infectieuses.

La PFGE est une technique discriminante utilisant deux enzymes de restriction qui nous permettra de comparer les souches de *Salmonella* entre elles et de comprendre quels sont les liens épidémiologiques qui les unissent dans le but d'interpréter les diverses origines de ces souches pathogènes.

Dans le cas de la Réunion, cette étude permettra d'avancer sur l'origine des souches présentes et de mettre en évidence certains points sur lesquels intensifier la lutte.

Outre l'implication régionale, les résultats de ce projet pourraient s'appliquer à une échelle internationale. En effet, cette étude pourra avoir des impacts directs sur les pays de la zone Océan

Indien. Et même si les conditions d'élevage et d'abattage ou de transformation ne sont pas exactement identiques partout, les résultats relatifs à une meilleure maîtrise des pratiques pourront être répliqués partout.

2.1.4 Méthodologie

2.1.4.1 Echantillonnage

- Elevage

Une seule bande sera étudiée par exploitation (pour des raisons statistiques). Les informations relatives à la localisation de la ferme et la date de mise en place des poussins seront transmises par la SCAAR. L'inclusion des poulaillers « bazarriers » et des petits poulaillers type basse-cour, dans l'étude, est intéressante dans le sens où elle permet d'avoir une vision globale de l'élevage avicole sur l'île et donc d'apporter des précisions sur la nature des souches circulantes. Une présentation globale de l'étude sera entreprise avant le début de l'enquête pour expliquer les objectifs de celle-ci ; seuls les aviculteurs volontaires seront retenus.

- Abattoir et Atelier de transformation

La bande étudiée sera suivie au niveau de l'abattoir ainsi qu'au niveau de l'atelier de transformation pour la détection de *Salmonella* et de *Campylobacter*. Pour chaque bande étudiée au niveau de l'élevage, des prélèvements seront réalisés au niveau des cagettes de transport à l'arrivée sur l'abattoir, au niveau des bacs d'échaudage avant la première immersion, au niveau des doigts plumés avant la première plumaison, au niveau de l'appareil d'éviscération et enfin sur des peaux de cou en fin de chaîne. Au niveau de l'atelier de transformation, les prélèvements porteront sur le matériel (couteau, trancheur...), sur la main d'œuvre (mains), sur les surfaces de découpe, et sur les produits de charcuterie finis. Ces prélèvements permettront d'abord de constater d'éventuelles contaminations et ensuite de comparer les sérovars présents. Une étape ultérieure d'analyses des profils génétiques permettra de savoir si les souches en présence sont identiques ou non. En outre, au cas où une contamination se confirmerait à ces étapes « abattoir et atelier de transformation », une nouvelle analyse de type facteurs de risque serait mise en place pour étudier les différents facteurs potentiels de cette contamination.

2.1.4.2 Récolte des données

- Elevage et Abattoir

Les données seront récoltées à six stades différents au cours de la période d'élevage :

∞ La première visite est effectuée sur la bande précédente à la fin de la période d'élevage avant le départ pour l'abattoir afin de déterminer son statut vis-à-vis de *Salmonella*. Au cours de cette visite, les échantillons prélevés sont des fientes fraîches ainsi que des pédichiffonnettes récoltées de part et d'autre du bâtiment. En ce qui concerne les fientes, ce sont 4 pools de 5 fientes qui sont réalisés.

∞ La deuxième visite consiste à faire des prélèvements sur le lot abattu. Il s'agit de 50 caeca prélevés au hasard par l'abattoir.

∞ La troisième visite à lieu après les opérations de nettoyage et de désinfection, généralement le plus proche possible de la rentrée des poussins afin d'évaluer la présence potentielle des *Salmonella* résidentes. A l'occasion de cette visite, les prélèvements effectués pour déterminer la présence de *Salmonella* sont des pédichiffonnettes aux abords du bâtiment, des tandis qu'à l'intérieur sont prélevés des pédichiffonnettes, une chiffonnette sur les murs et le matériel et une seconde chiffonnette effectuée dans le SAS. Lors de cette visite, un questionnaire permettant de noter les pratiques de nettoyage et de désinfection est soumis à l'aviculteur.

∞ La quatrième visite est effectuée en fin de bande. Il s'agit de prélever 4 pools de 5 fientes, une pédichiffonnette dans le poulailler, une dans les abords, une chiffonnette sur les murs et le matériel, une dans le sas propre, une dans le sas sale lorsqu'il existe, des ténébrions ainsi que des rats. De même que pour la visite 3, un questionnaire concernant les caractéristiques de l'exploitation et les pratiques de l'élevage est soumis à l'éleveur. Les questionnaires ont été pré-testés dans une étude préliminaire.

∞ De même que pour la seconde visite, la 5^{ème} visite consiste à prélever 50 caeca à l'abattoir sur le lot d'étude.

∞ Pour la sixième et dernière visite, les prélèvements sont des chiffonnettes effectuées par l'éleveur sur : le camion du provendier, le camion du couvoir, et la voiture du technicien. Il est aussi demandé à l'éleveur et dans la mesure du possible de conserver les rats et les oiseaux sauvages au congélateur pour autopsie et analyse.

-Abattoir et atelier de transformation

A la fin de la période d'élevage et en complément des prélèvements des caeca, un lot de 10 carcasses choisies au hasard sera prélevé afin de déterminer l'absence ou la présence des bactéries. Le lot serait ainsi déclaré positif si au moins une des 10 carcasses est déclarée positive.

Au niveau de l'abattoir, des chiffonnettes seront effectués tout au long de la chaîne d'abattage : sur les cagettes de transport, les doigts plumeurs, l'appareil d'éviscération ainsi que sur le personnel. Lors de ces visites, un questionnaire sera soumis au personnel afin d'analyser les pratiques d'abattage et de diagnostiquer les pratiques à risque pour la transmission et la contamination de *Salmonella* et de *Campylobacter*.

Après l'abattage, la bande est suivie au niveau de l'atelier de transformation où seront prélevés des échantillons de 25g de peau et de muscle sur une dizaine de produits de charcuterie choisis au hasard ; cela toujours dans la perspective de déterminer la présence ou l'absence des bactéries pathogènes que nous souhaitons mettre en évidence.

2.1.4.3 Isolement, identification de *Salmonella* et de *Campylobacter* et réalisation des antibiogrammes

L'isolement, et l'identification de *Salmonella* et de *Campylobacter* suivent respectivement la procédure de la norme ISO 6579 et de la norme ISO 10272 :1995 /Cor2 :1997. Quant au sérotypage de *Salmonella*, la procédure est celle qui est recommandée par l'AFNOR NF U 47-100.

Les antibiogrammes de diffusion permettront de déterminer la sensibilité des bactéries vis-à-vis d'un panel d'antibiotiques et de mesurer la capacité d'un antibiotique à inhiber la croissance bactérienne *in vivo*. La technique que nous utilisons est la méthode par diffusion, méthode de Kirby Bauer, recommandée par l'OMS.

2.1.4.4 Méthode d'analyse statistique

- Définition de la variable à expliquer :

L'unité d'observation est la bande ou le lot (de carcasses ou de produits de charcuterie). Celle-ci sera déclarée infectée vis-à-vis de *Salmonella* et de *Campylobacter* si au moins un prélèvement s'avère positif. Cette variable sera dichotomique : infectée ou non infectée.

- Définition des variables explicatives:

Toutes les variables sont catégoriques. Le nombre de catégories par variable est limité de façon à ce que chaque catégorie représente au moins 10% de la totalité. Toutes les relations bilatérales entre les variables seront vérifiées (χ^2). Pour les relations bilatérales montrant une association statistique forte et une plausibilité biologique, seule une variable (la plus importante) sera conservée. Par exemple, la variable "chaussures spécifiques" peut être associée avec la variable "tenue spécifique" et seule la variable "tenue spécifique" doit être conservée pour la suite des analyses.

- Procédure statistique:

Une procédure en deux étapes sera utilisée pour évaluer l'association entre les variables explicatives et le statut "infection par *Salmonella*" de la bande. La régression logistique sera utilisée selon la méthode décrite par Hosmer et Lemeshow, (2000). En premier lieu, une analyse univariée sera réalisée pour mettre en évidence l'infection par *Salmonella* avec chacune des variables explicatives. Seuls les facteurs associés (Pearson χ^2 test, $p < 0.25$) avec l'infection par *Salmonella* seront inclus dans le modèle pour une analyse multivariée. La deuxième étape sera donc une régression logistique multiple. La contribution de chaque facteur sera testée via la méthode du maximum de vraisemblance par une étape pas à pas. Dans le même temps, les modèles les plus simples seront comparés au modèle complet par le critère d'Akaike (Akaike, 1974). Cette procédure sera poursuivie automatiquement jusqu'à obtenir un modèle regroupant que les facteurs majeurs significatifs à $p < 0.10$. Les odds ratios seront convertis en risques relatifs selon la méthode proposée par Beaudeau et Fourichon (1998).

