

L'étude des risques sanitaires liés à l'eau dans l'environnement urbain : l'exemple de la ville de Chennai, Inde du Sud

Bernard MONDET, Thomas SEYLER

Gérard SALEM, Jean-Paul GONZALEZ

Les modifications de l'environnement, souvent dues aux activités humaines, ont été généralement associées aux phénomènes d'émergence ou de ré-émergence de maladies infectieuses. Les exemples sont nombreux et le plus souvent liés aux migrations, aux échanges et (ou) regroupements de populations, et à la modification de l'environnement que cela implique. En Afrique de l'Ouest, la construction de barrages a précédé l'extension géographique de l'onchocercose et, plus récemment sans doute, celle de la fièvre de la vallée du Rift (SALUZZO *et al.*, 1987). La légionellose, maladie bactérienne, est en relation directe avec l'environnement urbain humide (systèmes de climatisation), la contamination de l'homme s'effectuant par inhalation. En Europe et aux États-Unis, la ré-émergence de *Mycobacterium tuberculosis*, sous forme de souches multi-résistantes, est associée, entre autres facteurs, à la dégradation des conditions de vie dans les agglomérations des populations les plus vulnérables. La part de la population humaine globale vivant dans les villes ne cesse d'augmenter et, selon «UN-Habitat», elle est passée du

tiers de la population de la planète en 1950 à plus de la moitié actuellement, et devrait atteindre, vers 2050, les deux tiers de la population mondiale (6 milliards sur les 9 estimés). L'urbanisation rapide entraîne des changements environnementaux et sociaux profonds dans l'ensemble des écosystèmes urbains et périurbains ainsi qu'à leur interface et les métropoles tropicales sont celles qui subissent les plus intenses et les plus rapides modifications et dégradations environnementales (MAITI et AGRAWAL, 2005).

Un des plus grands défis, face à ces bouleversements écologiques, est celui de la gestion de l'eau : accès à l'eau potable, évacuation des eaux de pluies et des eaux usées ce qui, quand les systèmes sont déficients, a une influence directe sur la santé des hommes et des animaux. Les maladies peuvent être directement liées à l'eau ou être transmises par des vecteurs qui peuvent passer par une phase aquatique (les larves de moustiques), avoir une sensibilité extrême à l'humidité (les tiques) ou encore posséder des niches écologiques dépendantes de la nappe phréatique (les rongeurs). Dans ces conditions, l'analyse globale des problèmes de santé dans les grandes villes passe par l'étude des conditions d'émergence et d'évolution des maladies liées à l'eau, et possède trois orientations majeures :

- l'exposition dans le temps et dans l'espace des populations humaines aux différents facteurs de risque, naturels et anthropiques ;
- la vulnérabilité des populations aux maladies émergentes et (ou) inédites ;
- la capacité des vecteurs de s'adapter à leur environnement et celle des hôtes de s'adapter au (x) risque(s).

Cette étude ne peut donc s'envisager que par une approche intégrée, interdisciplinaire et systémique ayant pour objectif ultime le développement d'un système d'alerte précoce. Pour mieux appréhender la structure complexe d'une telle étude, nous nous basons sur un exemple concret, celui de la ville de Chennai, anciennement Madras, capitale de l'État du Tamil Nadu en Inde du Sud.

Chennai, mégapole du Sud

Si le taux de croissance décennal a baissé de 17,24% (période 1981-1991) à 9,76% (période 1991-2001), la densité humaine a augmenté, elle, de 22 077 à 24 231 habitants/km² (*Census of India*, 2004). Actuellement, la ville de Chennai *intra-muros* abriterait 4,3 millions d'habitants sur 172 km² et le «Grand Chennai» aurait 7 millions d'habitants inégalement répartis sur 1 166 km². Dans cette ville, à l'urbanisation incessante, aux changements environnementaux majeurs, les disparités socio-économiques sont très grandes. Le pourcentage de population des bidonvilles (anglais: *slums*) est passé de 13,8% en 1981, à 17,7% en 2001 (MAITI et AGRAWAL, 2005), pour être estimé actuellement à 26% (CHANDRAMOULI, 2003). De la périphérie au cœur historique de la vieille ville, de nombreux écosystèmes ruraux, périurbains et urbains se côtoient, se mélangent, parfois de façon complexe, souvent en relation étroite avec l'environnement physique et aussi humain. Dans ce contexte de mosaïque éco-sociologique, les maladies liées à l'eau représentent une très grande part des pathologies existantes. Ce sont des maladies comme les fièvres diarrhéiques, la leptospirose et le choléra d'une part, et celles à insectes vecteurs comme le paludisme, les fièvres à virus dengue et à virus chikungunya d'autre part.