-Analyse complémentaire au niveau de l'hôpital du CHD de Bellepierre

Le laboratoire de Biologie médicale de Bellepierre participera à ce projet pour l'envoi des souches humaines afin de réaliser une analyse comparative des souches animales et humaines.

2.1.5 Le potentiel pour l'encadrement

Ce travail fait l'objet d'une thèse d'Université ; Mlle Isabelle Henry est inscrite à l'Université de la Réunion depuis octobre 2007. En effet, après avoir effectué son stage de Master « Productions animales en régions chaudes » sous ma direction, elle a souhaité poursuivre sa recherche sous forme d'une thèse. Après avoir obtenu l'accord de Crête d'Or, j'ai donc monté le

dossier pour obtenir une bourse CIFRE auprès de l'ANRT (Agence Nationale de la Recherche et de la Technologie). Celle-ci a été obtenue rapidement et permet de consolider la collaboration entre le monde de l'entreprise et celui de la Recherche. La filière porcine est aussi très demandeuse de ce type de travaux car la réglementation se durcit et les produits porcins vont aussi être soumis prochainement à des normes sanitaires plus pressantes. Pour cette raison, j'ai encadré un premier stage d'un étudiant en CEAV (certificat d'études vétérinaires approfondis) de pathologie tropicale en collaboration avec la CPPR (Coopérative de la Production Porcine de la Réunion) et cette dernière souhaiterait que nous puissions élaborer le même type de dossier pour obtenir une nouvelle bourse CIFRE dès la fin de l'année 2008.

2.1.6 Le potentiel pour les publications

Ce travail de thèse va faire l'objet de publications dans des revues, pour la plupart, anglosaxonnes à comité de lecture. Nous envisageons :

- deux articles dans la revue *Preventive Veterinary Medicine* sur l'épidémiologie analytique de *Salmonella enterica* subsp. *enterica* et *Campylobacter* spp. dans les élevages de volailles à la Réunion ;
- un article dans *British Poultry Science* sur les facteurs de risque de contamination des produits de volaille par *Salmonella* dans les abattoirs et ateliers de transformation ;
- deux articles sur la résistance aux antibiotiques de *Salmonella* et de *Campylobacter* dans *Journal of Antimicrobial Chemotherapy* et/ou dans la revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux ;
- deux articles dans *Journal of Applied Microbiology* sur le génotypage comparé des souches de *Salmonella* et de *Campylobacter*.

Le même type de revues pourra être visé dans le cadre d'une étude approfondie dans la filière porcine.

2.1.7 La source des financements

Etant responsable du pôle CIRAD sur la qualité des productions agricoles et alimentaires tropicales, j'ai dû défendre le budget pour le nouveau programme opérationnel européen. Dans le cadre de l'accord cadre tripartite CIRAD – Etat – Région, j'ai pu obtenir le financement de cette étude à hauteur de 75 k€ pour 3 ans. Cette dotation est, en outre complétée par un appui du CIRAD pour les doctorants pour un équivalent de 12 k€. Enfin, la filière avicole a tenu à participer aux frais de fonctionnement en injectant 16 k€ supplémentaires.

2.2 Comment mieux maîtriser les risques sanitaires liés à l'animal dans l'Océan indien et éviter la diffusion des maladies émergentes ?

A côté des maladies transmissibles par les aliments d'origine animale, l'émergence de maladies contagieuses potentiellement dangereuses pour la santé humaine et aussi pour la santé animale peut se faire directement par les animaux eux-mêmes et il importe donc de contrôler les dangers en amont pour éviter leur diffusion en aval.

2.2.1 Le Contexte

Les deux décennies écoulées ont apporté la preuve de l'impact géographiquement de plus en plus étendu et potentiellement dévastateur des maladies infectieuses émergentes humaines et animales : Elargissement des aires d'extension de la dengue, extension mondiale apparemment sans recours de la maladie de West Nile; diffusion de la Blue Tongue en Méditerranée et en Europe, épidémies mortelles de la fièvre de la Vallée du Rift, sans parler des épidémies de la maladie de la vache folle, du SRAS, d'Ebola et Marburg, de Nipah et de la grippe aviaire. Plus récemment enfin en 2005-2006, les flambées épidémiques de Chikungunya dans tous les pays de l'Océan Indien et de son pourtour.

Les causes de cette résurgence de nouveaux défis infectieux sont multiples.

-Certaines sont en rapport avec les nouvelles pratiques d'une économie mondialisée qui implique l'intensification des échanges internationaux de touristes, de migrants, et de biens grâce à des moyens de transport de plus en plus rapides dont la rapidité même invalide totalement la notion classique de mise en quarantaine

- D'autres causes sont directement liées au développement de l'élevage intensif d'animaux souvent en promiscuité avec les humains et leur commerce par des voies non contrôlées et souvent illégales ;

-D'autres causes encore, sont en rapport avec la dégradation du milieu de vie des populations exposées, surtout dans les pays en développement : extension des zones d'habitat insalubre, appauvrissement et fragilisation sociale de larges franges de la population,

-D'autres enfin, sont la conséquence directe du réchauffement climatique et de la dégradation des milieux naturels, de l'intrusion massive de l'homme dans des écosystèmes dont il n'était pas partie prenante, de l'intrusion et l'adaptation d'espèces allogènes de moustiques et d'autres insectes vecteurs dans des espaces devenus compatibles avec leurs exigences biologiques.

La plupart des grands défis infectieux constatés durant les dernières décennies ont une particularité notable : c'est la place centrale jouée par l'animal dans le cycle de transmission du pathogène. L'animal, cible ou réservoir à virus, exprime l'infection soit de façon a- ou pauci symptomatique soit sous une forme cliniquement sévère pouvant prendre des allures épizootiques. Ainsi, ces infections peuvent elles concerner l'homme et l'animal et avoir un impact direct sur la santé humaine, ce sont les zoonoses : Rage, Fièvre Q, Fièvre de la vallée du Rift, West Nile Fever, Leptospirose, tuberculose, SRAS, sans parler du risque de pandémie que représente le passage à l'homme de certains virus aviaires particulièrement virulents. Ailleurs, elles concernent l'animal seulement et leur impact est alors essentiellement économique quand il

s'agit d'animaux de rente. Comme exemples qui concernent la région Océan Indien, on peut citer : Charbon symptomatique, para tuberculose, pestes porcines africaine et classique qui sévissent à Madagascar ; la fièvre de la Vallée du Rift, le charbon symptomatique, la théleriose aux Comores ; la para tuberculose, la Dermatose nodulaire contagieuse ou la Rhinotracheite bovine infectieuse à la Réunion, la peste porcine africaine à Maurice.

Face à ces dangers qui sont bien réels, le contexte insulaire des îles de l'Océan indien reste favorable pour les préserver de nombreuses maladies continentales originaires de l'Afrique de l'Est, en particulier : peste bovine, PPCB, PPR, PPCC, trypanosomose. Cependant, seule une action proactive de veille et de prévention permettra de conserver cet atout.

Pour les pays de la zone COI, les choix stratégiques en matière de prévention et de lutte contre les maladies animales, ont d'autant plus de chance d'aboutir à des résultats durables qu'ils s'insèrent dans une stratégie régionale et prennent en considération les conséquences qu'ils ont sur les autres pays de la sous-région, voire au-delà. De plus la santé animale est un facteur déterminant de la sécurité sanitaire des aliments.

Ainsi, la stratégie de lutte contre les fléaux infectieux à potentiel épidémique implique-t-elle le développement d'un volet d'action vétérinaire à intégrer dans le cas des zoonoses, au programme de veille sanitaire pour la protection des populations.

Le contexte régional Océan Indien est caractérisé par un déficit avéré en données épidémiologiques fiables et actualisées. Cette situation justifie la mise en place d'une action concertée régionale sur les pathologies animales, zoonotiques et autres pour apporter aux pays de la Région les éclairages scientifiques nécessaires à l'élaboration de politiques raisonnées en santé animale pour la préservation des cheptels et des populations

2.2.2 Les objectifs du projet

L'objectif général du projet vise à maîtriser les risques zoo-sanitaires dans l'Océan Indien à la fois pour préserver la santé des populations exposées aux zoonoses et pour préserver l'élevage des animaux de rente, des maladies enzootiques et épizootiques et atténuer l'impact économique négatif de celles-ci

Pour atteindre cet objectif général, **quatre objectifs spécifiques** ont été définis :

- (1) Identifier les dominantes pathologiques ayant un impact zoonotique et/ou économique dans la zone Océan indien,
- (2) Comprendre le potentiel de diffusion spatio-temporelle de ces maladies,
- (3) Développer des outils de diagnostic biologiques, adaptées aux conditions de terrain afin de soutenir les efforts de veille épidémiologique dans la région OI
- (4) Proposer des mesures de luttés adaptées et économiquement viables aux pays de la zone.

2.2.3 Méthodologie

1. **Objectif Spécifique 1** : Identifier les dominantes pathologiques ayant un impact zoonotique et/ou économique dans la zone Océan indien.

- Etablir la liste des maladies prévalentes et/ou à risque de diffusion à prendre en compte en relation avec les services sanitaires de la zone Océan Indien (bibliographie, expériences, surveillance épidémiologique...)

A – Collecter les données bibliographiques relatives aux études passées conduites dans les pays de la zone et constater les maladies animales qui ont pu être signalées.

Comment ? : Par une consultation des sites scientifiques de références bibliographiques (PubMed...) et des rapports internationaux, régionaux et nationaux (OIE, COI, Services vétérinaires, Services de l'Agriculture...)

B - Définir conjointement avec les services vétérinaires locaux, les maladies prioritaires sur la base des connaissances du terrain de chacun (expériences personnelles, rumeurs...). Les discussions avec les responsables des services vétérinaires montrent que les maladies reconnues prioritaires, jusqu'à présent, demeurent les pestes aviaires (Maladie de Newcastle et Influenza aviaire), les pestes porcines (classique et africaine), la fièvre de la vallée du Rift et la fièvre du Nil Occidental (West Nile Fever).

Comment ? : Cet objectif sera atteint à l'issue de la réunion de lancement du projet qui se tiendra à la Réunion avec les responsables des services vétérinaires ou leurs représentants qui constitueront le comité de pilotage du projet (4 représentants malgaches, 2 comoriens, 1 mauricien et 1 seychellois et 3 de la Réunion).

- Actualiser les données par des enquêtes séro-épidémiologiques dans les différents pays de la zone Océan Indien (mise en place de protocoles d'investigation, réalisation de prélèvements sur le terrain et analyse de laboratoire)

A- élaborer des protocoles d'investigation et notamment un plan d'échantillonnage (nombre et type de prélèvements, lieux et dates de prélèvements) pour chaque maladie et chaque pays.

Comment ? : sur la base des connaissances des services vétérinaires locaux, il sera procédé à un tirage au sort des élevages et des animaux à prélever de façon à obtenir un échantillon représentatif. Le nombre de prélèvements sera fonction de la prévalence estimée de la maladie avec un risque de 5%. Les protocoles seront élaborés en étroite concertation avec les services locaux.

B - procéder aux prélèvements conformément aux plans d'échantillonnage avec les équipes locales

Comment ? : des missions de 10 jours chacune seront effectuées dans les pays ; une équipe se rendra sur le terrain pour y réaliser les prélèvements. Deux missions, une par saison (saison froide, saison des pluies) sont prévues.

C- analyser les prélèvements soit dans le pays directement si les capacités analytiques sont disponibles, soit à la Réunion.

Comment ? : La plupart des prélèvements seront constitués de sang ou de sérum ; ces prélèvements seront analysés dans la plupart des cas par une technique ELISA. Les analyses seront réalisées soit dans le pays partenaire, dans les laboratoires compétents, soit à la Réunion sur la plateforme technologique du CYROI / CRVOI. En outre, à chaque fois que le contexte épidémiologique l'indiquera, des prélèvements pour analyse PCR ou virologique seront effectués.

2. **Objectif spécifique 2** : Evaluer le potentiel spatio- temporel des maladies prioritaires

- Sélectionner les maladies à étudier en priorité en fonction du contexte épidémiologique spécifique de chaque pays de la zone

En fonction des contraintes sanitaires, politiques, économiques et culturelles, chaque service vétérinaire considérera certaines entités pathologiques comme davantage prioritaires. C'est en fonction de la combinaison de ces paramètres qu'il sera décidé de mener une analyse qualitative des risques spécifique pour chaque pays.

Comment ? : à l'issue de la deuxième réunion du comité de pilotage du projet, une liste de couple pays/maladie sera établie afin de mettre en œuvre les analyses qualitatives de risque.

- Conduire une analyse qualitative des risques pour les maladies et les pays sélectionnés (évaluation de l'émission, de l'exposition et des Conséquences, et estimation du risque)

L'analyse qualitative des risques va se dérouler en 3 étapes :

A- une évaluation de la probabilité d'émission : celle-ci dépend, notamment des paramètres suivants : le nombre d'animaux importés ; la prévalence annoncée de la maladie dans le pays d'origine ; la qualité des Services vétérinaires et du réseau de surveillance épidémiologique dans le pays exportateur ; les éventuelles mesures de lutte appliquées dans le pays exportateur.

B- une évaluation de la probabilité d'exposition : celle-ci dépend, entre autres, des paramètres suivants : le mécanisme de transmission de l'agent pathogène et les facteurs affectant la survie de cet agent pathogène (épidémiologie analytique) ; les potentialités de contamination dans le pays importateur ; les mesures préventives à destination ; la présence de vecteurs et de réservoirs potentiels dans le pays importateur.

C - une évaluation des conséquences qui dépendent, entre autres, de : l'impact économique (coûts directs et indirects) d'un épisode de la maladie dans le pays importateur ; l'impact sanitaire de la maladie si c'est une zoonose.

Comment ? : La liste des paramètres à prendre en compte étant établie pour chaque module, chacun des paramètres sera d'abord décrit, puis les informations

collectées ; les paramètres seront caractérisés, puis analysés pour aboutir à une estimation. Ces paramètres seront caractérisés sous la forme d'une appréciation qualitative qui n'inclut pas la quantification des paramètres mais utilise des échelles descriptives pour qualifier le niveau de chaque paramètre. Le résultat final de l'analyse qualitative du risque permettra de conduire à l'une des conclusions suivantes : le risque est négligeable, faible, modéré ou élevé.

Cette appréciation du risque devra alors être comparée à un niveau de risque acceptable défini préalablement par le gouvernement ou les services vétérinaires directement.

Une équipe séjournera dans les pays considérés pour évaluer en concertation avec les experts locaux les différents paramètres à prendre en compte pour procéder à cette évaluation qualitative des risques. Chaque séjour correspondra, a minima, à une mission d'une dizaine de jours chacune et ce, pour chaque saison. Cette période permettra de réunir les informations disponibles pour caractériser chaque paramètre ou de mettre en place par les équipes locales les études à mettre en œuvre pour acquérir les données épidémiologiques essentielles à l'analyse de risque.

- Conduire une analyse quantitative du risque basée sur deux ou trois projets de recherche opérationnelle visant à identifier les facteurs de risques spécifiques aux modèles choisis de diffusion spatio-temporelle.

Cette approche, équivalente à un projet en tant que tel, sera visitée via des appels d'offre supplémentaires. A cet égard, nous venons d'ailleurs de décrocher un financement dans le cadre du 1^{er} appel d'offre du CRVOI, une étude sur l'analyse du réservoir sauvage de la fièvre de la vallée du Rift et du potentiel de diffusion de cette maladie par une analyse quantitative des risques. Cette étude sera conduite à Madagascar et aux Comores avec une implication de l'île de Mayotte (Annexe 1).

4 Objectif spécifique 3 : Développer des outils de diagnostic et d'investigation épidémiologique adaptés à l'utilisation dans les conditions de terrain. Pour cela :

- Identifier et Développer des techniques de diagnostic rapide, faciles à mettre en oeuvre en particulier dans les pays ne bénéficiant pas de laboratoires d'analyses adéquats.

Une enquête préalable approfondie sur les outils disponibles de diagnostic classiques et rapides pour les maladies concernées et leur adaptabilité aux conditions effectives de terrain sera réalisée. La spécificité et la sensibilité de ces outils pourront être appréciées dans le contexte des pathologies dominantes existant dans la région (réactions croisées...).

Comment ? : Cette action sera conduite avec les structures partenaires par notre équipe et plus particulièrement le virologiste et s'appuiera sur les données bibliographiques, les informations de terrain et l'analyse des sera collectés.