Pour une étude de ce type sur le risque d'émergence de pathologies liées à l'eau, dans un contexte d'urbanisation et de changements environnementaux, un état des lieux doit être un préalable à toute tentative d'analyse et doit porter sur les hommes, les maladies et leurs vecteurs, ainsi que sur l'influence du climat sur les conditions d'apparition et de développement des maladies dans la ville (PAPPACHAN *et al.*, 2004a).

Méthodologie

Dans le cas de la ville de Chennai, c'est d'une hypothèse simple que va débiter notre réflexion: la vulnérabilité et la capacité d'adaptation (ou de réaction) des diverses populations humaines

face aux risques sanitaires liés à l'eau présentent des différences intra-urbaines car, comme l'affirment V. MOHAN *et al.* (2001), le statut socio-économique d'un individu a une influence sur sa santé et celle de sa famille ou de son entourage.

Le fil conducteur est donc l'étude des hommes dans leurs environnements par une approche intégrée et interdisciplinaire. Comme à Salvador de Bahia, au Brésil (TEIXEIRA *et al.*, 2002 a), l'épidémiologie dans des agglomérations complexes peut être effectuée après un travail de sélection de zones représentatives des différents écosystèmes et espaces sociaux urbains. Les données fondamentales de sociologie, d'économie, de biologie et d'éthologie seront alors collectées dans ces zones sentinelles. L'entomologie a une place importante dans l'étude des maladies transmissibles qui doit se baser sur une bonne connaissance de la répartition des gîtes larvaires des moustiques, des densités des stades larvaires et des adultes, des zones de contacts entre l'homme et le vecteur. Chez ces derniers, la présence de virus peut, d'ailleurs, être systématiquement recherchée pour estimer la répartition spatio-temporelle des risques de transmission virale (CRME, 2003) tout comme la présence de *Plasmodium* peut renseigner sur celle du paludisme (TRAPE *et al.*, 1992). Les zones de répartition de ces maladies varient en fonction des capacités de déplacement, actif et passif, des vecteurs infectés. En sciences sociales, le cadre des études est constitué autour des notions d'analyse de vulnérabilité (BOHLE, 2001 ; SAUERBORN *et al.*, 1996), largement développées en géographie de la santé comme à Pikine, au Sénégal, par exemple (SALEM, 1998).

Ces premières études portent donc sur la vulnérabilité, l'exposition et l'adaptation des populations humaines à leur environnement et aux pathologies circulantes. Celles sur la vulnérabilité ont pour base une cartographie dans le temps et dans l'espace des infections liées à l'eau. L'exposition est mise en évidence par la description dynamique de l'environnement urbain et périurbain, à la fois physique (saisons, microclimats, infrastructures, habitats, collections d'eau), biologique (gîtes larvaires des vecteurs, dynamique des populations de rongeurs, répartition des agents pathogènes) et social (niveau des revenus, appartenance à une caste, mobilité, accès aux soins de santé). Les données obtenues permettront de

repérer, pour chacune de ces catégories, des facteurs déterminant l'inégalité face au risque d'infection. Enfin, les populations humaines urbaines possèdent des comportements d'adaptation variables qui dépendent de multiples facteurs qu'il faudrait caractériser. Il s'agit donc d'étudier et d'analyser la perception du risque (KUMAR *et al.*, 2003) en relation avec les maladies existantes et celles émergentes, puis de rechercher les types de réactions à court et moyen termes les mieux adaptés au contexte social.

L'ensemble de ces données physiques, biologiques et sociales pourrait trouver sa place dans un système d'information géographique (BECK *et al.*, 2000) malgré certaines difficultés (MOLONEY *et al.*, 1998).