En fonction des résultats de l'enquête, le programme identifiera les pathologies pour lequel il sera opportun de développer la mise au point des kits de diagnostic qui puissent répondre aux conditions de terrain des pays en développement et qui soient facilement utilisables sans recours à des équipements sophistiqués. Le type d'outils envisagé sont les tests d'agglutination rapide sur lame (réaction Antigène – Anticorps) ou des bandelettes « Dipstick » ou des réactions colorimétriques sur des billes couvertes d'antigène

Comment ? : L'équipe, se fondant sur les données bibliographiques, les informations issues des banques de données génomiques, et des spécificités antigéniques des souches virales régionales, conduira cette action de recherche opérationnelle en collaboration avec les partenaires . Il sera fait appel en priorité à des antigènes recombinants exprimés dans des vecteurs d'expression adéquats, afin de préserver l'antigenicité des épitopes exprimés. En cas de besoin, la culture de virus se fera en respectant les niveaux de sécurité requis et sera conduite dans les labos de niveau P3 au CYROI/ CRVOI, l'IP de Madagascar ou l'IP Paris.

L'évaluation des performances des kits se fera grâce à des banques de sérum régionales et inter nationales

4 Objectif spécifique 4 : Proposition de mesures de lutttes adaptées et économiquement viables

- Evaluer et comparer l'efficacité zootechnique et le rapport coût bénéfice des opérations de contrôle des maladies (abattage, traitement, vaccination, lutte vectorielle...)

Chez l'animal, il est essentiel d'évaluer et de comparer l'efficacité zootechnique et le rapport coût / bénéfice des opérations de contrôle des maladies (abattage, traitement, vaccination, lutte vectorielle), si l'on souhaite les pérenniser dans le temps.

En fonction des analyses des risques conduites précédemment et des livrables obtenus dans les actions précédentes, certaines mesures de lutte vont être prises par les gouvernements et leurs services soit pour renforcer la prévention soit pour accentuer les efforts d'élimination de certaines pathologies. Pour assurer une gestion des risques efficaces, ces mesures doivent être évaluées pour orienter le choix de manière stratégique.

Comment ? : L'évaluation du bénéfice zootechnique et économique nécessitera de collecter de manière longitudinale, en plus des informations relatives aux analyses de risque, des informations individuelles relatives à la démographie des troupeaux et à la croissance des animaux, ainsi que des informations sur le prix des productions animales, aux pertes économiques subies... Pour ce type d'action, une équipe se rendra en mission dans les pays de la zone Océan Indien pour y faire une évaluation économique à dire d'experts selon les informations des acteurs des filières et de la santé animale. Les équipes locales seront responsables de la recherche des informations nécessaires à l'étude

économique soit sur la base de connaissances déjà établies soit par la mise en œuvre d'actions de recherche aptes à fournir ces informations.

2.2.4 Le potentiel pour l'encadrement

Ce projet revêt différentes facettes de l'épidémiologie : épidémiologie descriptive et analytique, de la technologie par la mise au point de kits de diagnostic et de l'économie de la santé par les études coûts – bénéfiques. Ces disciplines vont permettre de constituer un support pour au moins deux thèses dont les étudiants seront issus notamment du master d'épidémiologie animale organisé par le CIRAD et l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse. Une thèse sur la Leptospirose (Mlle Amélie Desvars) a ainsi été proposée pour l'obtention d'une bourse de l'Université de la Réunion.

La mise au point des kits de diagnostic permettra de lancer un troisième projet de thèse dont l'étudiant sera issu d'un master tourné sur la biologie moléculaire et le clonage.

Enfin, le projet fait appel au recrutement de plusieurs VCAT ; ces derniers seront des sortants soit des écoles nationales vétérinaires (et spécialisations) soit de l'Université et constitueront aussi des personnels à former et appuyer.

2.2.5 Le potentiel pour les publications

Chaque objectif constitue une recherche à part entière. De plus, l'originalité de l'étude tant par son centre d'intérêt (les maladies émergentes) que par sa localisation géographique (l'Océan Indien) va permettre la rédaction d'articles scientifiques dans des revues orientées vers l'épidémiologie (*Emerging Infectious Diseases*, *Preventive Veterinary medicine*), la biologie moléculaire (*Journal of Applied Microbiology*) ou des revues plus spécialisées sur certaines filières animales (*British Poultry Science...*).

2.3 Pourquoi de telles perspectives ?

2.3.1 La rationalité de ces perspectives

Les termes récents de « maladie émergente » et « maladie réémergente » correspondent à des notions floues, dont le cadre peut toutefois être précisé. Utilisés par tous, ils correspondent à une réalité complexe. Les professionnels comme le grand public utilisent ces concepts et les éclairent à leur façon.

Les maladies émergentes chez l'homme seraient, dans 75 % des cas des zoonoses. Un nombre considérable d'espèces animales, sauvages ou d'élevage, d'agents pathogènes, toujours mieux différenciés, sont les acteurs connus de l'écologie des maladies transmissibles à l'homme, un homme indissociable de son écosystème. Cette constatation impose naturellement de travailler davantage à l'interface entre la santé humaine et la santé animale.

Depuis les années 1980, des dizaines de microorganismes pathogènes nouveaux ont été isolés, des dizaines d'épidémies ont émergé ou ré émergé. Ces événements ont été plus ou moins médiatisés, selon la nature de l'agent (nouveau ou connu), la perception de la gravité des maladies concernées et le territoire atteint : pays riches ayant une communication « efficace » ou pays pauvres où les maladies sont dites « négligées ».

Le caractère universel et politique des maladies émergentes a incité les décideurs à réorganiser certaines grandes institutions, comme les organisations mondiales de la santé, humaine et animale (OMS et OIE). Ces maladies sont au cœur de réseaux constitués spécifiquement dans le but de les surveiller. De telles structures multidisciplinaires collaborent dans le monde entier.

Les ripostes face aux flambées épidémiques sont de plus en plus codifiées. La veille microbiologique progresse par ses techniques novatrices. Enfin, des efforts particuliers sont entrepris pour mettre à jour la réglementation sanitaire internationale, devenue obsolète. La crainte de l'émergence d'un risque biologique intentionnel ou d'une pandémie de grippe d'un nouveau type renforce ces dispositions.

Pour mieux maîtriser leurs risques d'apparition ou de développement, il importe aujourd'hui de considérer ces dangers qui sont en pleine expansion à partir de :

- **2.3.1.1 L'animal vivant lui-même** : il s'agit principalement des viroses et des bactérioses zoonotiques ou ayant un impact particulièrement sérieux sur l'économie.

2.3.1.1.1 Les viroses : Les alertes récentes ont concerné des zoonoses virales, dont le franchissement de la barrière d'espèce est un frein, qui les empêchent le plus souvent d'être transmissibles entre humains (Bedin, 2007). Les virus grippaux des mammifères sont issus de virus aviaires. On peut citer, parmi ces maladies virales, des arboviroses ou des fièvres hémorragiques, parfois elles-mêmes des arboviroses.

- 2.3.1.1.1.1 Arboviroses émergentes et réémergentes

On connaît environ 50 « arbovirus » pathogènes pour l'homme, provoquant en général une infection fébrile bénigne. Seuls quelques-uns sont responsables d'affections graves. La piqûre d'un arthropode hématophage dans lequel le virus se multiplie est le mécanisme de leur pouvoir infectant.

L'encéphalite à Virus *West Nile* a fait 600 morts, entre 1999 et 2003, depuis son émergence en 1999 en Amérique du Nord, au plus fort de l'épidémie.

Par exemple, le Brésil, territoire immense, réunit beaucoup des conditions environnementales, climatiques et humaines optimales pour l'émergence ou la réémergence d'arboviroses. L'exemple type est le virus de la dengue, mais d'autres virus, comme celui de la fièvre Mayaro, ainsi que les virus *Rocio* et *Ilheus* (encéphalites) font l'objet d'une surveillance étroite dans ce pays où règnent : climat tropical, moustiques et humidité, déforestation et bouleversement des écosystèmes, surpopulation et pauvreté. Ces viroses typiquement humaines trouvent leurs réservoirs chez les oiseaux ou les rongeurs et même certains primates pourraient jouer le rôle d'amplificateur.

- 2.3.1.1.1.2 Fièvres hémorragiques

Des fièvres hémorragiques virales peuvent être transmises par des arthropodes ou par des rongeurs :

- Fièvres hémorragiques émergentes, dues à des *Hantavirus (Bunyaviridae)*, vecteurs rongeurs ;

- Fièvres hémorragiques avec syndrome rénal à virus *Puumula*, France, émergence (1985), réémergence (1985, 1990, 1991, 1993, 1996, 1999, 2005, puis 2007, a vu une grande recrudescence de cas dans l'Est de la France et les pays avoisinants (18 cas de FHSR ont été notifiés à l'InVS par le Centre national de référence des fièvres hémorragiques virales pour le seul premier trimestre 2007) ;

Certaines maladies sont émergentes et réémergentes chez l'homme et elles deviennent endémiques dans certains pays : fièvre hémorragique avec syndrome rénal à Hantavirus (*Hantaan*) en ex-URSS, Chine, Corée (2006), fièvre hémorragique avec syndrome rénal à virus *Séoul*, en Corée du sud, Japon, Chine (2006). Deux syndromes sont associés aux hantavirus : «rénal» (en Europe) et « pulmonaire » (dans le nouveau monde).

Exemples de Fièvres hémorragiques Réémergentes

- Fièvre de la vallée du Rift (*Phlebovirus, Bunyaviridae*, vecteur arthropode), réémergente en Afrique (2003, 2006) au Soudan, au Kenya et en Tanzanie; un cas à Mayotte (collectivité d'outre-mer française) en 2007 ;

- Maladie de Marburg (*Filoviridae*), dont la roussette d'Égypte, chauve-souris frugivore, est vecteur et réservoir (fait découvert en 2007(IRD, 2007)) ; cette maladie réémerge en République démocratique du Congo en 1998 et 1999 ; un seul cas est signalé en Ouganda en juillet 2007 ;

- Fièvre à virus Ebola, virus « cousin » du Marburg (*Filoviridae*), les vecteurs et réservoirs vraisemblables étant les carcasses de grands singes et les chauves-souris, réémergente en République démocratique du Congo (2003 et 2007) ; une alerte a concerné les Etats-Unis en 1998, chez des singes importés des Philippines ; cette souche nommée « *Reston* » était très peu pathogène pour l'homme ;

- Fièvre hémorragique de Congo-Crimée (*Nairovirus, Bunyaviridae*, vecteur acarien (tique), réémergente en Mauritanie (2001).

2.3.1.1.1.3 Risques en émergence

Il est possible de citer certains virus, qui représentent des causes de risques en émergence :

- le virus de l'hépatite E (VHE), dont le porc serait peut-être un réservoir, représente un danger potentiel au niveau mondial, notamment chez les femmes enceintes (bien que les patients infectés soient surtout des hommes âgés) ; la France est le pays d'Europe où la proportion de VHE constatée parmi les cas d'hépatite aiguë est une des plus élevée d'Europe, selon une intervention à un congrès de microbiologie en septembre 2007 (Duizer, 2007).

- la grippe aviaire chez l'homme, souche H5N1 hautement pathogène, depuis 1997, en Asie et Afrique (le nombre de cas croît en Indonésie et en Égypte en 2007).

- le syndrome respiratoire aigu sévère (SRAS) émergent en 2002-2003 dans le monde ;

- la variole du singe (*Monkeypox*) chez l'homme, cause d'épidémie aux Etats-Unis depuis 2003, due à l'importation aux Etats-Unis de rats et d'écureuils d'Afrique Noire (maladie

endémique en Gambie et au Ghana) et dont les chiens de prairie (rongeurs américains) constituent des réservoirs potentiels (Hutson et al., 2007).

D'autres zoonoses comme la rage et ses apparentés, depuis que les chauves-souris ont été identifiées comme réservoir possible, peuvent être mentionnées ; les encéphalites à virus *Nipah* et *Hendra* en font partie (Hance et al., 2006) . On note la réémergence de la rage en Corée du sud depuis le début des années 1990 (300 cas de rage chez cinq animaux différents, notamment chez des rats-laveurs (petit carnivore) et cinq morts humaines) ; en Amérique, deux épidémies de cas humains dus à des variants viraux habituellement isolés chez la chauve-souris vampire (c'est-à-dire hématoophage) *Desmodus rotundus* ont été constatées ; en Arizona, des mouffettes, petits carnivores de la famille des méphitidés, proche des mustélidés (et donc de la belette), ont hérité d'un de ces virus de chiroptère qui s'est adapté à cette espèce de façon inquiétante.

On peut citer aussi l'herpès génital, et oculaire chez le nouveau-né, dus aux *Herpesvirus hominis* 1 et 2 (*Herpesviridae*) qui, depuis les années 1970, inquiète les observateurs des pays développés (Etats-Unis) (PePOSE et al., 2006).

2.3.1.1.1.2 Bactérioses

Outre les viroses sur lesquelles on se focalise plus facilement, certaines bactérioses persistent ou se développent.

2.3.1.1.1.2.1 Zoonoses bactériennes

De nombreux pathogènes zoonotiques, transmis à l'homme par des tiques, des puces, des poux ou par aérosols sont décrits comme émergents ou réémergents.

- Des maladies transmises par des tiques (*Ixodidae*), comme les borrélioses, dont celle de Lyme, certaines rickettsioses (Parola et al., 2005) , les ehrlichioses (Anderson et al., 1991), dont l'anaplasmose humaine ou bien encore la babésiose américaine sont considérées comme des maladies émergentes en zone tempérée dans le monde (Canada, Etats-Unis, Europe) depuis les années 1980. La découverte de co-infections, transmises par une même tique, et aggravant la symptomatologie chez un même patient, est une donnée scientifique nouvelle (Belongia, 2002).

- Des maladies transmises par des ectoparasites (puces, poux) sont réémergentes, comme la peste. Des formes multirésistantes en sont décrites à Madagascar. Transmise par des puces de rongeurs, elle n'a jamais pu être éradiquée (Alfandari, 2005). Elle sévit toujours en Asie (Mongolie et Chine), en Afrique et en Amérique.

- D'autres bactérioses, transmises par des arthropodes, sont en augmentation. Une haute prévalence de sérologies positives à *Borrelia recurrentis* *Rickettsia conorii*, et *Rickettsia prowazekii* et la présence de *Bartonella quintana* est remarquée en France chez des personnes sans logis (Brouqui et al., 2005). La promiscuité avec certains animaux (chiens), une mauvaise hygiène corporelle et un mauvais terrain immunitaire sont en cause.

2.3.1.1.2.2 Bactérioses endémiques réémergentes

D'autant que certaines pandémies du passé refont surface.

La tuberculose est une maladie réémergente, du fait de l'augmentation des personnes immunodéprimées et de l'apparition de résistances (Munsiff et al., 2005). En France, la distinction entre réémergence et ralentissement de la croissance de cette maladie, qui ne finit pas de décroître, doit toutefois être faite (Desenclos, 2002). La résurgence n'existe que dans des lieux géographiques particuliers (quartiers démunis des grandes villes) (De Pontual et al., 2004).

En Europe, on assiste à des réémergences ou à des risques en émergence.

- La brucellose est déclarée chez du bétail en Croatie, d'où un risque en émergence.
- La tularémie, endémique, a provoqué une grave épidémie au Kosovo pendant la période de l'après-guerre (1999-2000) ; les derniers cas groupés remontent à 2004 en France ; cette maladie représente un risque car c'est aussi un agent possible de bioterrorisme ; elle est inscrite sur la liste des maladies à déclaration obligatoire depuis 2002.
- La fièvre Q a provoqué une importante épidémie en 1998-1999 et 2002 en France (Musnier, 2003). Cette maladie transmise par inhalation d'aérosols infectés, endémique dans les zones montagneuses dans le monde, peut donc parfois être considérée comme réémergente. Des facteurs météorologiques comme le vent sont parfois mis en évidence (Tissot-Dupont, 2004).

Mais les risques en émergence ne sont pas uniquement liés à l'animal vivant et de nombreux dangers proviennent encore de :

2.3.1.2 Les produits issus de l'animal : il s'agit d'abord des maladies d'origine alimentaire directement liées aux denrées alimentaires d'origine animale. Mais ce sont aussi les phénomènes de résistance aux antimicrobiens dont la pression s'accroît par la présence de clones bactériens multirésistants communs à l'animal et à l'homme présents dans ces aliments.

2.3.1.2.1 Maladies d'origine alimentaire :

Les flambées d'infections d'origine alimentaire sont un problème mondial. Depuis les années 1980, des bactérioses émergentes sont décrites comme certaines salmonelloses, la listériose, des yersinioses, des campylobactérioses ou certaines colibacillooses.