Matériel et méthodes

Le développement de bases de données spatialisées sur l'environnement et la santé dans la métropole de Chennai s'impose, ce qui devrait permettre de cartographier dans le temps et dans l'espace l'incidence des maladies liées à l'eau, d'obtenir une image dynamique en zones périurbaines et urbaines des environnements physique, biologique et social, de mettre en évidence les comportements et l'adaptabilité des populations les plus vulnérables au risque d'émergence au sens large. Vu l'hétérogénéité des zones d'étude, une attention particulière doit être donnée à la dimension spatiale grâce à des données géoréférencées par GPS (*Global Positioning System*) et traitées à l'aide du logiciel ArcGIS©. La classification des images satellitaires peut utiliser Erdas Imagine©, les résultats des questionnaires et des enquêtes pouvant être intégrés et analysés avec EpiInfo©. L'ensemble des données pourrait être utilement traité dans un logiciel étendu d'information, SavaneSIG© (www.savgis.org). Des questionnaires individuels et des entretiens sont à mener au cours de réunions de quartier pour définir des zones sentinelles représentatives avec, en particulier, consultation de groupes informels de femmes, de personnel social, enseignants, infirmiers, chefs de communauté, etc.

Des outils de diagnostic relativement courants peuvent être utilisés pour les différentes maladies : bandelettes de diagnostic rapide fournies par les instituts Pasteur de Paris et de Madagascar pour les diarrhées et le choléra ; tests IgM et IgG pour la détection des anticorps dans la recherche des leptospiroses et des arboviroses, avec confirmation au besoin par ELISA. La technique RT-PCR (CHUNG et PANG, 2002) peut être adoptée pour la détermination du sérotype et, en cas d'épidémie, l'ARN viral utilisé pour identifier l'origine des souches circulantes à partir d'échantillons de sang fournis par les services de santé des différents hôpitaux.

En entomologie, les enquêtes visent à la recherche de gîtes larvaires et à la capture de stades larvaires et adultes afin de déterminer les index entomologiques (STRICKMAN et KITAYAPONG, 2002 ; FOCKS *et al.*, 2000). Divers types de pièges peuvent être utilisés, en particulier le nouveau piège à moustiques BG-Sentinel® qui apparaît actuellement le plus efficace des pièges à odeur pour capturer des *Aedes* (KRÖCKEL *et al.*, 2006). Des dissections de femelles adultes peuvent compléter les données en précisant l'abondance des *Plasmodium* du paludisme ou la variation, au cours du temps, du taux de parité et de l'âge physiologique des adultes, donc des taux de survie (MONDET, 1996).

Les objets d'une recherche transdisciplinaire

Les hôtes et leurs environnements

L'étude des facteurs d'émergence et de persistance de maladies au sein de populations humaines ne peut pas se limiter à une analyse strictement biologique des agents infectieux et des couples vecteurs/réservoirs. Il s'agit également de cerner les comportements humains et les modifications environnementales qui peuvent entraîner et/ou perpétuer certains risques sanitaires. De nombreux travaux ont montré l'impact sanitaire qu'ont pu avoir les modifications des modes de vie de communautés humaines soumises aux évolutions d'un environnement changeant. Certains auteurs situent l'émergence accrue des maladies infectieuses chez l'homme

à l'époque de la sédentarisation qui conduisit à l'accroissement des groupements humains et à la domestication d'animaux. Des études ont établi le lien entre diffusion de certaines maladies – comme la bilharziose, l'onchocercose ou l'encéphalite japonaise – et la construction d'infrastructures hydrauliques. En Inde, par exemple, dans l'État du Karnataka, c'est la déforestation et l'expansion de terres cultivables qui ont exposé les populations locales au vecteur du virus de la fièvre hémorragique de la forêt de Kyasanur (WORK et TRAPIDO, 1957).

Les grandes cités en Inde ont vu une urbanisation rapide en raison de la poussée économique et démographique. Avec une pression croissante de la population dans un environnement urbain dès le départ très médiocre, les conditions de vie dans les agglomérations et en zones périurbaines ne peuvent que se détériorer avec le temps (voir les différents rapports annuels de la Banque mondiale, www.worldbank.org/data). Les modifications des comportements humains, ainsi que la transformation de nature anthropique du milieu de vie, sont particulièrement présentes dans les grandes villes du Sud comme la métropole de Chennai, représentative pour plusieurs raisons: un territoire densément peuplé, un espace hétérogène par ségrégation résidentielle spatiale (DUPONT, 2004), par différents types d'habitat (BUNCH, 1997), par niveau d'infrastructure, par offre et accès aux soins de santé. C'est aussi un espace ouvert où la mobilité humaine est grande, aussi bien à l'intérieur de la ville qu'avec les villages alentour, la région et le reste du monde. Ces trois caractéristiques (densité, hétérogénéité et ouverture) doivent être prises en considération au moment du montage des enquêtes de santé (SALEM, 1998; TEIXEIRA *et al.*, 2002 b). Enfin, c'est un espace où la surveillance épidémiologique reste limitée à certaines pathologies (DEEPA *et al.*, 2003), alors que des événements sanitaires et des études ponctuelles suggèrent des conditions propices à l'émergence brutale de pathologies, comme le choléra 0139 en 1992 (DHAMODARAN *et al.*, 1995) ou de fièvres à virus chikungunya.