Certaines bactéries de l'espèce *Salmonella*, *S. enterica* spp. *enterica* (seules pathogènes pour l'homme), sont connues pour les poussées épidémiques de plus en plus fréquentes qu'elles provoquent, suite en particulier à l'ingestion de volaille et d'oeufs (600 000 morts par an dans le monde) (Jones, 2006). En Occident, les sérotypes Enteritidis et Typhimurium sont devenues les souches prédominantes, depuis leur émergence dans les années 1980 ; les serovar. Hadar, Heidelberg et Virchow suivent.

La mycobactériose à *Mycobacterium bovis*, une sorte de tuberculose affectant l'homme par le lait, émergerait dans certains pays d'Europe de l'Est (Schubel, 2006). Des cas groupés de transmission interhumaine sont observés au Royaume Uni en 2007.

La déclinaison des causes agroalimentaires montre une imbrication des différentes situations qui suivent :

Elevages intensifs : promiscuité (induisant la fragilité des animaux d'élevage) ; utilisation d'antimicrobiens (provoquant l'apparition de bactéries résistantes).

Industrialisation de la chaîne alimentaire : transports d'aliments et importation d'aliments non conformes ; chaîne du froid et rupture de la chaîne du froid (par exemple, l'agent de la listériose est capable de se multiplier à de très basses températures (jusqu'à 2°C)).

Restauration collective : changements des modes de vie (les repas à l'extérieur du domicile multiplient le risque, notamment lors de voyages) ; mauvaise hygiène, surtout en ce qui concerne les pays en développement ; on note que le choléra a été émergent en 1991 en Amérique latine, transmis par des aliments contaminés par l'homme en zone côtière (glaces et fruits de mer) ; eau contaminée.

2.3.1.2.2 Résistance aux antibactériens

Les antibiotiques sont des produits largement utilisés en élevage et dans certains pays en agriculture. Ces utilisations sont du même ordre de grandeur que l'utilisation en médecine humaine. La pression de sélection qui résulte de l'utilisation des antibiotiques est la principale cause de l'augmentation des résistances bactériennes. L'importance de cette dernière et l'existence de multiples circuits de transmission entre les animaux et l'homme représentent un problème de santé publique majeur (Courvalin, 1997). Cette inquiétude concerne non seulement les pays industrialisés mais aussi les pays en développement.

Les antibiotiques utilisés chez les animaux comprennent ceux qui sont administrés pour des raisons thérapeutiques ou prophylactique, soit par voie parentérale, soit par voie orale. Dans les pays en développement souvent tropicaux, la pression des pathologies animales est forte et les éleveurs ont recours, à une utilisation considérable d'antibiotiques pour protéger ainsi leurs animaux et assurer ainsi la rentabilité de leur production. En outre, les antibiotiques sont largement utilisés à doses faibles comme promoteurs de croissance dans la plupart des espèces élevées de façon industrielle (Aarestrup et Wegener, 1999). Les données sur les quantités d'antibiotiques utilisées ne sont pas disponibles partout mais en Europe, certains auteurs ont montré que ces quantités étaient voisines en médecine humaine et en productions animales : aux Pays-Bas, cette consommation serait ainsi de 100 mg/kg chez l'homme contre 430 mg/kg pour la volaille et 125 mg/kg pour les porcins (Van Den Bogaard et Stobberingh, 1999).

Quel que soit le mode d'administration, une part importante de ces antibiotiques va parvenir au contact des bactéries qui composent les écosystèmes intestinaux, notamment les salmonelles et les campylobacters. Cette rencontre peut alors avoir deux types de conséquences : les antibiotiques peuvent sélectionner les bactéries les plus résistantes et ils peuvent altérer les effets de barrière permettant ainsi la multiplication de bactéries exogènes potentiellement pathogènes (Andremont, 2000). Le lien entre l'usage des antibiotiques et la sélection de résistance dans le tube digestif des animaux a été démontré pour de nombreuses molécules comme l'avoparcine, la bacitracine, la tylosine...(Aarestrup et Engberg, 2002 ; Teale, 2002). Dès lors, le transfert de bactéries résistantes des animaux à l'homme, via la consommation de produits animaux principalement, peut se produire aisément. La résistance des salmonelles aux antibiotiques est ainsi surveillée depuis de nombreuses années puisque l'on dispose même de souches datant de l'ère préantibiotique et qui étaient alors pleinement sensibles aux antibiotiques (Datta et Hugues; 1983). Cela a permis de mettre en évidence la souche DT104 de *Salmonella* Typhimurium qui a été responsable d'une épidémie largement

disséminée ; cette souche était d'emblée résistante à la plupart des antibiotiques utilisés normalement pour traiter les infections intestinales chez les animaux mais elle est, en outre, devenue résistante au triméthoprim et aux fluoroquinolones, très probablement parce que des troupeaux d'animaux infectés n'ont pu être traités qu'avec ces antibiotiques (Wray, 1997). Des observations similaires ont pu être faites avec d'autres bactéries pathogènes comme *Campylobacter* (Engberg et Aarestrup, 2001). Dans les cas graves, notamment chez les personnes vulnérables et particulièrement les malades du Sida en Afrique (Gassama *et al.*, 2001), le recours aux antibiotiques s'impose et le traitement sera d'autant plus complexe et coûteux que la souche sera plus résistante.

Bibliographie :

- Aarestrup, F. M., Engberg, J., 2001. Antimicrobial resistance of thermophilic *Campylobacter*. *Veterinary Research* **32** (3-4), 311-321
- Aarestrup, F. M. and Wegener, H. C., 1999. The effects of antibiotic usage in food animals on the development of antimicrobial resistance of importance for humans in *Campylobacter* and *Escherichia coli*. *Microbes and Infection* **1**, 693-644.
- Alfandari, S. *Pathologies émergentes*, 2005. <http://www.infectio-lille.com/diaporamas/SA/inf-emerg-arh-29092005.PPT>
- Anderson, B.E., Dawson, J.E., Jones, D.C., *et al.*, *Ehrlichia chaffeensis, a new species associated with human ehrlichiosis*. *J Clin Microbiol*, 1991. 29 (12): 2838-42.
- Andremont, A., 2000. Impact des antibiotiques utilisés chez les animaux sur les bactéries potentiellement pathogènes pour l'homme. *La lettre de l'infectiologue* **7**, 268-271.
- Bedin, F., *Le Brésil, une terre d'élection pour les arboviroses ?* *Med Trop.*, 2007. 67 (3): 281-287.
- Belongia, E.A., *Epidemiology and impact of coinfections acquired from Ixodes ticks*. *Vector Borne Zoonotic Dis*, 2002. 2 (4): 265-73.
- Brouqui, P., Stein, A., Dupont, H.T., *et al.*, *Ectoparasitism and vector-borne diseases in 930 homeless people from Marseilles*. *Medicine (Baltimore)*, 2005. 84 (1): 61-8.
- de Pontual, L., Hollebecque, V., Bessa, Z., *et al.*, *Childhood tuberculosis in a low-income Paris suburb: lessons from a resurgence brought under control*. *Int J Tuberc Lung Dis*, 2004. 8 (8): 976-81.
- Courvalin P., 1997. Stratégie évolutive des résistances aux antibiotiques. *Médecine Thérapeutique Antibiotiques*. 3 . Hors série. 19 – 23
- Datta, H. and Hugues, V., 1983. Plasmids of the same Inc group in Enterobacteria before and after the medical usage of antibiotics. *Nature* **306**, 616-617.
- Desenclos, J.C. *Maladies émergentes : mythes ou réalités ?*, 2002. <http://www.pasteur.fr/infosci/conf/CRC/emergence.ppt> (
- Duizer, E. *Emerging food-borne Hepatitis E and porcine transmission*. in 161st Meeting, SGM. Food, fluids, fingers, faeces and flies — food- and water- borne pathogens. Monday 3 September 2007. 2007. University of Edinburgh: Society for General Microbiology (SGM).
- Engberg, J., Aarestrup, F. M., Taylor, D. E., Gerner-Smidt, P. and Nachamkin, I., 2001. Quinolone and macrolide resistance in *Campylobacter jejuni* and *C. coli*: resistance mechanisms and trends in human isolates. *Emerging Infectious Diseases* **7**, 24-34.
- Gassama, A., Sow, P. S., Fall, F., Camara, P., Gueye-Ndiaye, A., Seng, R., Samb, B., Mboup, S. and Aidara-Kane, A., 2001. Ordinary and opportunistic enteropathogens associated with diarrhea in Senegalese adults in relation to human immunodeficiency virus serostatus. *International Journal of Infectious Diseases* **5**, 192-198.
- Hance, P., Garnotel, E., Morillon, M., *Chiroptera and zoonosis: an emerging problem on all five continents*. *Med Trop (Mars)*, 2006. 66 (2): 119-24.
- Hutson, C.L., Lee, K.N., Abel, J., *et al.*, *Monkeypox zoonotic associations: insights from laboratory evaluation of animals associated with the multi-state US outbreak*. *Am J Trop Med Hyg*, 2007. 76 (4): 757-68.
- Institut de recherche pour le développement, *Le réservoir du virus de Marburg identifié chez une espèce de chauve souris frugivore*. *Actualités scientifiques*, 2007(124). <http://www.ird.fr/fr/actualites/fiches/2007/fas274.pdf>

Jones, T.F., Ingram, L.A., Fullerton, K.E., *et al.*, *A case-control study of the epidemiology of sporadic Salmonella infection in infants*. Pediatrics, 2006. 118 (6): 2380-7.

Munsiff, S.S., Li, J., Cook, S.V., *et al.*, *Trends in drug-resistant Mycobacterium tuberculosis in New York City, 1991-2003*. Clin Infect Dis, 2006. 42 (12): 1702-10.

Musnier, J., *Bientôt du nouveau sur la fièvre Q*. Activéto, 2003(25). <http://www.zoopole.com/fr/formations/urgtv2003/doc/presse.pdf>

Pepose, J.S., Keadle, T.L., Morrison, L.A., *Ocular herpes simplex: changing epidemiology, emerging disease patterns, and the potential of vaccine prevention and therapy*. Am J Ophthalmol, 2006. 141 (3): 547-557.

Parola, P., Davoust, B., Raoult, D., *Tick- and flea-borne rickettsial emerging zoonoses*. Vet Res, 2005. 36 (3): 469-92.

Schubel, N., Rupp, J., Gottschalk, S., *et al.*, *Disseminated mycobacterium bovis infection in an immunocompetent host*. Eur J Med Res, 2006. 11 (4): 163-6.

Teale, C. J., 2002. Antimicrobial resistance and the food chain. *Journal of Applied Microbiology* **92**, 85-89.

Tissot-Dupont, H., Amadei, M.A., Nezri, M., *et al.*, *Wind in November, Q fever in December*. Emerg Infect Dis, 2004. 10 (7): 1264-9.

Van den Bogaard, A. E., and Stobberingh, E., 1999. Antibiotics in animal feeds and the emergence and dissemination of bacterial resistance in man. In: *Antibiotic therapy and control of antimicrobial resistance in hospitals* Andreumont, A., Brun-Buisson, C. and McGowan, J. E. (Eds.). Paris: Elsevier.

Wray, C., 1997. Medical impact of antimicrobial use in food animal production: scenarios and risk assessment *Salmonella* and *E. coli* in England and Wales. In: WHO meeting on the usage of quinolones in animals, Geneva

2.3.2 La philosophie de ces perspectives

2.3.2.1 Les risques sanitaires liés aux aliments d'origine animale

Evaluer le risque sanitaire des aliments est une préoccupation propre à chacun, que l'homme a rencontrée depuis le début de sa longue histoire du fait de ses migrations ou des évolutions de son environnement. Cette préoccupation, l'homme l'a très tôt socialisée mais on peut considérer que la fin du 19^{ème} siècle avec le développement de l'hygiénisme et surtout le 20^{ème} siècle ont été particulièrement actifs pour mettre en place des dispositifs d'analyse des risques prenant en compte tant les ingrédients principaux que les multiples résidus, additifs et contaminants voire les nouveaux procédés de fabrication résultant de l'évolution de l'agriculture, de l'industrie agro-alimentaire et des modes de distribution.

La chaîne alimentaire, en effet, ne cesse de se complexifier. Son actuelle sécurisation repose sur des contrôles et inspections officiels des pouvoirs publics qui font respecter les réglementations (internationale, européenne et nationale) en terme de maîtrise de l'hygiène et de protection de la santé du consommateur et d'autre part sur la mise en place de démarches intégrées actuellement volontaires ou obligatoires. Mais l'évolution rapide des méthodes modernes de production, de transformation et du style de vie humaine a bouleversé l'épidémiologie des maladies d'origine alimentaire. Les mesures de prévention et de contrôle mises en place au niveau de la chaîne alimentaire commencent à être efficaces pour les anciens pathogènes du type *Listeria* spp. ou *Brucella* spp. Concomitamment, ces dernières trente années, de nouveaux pathogènes sont apparus en se répandant pour certains mondialement (*Salmonella* Typhimurium DT 104). Parmi ces nouveaux pathogènes, *Salmonella* et *Campylobacter* sont incriminés dans la plupart des toxi-infections alimentaires dans le monde.

L'étude de ces pathogènes alimentaires émergents passent par une décomplexification de la chaîne alimentaire pour mieux comprendre comment ces germes apparaissent et se

maintiennent à toutes les étapes de cette chaîne de l'amont à l'aval : élevage, processus d'abattage et de transformation, distribution et commercialisation ; d'où la nécessité d'avoir une approche globale sur toute la filière pour mieux comprendre l'épidémiologie de la bactérie (figure 1).

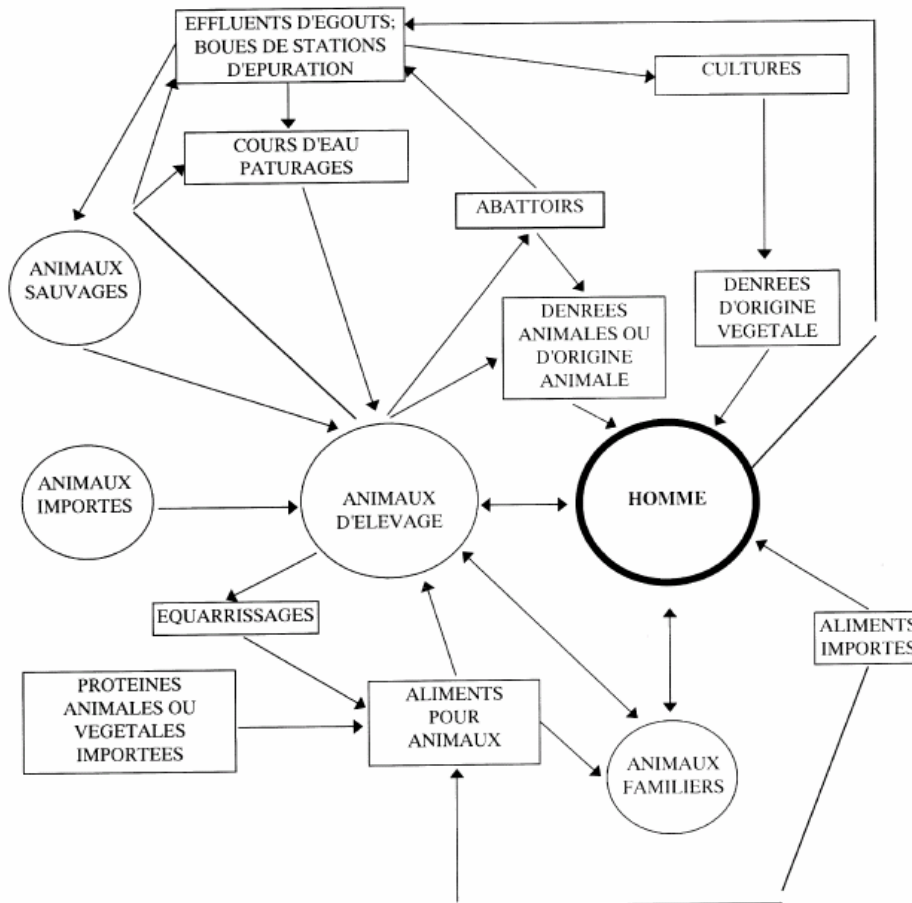


Figure 1 : Cycle de diffusion des salmonelles dans l'environnement (d'après Bornert, RMV 1994)

Ces approches ont été initiées dans les pays industrialisés mais très peu mises en œuvre dans les pays en développement. Or, la qualité sanitaire des denrées alimentaires dans les pays en développement constitue un enjeu majeur, en particulier, du point de vue économique puisque dans le cadre des mesures SPS (sanitaires et phytosanitaires) portées par l'Organisation Mondiale du Commerce, seuls les produits offrant des garanties sanitaires strictes pourront être exportés. Au-delà de l'enjeu économique, le chercheur que je suis, notamment dédié aux pays les moins avancés, ne peut pas ne pas se préoccuper de l'enjeu santé publique des populations locales ; en effet, souvent seules les denrées exportables, synonymes d'entrée de devises, sont contrôlées et de nombreux efforts sont consacrés aux structurations de ces filières. Les denrées réservées au marché intérieur ne subissent aucun contrôle particulier et les conditions d'élaboration de ces produits restent précaires. Or la qualité sanitaire reste un droit pour tous les consommateurs du Monde, quelle que soit sa nationalité et il importe d'offrir la même garantie pour tous. Cette activité, dans les pays en développement, est aussi fondamentale du point de vue de la résistance aux

antibiotiques ; en effet, dans de nombreux pays africains ou asiatiques, l'éleveur n'a pas besoin de prescription du vétérinaire pour administrer des antibiotiques à ses animaux. L'automédication est une caractéristique récurrente dans ces pays car la pression sanitaire est considérable en raison du climat favorable (chaud et humide), de la densité des exploitations (Asie, zone périurbaine des métropoles africaines) et les éleveurs ne voient pas d'autre alternative que d'utiliser des antibiotiques ...en excès. Or, c'est la pression de sélection de ces antibiotiques dans les élevages qui crée la résistance.