Étroitement liée au processus d'urbanisation, la difficile gestion de l'eau dans la métropole de Chennai pose des problèmes majeurs de santé publique et de société: pénurie d'eau potable, pollution des rivières et canaux, inondations en période de

mousson, qui sont autant de situations critiques créées en grande partie par l'homme et qui favorisent l'émergence et la persistance de pathologies liées à l'eau. La gestion de l'eau au sein de la métropole est aussi un enjeu politique de première importance, suscitant de nombreux débats (*Citizens' water forum*, 2006) et un problème journalier pour la majorité des habitants. Le stockage de l'eau à l'intérieur des habitations, parfois indispensable, favorise le développement des populations de moustiques, essentiellement *Aedes aegypti* et, de fait, les risques d'apparition de la fièvre dengue (RODHAIN, 1983). Ce processus d'urbanisation à Chennai n'est pas un processus spatial homogène, certains quartiers n'étant pas reliés au réseau de distribution d'eau, d'autres espaces urbains n'ayant pas de système d'évacuation des eaux. Il en découle ainsi des disparités de santé étroitement liées à une ségrégation spatiale (CHANDRAMOULI, 2003). Ces différences intra-urbaines sont très importantes à étudier du point de vue épidémiologique comme sociologique (REITER *et al.*, 2003).

Les maladies liées à l'eau et leurs agents infectieux

Les maladies liées à l'eau sont les maladies transmises à l'homme dont l'existence est directement ou indirectement liée à un environnement aquatique. Elles peuvent être en relation directe avec l'eau souillée dans laquelle se développe un agent infectieux (diarrhées dues à des gastro-entérites virales ou bactériennes, choléra, etc.). Elles peuvent être aussi indirectement liées à un environnement d'eaux usées et à la présence d'hôtes/vecteurs porteurs d'un germe pathogène, comme c'est le cas pour la leptospirose hémorragique dont l'agent infecte les rongeurs domestiques ou péri-domestiques qui vont, eux-mêmes, contaminer les eaux de consommation par leurs déjections (Afsaa, 2006; WHO, 2003; *Le choléra*, 2006). Enfin, les maladies infectieuses associées à l'eau peuvent être caractérisées par leur environnement aquatique et mises en relation avec différents types de collections d'eau plus ou moins saines. Les phases aquatiques (état larvaire) des différentes espèces d'arthropodes vecteurs de maladies (tels les moustiques vecteurs de filaires, de plasmodies ou d'arbovirus) possèdent des exigences, essentiellement d'ordre physiologique, qui entraînent le choix de tel ou tel milieu aquatique.

À Chennai, des études doivent porter sur la leptospirose (MUTHUSETHPATHI *et al.*, 1995), le choléra (DHAMODARAN *et al.*, 1995) et le paludisme urbain qui est reconnu depuis longtemps en Inde. Transmis par un anophèle (*Anopheles stephensi*) utilisant des puits et des citernes comme gîtes larvaires, le paludisme est endémique à Chennai, en raison de l'apport permanent de nouveaux réservoirs de *Plasmodium* que sont les populations humaines venant de zones endémiques, émigrant en ville (*Annual Action Plan*, 2003).

Parmi les arboviroses, la fièvre dengue et la fièvre due au virus chikungunya, transmises par *Aedes aegypti* et (ou) *Aedes albopictus* dominant la scène. En Asie, les virus co-circulent souvent au cours d'épisodes épidémiques comme à Nagpur, en Inde, par exemple, en 1965 (RODRIGUES *et al.*, 1972) ou à Chennai (MYERS *et al.*, 1965). Depuis le milieu des années 1950, plus de 60 épidémies de dengue ont été rapportées en Inde dans tous les États indiens (TEWARI *et al.*, 2004) avec une circulation virale possible dans différents écosystèmes du monde rural et du monde urbain (CECILIA, 2004). Une épidémie majeure de fièvre dengue et de fièvre dengue hémorragique a touché la capitale Delhi et les villes alentour en 1996-1997, puis en 2006-2007. Au cours de la première phase de cette épidémie, 423 décès ont été reportés et 10 252 cas hospitalisés (BROOR *et al.*, 1997). Dans la ville de Delhi, on a confirmé 1 978 cas en 2006, puis 505 en 2007 (*The Hindu*, 5 janvier 2008). À Chennai, la transmission s'effectue essentiellement au cours de la mousson (située, dans cette région de l'Inde, entre les mois d'août/septembre et décembre/janvier).

En Inde, des épidémies de fièvre virale à chikungunya ont été observées entre 1963 et 1965 à Kolkota et le long de la côte est jusqu'à Chennai et Pondicherry, puis dans le centre du pays entre 1965 et 2000 (MOURYA *et al.*, 2004). La dernière épidémie reconnue à Chennai remonte à 1965, mais entre décembre 2005 et avril 2006, plus de 31 000 cas se déclaraient dans l'État voisin d'Andhra Pradesh dont 10% étaient des infections mixtes dengue chikungunya selon le National Institute of Virology de Pune, Inde (MISHRA, 2004) et comme précédemment observé (RODRIGUES *et al.*, 1972). L'épidémie s'est poursuivie, a pris de l'ampleur et, entre décembre 2005 et la mi-octobre 2006, on estimait à plus de 1 350 000 le nombre de cas dans tous les États de la moitié sud du pays (*The Hindu*, 18 octobre 2006). Il n'existe pas de vaccin ou de traitement

spécifique de ces affections qui peuvent engendrer des syndromes cliniques graves (hémorragies, encéphalites, état de choc) en particulier chez l'enfant ou l'adulte jeune (BANERJEE, 1996; VIJAYAKUMAR *et al.*, 2005).

Les vecteurs

Les vecteurs des virus de la dengue et du chikungunya (DENV et CHIKV), *Aedes aegypti* et *Aedes albopictus*, se rencontrent dans les milieux urbains et ruraux. Leurs stades larvaires sont aquatiques et donc dépendants de l'existence de gîtes contenant de l'eau, qui peuvent être d'origine anthropique (objets abandonnés tels boîtes de conserves, pots, citernes, pneus, etc.) ou naturelle (trous d'arbres en particulier). Le rôle dans la transmission de nombreux virus, *in natura*, par *Ae. aegypti* est connu et prouvé depuis longtemps et *Ae. albopictus* s'est avéré responsable de l'épisode épidémique dévastateur qui a touché plus du tiers de la population humaine de l'île de la Réunion en 2005-2006 et entraîné la mort de plus de 170 personnes (DUHAMEL *et al.*, 2006). *Ae. albopictus* est un vecteur efficace d'arbovirus et peut être porteur du virus CHIK dans la nature (HAWLEY, 1988). On le soupçonne également d'avoir joué un rôle dans certaines des épidémies de dengue en Inde (MOURYA *et al.*, 2004).

Le principal vecteur du paludisme urbain, maladie endémique (donc non émergente) dans les villes indiennes, est *Anopheles stephensi* dont les gîtes larvaires favoris sont les réservoirs d'eau douce placés sur les toits des maisons (*Annual Action Plan*, 2003). La bio-écologie de cette espèce est parfaitement connue, en particulier dans un environnement urbain en changement constant, comme à Delhi (BATRA *et al.*, 2001). À Chennai, les cas de paludisme se rencontrent plus particulièrement dans le quartier de George Town, où se concentrent les travailleurs récemment immigrés de villages où le paludisme se maintient à l'état endémique.