Cette préoccupation est d'autant plus exacerbée que les pathogènes peuvent voyager et que certains germes alimentaires émergents de pays tropicaux peuvent rapidement se retrouver dans l'assiette du consommateur des pays industrialisés. En effet, l'intensification des échanges internationaux a provoqué le transfert rapide des microorganismes d'une région géographique à l'autre, une augmentation du temps écoulé entre la transformation et la consommation de l'aliment et une augmentation de l'exposition de la population à différentes souches de pathogènes d'origine alimentaire.

2.3.2.2 Les risques sanitaires liés à l'animal

Ayant développé une approche longitudinale pour mieux comprendre l'épidémiologie de bactéries alimentaires émergentes pathogènes en milieu tropical, à l'interface entre l'animal et l'homme, le travail en amont sur l'animal lui-même m'est apparu complémentaire et tout aussi pertinent.

En effet, les défis et les opportunités sont identiques à mon action précédente. Tout d'abord, ces maladies ont souvent un berceau tropical, les terrains du Sud constituant parfois des zones d'enzooties à partir desquelles les agents pathogènes peuvent diffuser vers le reste du monde (Fièvre catarrhale ovine, Fièvre du Nil Occidental...). La faiblesse de leurs infrastructures et leurs systèmes de santé humaine et animale ne leur permet pas de surmonter, seuls, ces crises sanitaires.

Les facteurs d'émergence sont comparables ; il s'agit de l'accélération des mouvements commerciaux, du niveau hygiénique insuffisant mais aussi des changements globaux comme le réchauffement climatique ou des fronts pionniers agricoles ouverts dans des forêts tropicales.

Les défis restent donc les mêmes :

- ils sont d'ordre économique et social ; l'impact économique des maladies émergentes est élevé avec des coûts directs (impact économique, impact sur la santé publique, coût de la surveillance et le contrôle) et indirects (rupture des équilibres alimentaires, restriction des échanges commerciaux, méfiance du consommateur et mévente des denrées d'origine animale).
- ils sont aussi biologiques ; la connaissance des maladies, de leur épidémiologie, les déterminants de l'émergence, les méthodes de maîtrise sont mal connues. Il faut donc concevoir des méthodes d'identification des pathogènes, des méthodes de contrôle qui passent par une meilleure compréhension de l'épidémiologie de la maladie. C'est uniquement par cette approche qu'il est ensuite possible de mettre en place des systèmes de surveillance et de vigilance aptes à repérer l'apparition de cas ou une augmentation anormale de la fréquence de la maladie.
- ils sont synonymes d'une meilleure collaboration internationale ; les crises sanitaires de l'encéphalopathie spongiforme bovine, de l'Influenza aviaire, du SRAS montrent que les maladies émergentes peuvent rapidement se répandre et prendre une importance mondiale

en quelques années voire quelques semaines ! L'intensité et la rapidité des transports intra- et inter-continentaux, l'utilisation de souches de volailles sélectionnées donc plus sensibles expliquent la rapidité d'extension de la grippe aviaire par exemple. Cette collaboration internationale, en particulier dans la recherche, est nécessaire pour mieux aborder la question de la diversité des situations agro-écologiques et anthropiques dans lesquelles surviennent les émergences, ainsi que celle de la complexité des systèmes étudiés ou la variété des méthodes et des outils à mettre en oeuvre.

Les opportunités qui s'offrent sont aussi similaires ; sur un plan très général, la thématique « maladies émergentes » constitue un exemple de la nécessaire collaboration entre les pays du Nord et ceux du Sud, en particulier ceux les moins avancés. Elle impose le renforcement des services vétérinaires, des laboratoires d'analyse, des réseaux de surveillance et des équipes d'intervention, au Nord comme au Sud. Cette thématique se situe à l'interface entre la santé animale et la santé publique et l'étude de ces maladies requièrent le recours à de nombreuses disciplines dont, en premier lieu, l'épidémiologie et la microbiologie.

Conclusion: Une unicité dans l'approche

Les maladies seraient normales au sein d'un écosystème sain. Y a-t-il plus d'émergences maintenant qu'avant ? Elles sont mieux reconnues, et les actions des hommes sur la nature comme les progrès techniques créent des conditions propices à l'apparition de nouveaux agents, le plus souvent des virus.

La majorité des problèmes émergents concernent donc des maladies infectieuses, avec une composante zoonotique ou iatrogène. Le corollaire à cette constatation est la naissance d'hypothèses infectieuses concernant les maladies chroniques ou « nouvelles ». L'intégration de données environnementales ou animales à l'étude de la santé de l'homme est nécessaire à la compréhension de la transmission des infections.

Les différentes étapes de ma carrière m'ont précisément amené à aborder les dangers émergents non pas simplement sur un maillon de la chaîne mais sur l'intégralité de celle-ci puisque je travaille autant sur l'animal vivant que sur les denrées alimentaires qui en sont issues. Cette approche me permet d'avoir une vision globale des dangers inhérents à la conduite de l'élevage et aux étapes ultérieures de transformation, de distribution et de commercialisation des produits. Cette approche est intéressante pour les viroses telles la fièvre de la Vallée du Rift puisque la maladie se propage par les moustiques entre les ruminants mais ce virus infecte l'homme particulièrement lors de manipulation du sang et de la viande, notamment lors des abattages rituels. Cette approche est en revanche fondamentale si l'on souhaite mieux comprendre l'épidémiologie des bactéries impliquées dans les toxi-infections alimentaires collectives comme *Salmonella* et *Campylobacter* ; ces bactéries infectent les animaux à l'élevage et évoluent ensuite en fonction des types de transformation que les produits subissent. De même, la compréhension des phénomènes de résistance aux antibiotiques n'a de sens que si l'on connaît la pression sanitaire et la conduite d'élevage.

La méthodologie que j'ai souhaité développer pour étudier les facteurs de risque d'apparition ou de développement de ces dangers est identique que je m'adresse directement aux maladies liées à l'animal vivant ou à ses produits. J'ai en effet cherché à combiner l'utilisation des outils modernes de l'épidémiologie analytique et de la biologie moléculaire pour construire un système d'analyse des risques qui doit intégrer à terme l'analyse quantitative des risques. La méthodologie utilisée rassemble donc les méthodes de référence de l'épidémiologie analytique pour les adapter au contexte des pays du Sud. Les méthodes d'enquête retenues sont de type prospectives longitudinales (exposés/non exposés) et permettent un suivi du produit à chaque étape de la filière.

Ainsi, l'approche que je souhaite continuer à approfondir demeure du ressort de l'épidémiologie analytique et cherche à mieux comprendre l'effet des différents facteurs (liés aux vecteurs, à l'agent, à l'environnement et aux humains) sur l'apparition ou le développement des pathologies émergentes animales zoonotiques ou avec un impact économique sérieux.

Pour essayer de répondre à des objectifs aussi ambitieux, il est illusoire de penser y parvenir seul ; mon positionnement au sein du CRVOI est un début de réponse au développement d'une équipe multidisciplinaire apte à répondre à ce type d'objectif. Et pour plagier les Académies des Sciences du Monde entier suite à la crise du SRAS qui déclarent « *Tous les pays du monde devraient collaborer* »..., j'espère en effet que de solides équipes scientifiques de l'Océan Indien pourront émerger pour s'attaquer à ce lourd fardeau des maladies émergentes !

Annexe : Organigramme