Le climat et son rôle dans l'émergence des maladies

Les conditions climatiques jouent un rôle dans la dynamique des maladies liées à l'eau (PASCUAL *et al.*, 2002), en particulier par leur forte influence sur les populations de vecteurs dont les gîtes

larvaires sont mis en eau par les précipitations (MONDET *et al.*, 2005) ou en créant les conditions en température et humidité favorables à une bonne survie des moustiques adultes (GLASSER et GOMES, 2002). Des recherches sur le changement climatique et la santé en Inde ont montré, de manière très générale, les conséquences sur un possible accroissement des risques de transmission du paludisme et, sans doute, d'autres maladies à vecteur (PADMA, 2005; CHAKRAVARTI et KUMARIA, 2005). À Chennai, le nombre de cas de paludisme, de dengue, de choléra et de leptospirose, atteint un pic au cours de la seconde moitié de la saison des pluies. L'émergence des maladies liées à l'eau est très souvent liée aux inondations engendrées par les pluies souvent torrentielles de la mousson, en juin/juillet sur la côte sud-ouest de l'Inde (mousson du Sud-Ouest), en septembre/octobre dans la partie sud-est de l'Inde (mousson du Nord-Est). La leptospirose sévit également dans le monde entier particulièrement dans les pays tropicaux en Asie, en Amérique latine et en Afrique. Elle est également présente, avec une incidence beaucoup plus faible cependant, en Amérique du Nord et en Europe, notamment en France. En Inde du Sud, elle se manifeste régulièrement sous forme de cas d'émergence épidémique liés aux pluies de mousson comme en 2005 et 2006 dans plusieurs États du sud de l'Inde: Orissa, Gujarat, Kerala et Karnataka (JENA *et al.*, 2004; PAPPACHAN *et al.*, 2004b).

Conclusions

Nous sommes donc, en Inde du Sud, dans un milieu où de nombreuses maladies liées à l'eau peuvent exister sous forme endémique, se manifestant plus ou moins cycliquement de manière épidémique, émerger et ré-émerger de façon brutale, comme c'est le cas des arboviroses. L'intensité de telles manifestations épidémiques est fortement liée aux modifications de l'environnement urbain et au constant accroissement des densités de populations (GUPTA et MITRA, 2002). La transformation du rural à l'urbain entraîne des bouleversements des modes de vie des populations humaines et l'apparition de microclimats, liés à de nouveaux biotopes, peut devenir favorable au développement de

certaines vecteurs d'agents pathogènes (BANERJEE, 1996). L'accès aux soins, la représentation systémique du réseau de santé, les données sérologiques, les variations d'abondance spatio-temporelle des populations de moustiques, etc. sont autant de données qui suggèrent une distribution spatiale et temporelle inégale des maladies, arboviroses incluses. Il convient d'étudier l'ensemble des facteurs si l'on veut avoir une influence sur cette dynamique tant en période endémique (inter-épidémique) qu'en période épidémique (SABESAN et RAJU, 2005 ; GUPTA *et al.*, 2003) ou pour mesurer les risques d'émergence de maladies rares ou inédites. Ainsi, la connaissance puis l'analyse des changements de cet environnement multiple peuvent-elles permettre d'atteindre, dans une approche intégrée comparative, l'identification des relations existant entre ces phénomènes et les maladies liées à l'eau. Cette intrication et cette interdépendance des pathologies autour d'un facteur dominant, celui de la présence d'eau, établissent dans le milieu urbain en évolution le principe de la pathocénose qui veut que les pathologies concurrentes, dans une population délimitée, sur un territoire et à une période de temps donnés, ont des relations qualitatives et quantitatives qui les définissent. La fréquence et la distribution de chaque pathologie dépendent alors non seulement de facteurs endogènes (pouvoir infectieux, virulence, voie d'infection, type de vecteur) ou exogènes (climat, urbanisation, promiscuité humaine), mais aussi de la fréquence et de la distribution de toutes les autres pathologies présentes dans cette même population (GRMERK, 1969).

Il est clair aujourd'hui qu'il n'est pas de situation épidémiologique en équilibre stable (un des principes de la pathocénose) et l'émergence de maladies inédites le montre. Dans un contexte de développement croissant et face à la globalisation des pathologies, il est urgent de prendre en compte ces dynamiques de l'émergence dans tous les systèmes de santé et sur tous les territoires. Cette première analyse donnerait naturellement les principes déterminants et explicatifs du risque d'émergence, de la transmission et de la dissémination des agents pathogènes, pour identifier les liens existant entre ces différents phénomènes dans des écosystèmes variés et *a priori* interdépendants. On disposerait ainsi d'arguments pour orienter une recherche/enquête qui pourrait permettre de discerner les relations de causes à effets relatives à la situation

observée. L'ensemble des données participerait ainsi à l'analyse, en incluant l'allocation des ressources, l'évaluation de l'accès aux soins, la représentation systémique du réseau de santé, les données sérologiques, les variations d'abondance spatio-temporelle des populations de moustiques, les changements de l'environnement, y compris ceux du climat, l'augmentation des possibilités de transport de personnes infectées et (ou) de vecteurs contaminés, l'absence de maîtrise des problèmes liés à l'eau... qui sont, *in fine*, autant de sujet d'observation. Ces éléments doivent être pris en compte, d'extrême urgence, dans tous les systèmes de santé et par tous les responsables, face à la globalisation des pathologies.

Références bibliographiques

Afssa, 2006 – *Dossier sur les leptospiroses*. Agence française de sécurité sanitaire des aliments. Disponible sur : www.afssa.fr

Annual Action Plan, 2003 – Information formats for Urban Malaria Scheme. Annual Action Plan, Corporation of Chennai, Inde.

BANERJEE K., 1996 – Emerging viral infections with special reference to India. *Indian J. Med. Res.*, 103 (4) : 177.

BATRA C. P., ADAK T., SHARMA V. P. *et al.*, 2001 – Impact of urbanisation on bionomics of *An. culicifacies* and *An. stephensi* in Delhi. *Indian J. Malariol.*, 38: 61-75.

BECK L. R., LOBITZ B. M., WOOD B. L., 2000 – Remote Sensing and Human Health: New Sensors and New Opportunities. *Emerging Infectious Diseases*, 6 (3) : 217-226.

BOHLE H. G., 2001 – « Vulnerability and Criticality: Perspectives from Social Geography ». In IHDP Update : *Newsletter of the International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change* : 1-7.

BROOR S., DAR L., SENGUPTA S. *et al.*, 1997 – « Recent dengue epidemic in Delhi, India ». In Saluzzo J.-F., Dodet B. (eds.) : *Factors in the Emergence of Arbovirus Diseases*, Elsevier publications : 123-1217.

BUNCH M., 1997 – The Physical Ecology of Slums in Madras - A GIS Analysis of the 1986 Survey of Slums. *The Indian Geographical Journal*, 71 (1) : 12-32.

CECILIA D., 2004 – « Dengue: the re-emerging disease ». In Mishra A.C. (ed.) : *Commemorative Compendium*, Pune, India, NIV publications : 278-307.

Census of India, 2004 – Disponible sur: http://www.censusindia.net/advance_release_calendar.html

CHAKRAVARTI A., KUMARIA R., 2005 – Eco-epidemiological analysis of dengue infection during an outbreak of dengue fever, India. *Viol. J.*, 2 (1): 32.

CHANDRAMOULI I. A. S., 2003 – « Slums in Chennai: a profile ». In Bunch M. J., Suresh V. M., Kumaran T. V. (eds.) : *Proceedings of the Third International Conference on Environment and Health*, Chennai, India, 15-17 December, 2003, Chennai: Department of Geography, University of Madras and Faculty of Environmental Studies, York University : 82-88.

CHUNG Y. K., PANG F. Y., 2002 – Dengue infection rate in field populations of female *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in Singapore. *Trop. Med. Intern. Health*, 7 (4): 322-330.

Citizens' water forum, 2006 – <http://www.geocities.com/chennaiwaterforum/>
CRME, 2003 – *Annual report*, ICMR. Disponible sur: http://www.icmr.nic.in/annual/crme/2003-04/annual_report.htm

DEEPA M., PRADEEPA R., REMA M., MOHAN A., DEEPA R., SHANTHIRANI S., MOHAN V., 2003 – The Chennai Urban Rural Epidemiology Study (CURES) - Study design and methodology (Urban component) (CURES - I). *J. Assoc. Phys. India*, 51: 863-870.

DHAMODARAN S., ANANTHAN S., KUGANANTHAM P., 1995 – A retrospective analysis of the Madras epidemic of non-01 *Vibrio cholerae* new serogroup 0139 Bengal. *Indian J. Med. Res.*, 101: 94-97.

DUHAMEL G., GOMBERT D., PAUPY C., QUATRESOUS I., 2006 – *Mission d'appui à la lutte contre l'épidémie de chikungunya à la Réunion*. IGAS (Inspection générale des affaires sociales), Rapport n° 2006 012, 59 p.

DUPONT V., 2004 – Socio-spatial differentiation and residential segregation in Delhi: a question of scale ? *Geoforum*, 35: 157-175.

FOCKS D. A., BRENNER R. J., HAYES J., DANIELS E., 2000 – Transmission thresholds for dengue in terms of *Aedes aegypti* pupae per person with discussion of their utility in source reduction efforts. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 62 (1): 11-18.

GLASSER C. M., GOMES A. de C., 2002 – Clima e sobreposição da distribuição de *Aedes aegypti* e *Aedes albopictus* na infestação do Estado de São Paulo. *Rev. Saúde Pública*, 36 (2): 166-172.

GRMERK M. D. 1969 – Préliminaire d'une étude historique des maladies. *Annales ESC*, 24: 1437-1483.

GUPTA I., MITRA A., 2002 – Basic amenities and health in urban India. *Natl. Med. J. India*, 15 (4): 242-244.

GUPTA R., JAY D., JAIN R., 2003 – *Geographic Information Systems for the study and control of infectious diseases*. Map India Conference © GISDevelopment.net, disponible sur: <http://www.gisdevelopment.net/application/health/overview/mi03113.htm>

HAWLEY W. A., 1988 – The biology of *Aedes albopictus*. *J. Amer. Mosq. Control Assoc.* (sup.), 4 : 2-39.

JENA A. B., MOHANTY K. C., DEVADASAN N., 2004 – An outbreak of leptospirosis in Orissa, India: the importance of surveillance. *Trop. Med. Intern. Health*, 9 (9) : 1016-1021.

KRÖCKEL U., ROSE A., EIRAS A. E., GEIER M., 2006 – New tools for surveillance of adult yellow fever mosquitoes: comparison of traps catches with human landing rates in an urban environment. *J. Am. Mosq. Control Assoc.*, 22 (2) : 229-238.

KUMAR R., KRISHNAN S. K., RAJASHREE N. *et al.*, 2003 – Perceptions of mosquito borne diseases. *J. Epidemiol. Community Health*, 57 : 392.

Le choléra, 2006 – Disponible sur: <http://www.pasteur.fr/actu/presse/documentation/cholera.htm>

MAITI S., AGRAWAL P. K., 2005 – Environmental degradation in the context of growing urbanization: a focus on the metropolitan cities of India. *J. Hum. Ecol.*, 17 (4) : 277-287.

MISHRA A. C. (ed.), 2004 – *Golden Jubilee, Commemorative Compendium*. Pune, India, NIV Publications, 427 p.

MOHAN V., SHANTHIRANI S., DEEPA R. *et al.*, 2001 – Intra-urban differences in the prevalence of the metabolic syndrome in southern India – The Chennai Urban Population Study (CUPS No. 4). *Diabetic Medicine*, 18 (4) : 280.

MOLONEY J. M., SKELLY C., WEINSTEIN P. *et al.*, 1998 – Domestic *Aedes aegypti* breeding site surveillance: limitations of RS as a predictive surveillance tool. *Amer. J. Trop. Med. Hyg.*, 59 (2) : 261-264.

MONDET B., 1996 – Épidémiologie des arboviroses: utilisation et intérêt de la détermination de l'âge physiologique des femelles de moustiques vecteurs. *Bull. Soc. Path. Ex.*, 89 : 155-1160.

MONDET B., DIAITE A. FALL A. G., 2005 – Relations entre la pluviométrie et le risque de transmission virale par les moustiques. Cas du virus de la Rift Valley Fever (RVFV) dans le Ferlo, Sénégal. *Environnement, Risques et Santé*, 4 (2) : 125-9.

MOURYA D. T., YADAV P., MISHRA A. C., 2004 – « The current status of Chikungunya virus in India ». In *NIV, Commemorative Compendium*, Pune, NIV Publications: 265-277.

- MUTHUSETHUPATHI M. A., SHIVAKUMAR S., SUGUNA R. *et al.*, 1995 – Leptospirosis in Madras: a clinical and serological study. *J. Assoc. Physicians India*, 43 (7): 456-458.
- MYERS R. M., CAREY D. E., REUBEN R., JESUDASS E., DERANITZ C., MALATI J., 1965 – The 1964 epidemic of dengue-like fever in South India. Isolation of Chikungunya virus from human sera and from mosquitoes. *Indian J. Med. Res.*, 53: 694-701.
- PADMA T. V., 2005 – *Heat and storms ahead for India, says climate study*. Disponible sur: www.scidev.net/News/index.cfm?fuseaction=read-news&itemid=2343&language=1
- PAPPACHAN M. J., MATHEW S., ARAVINDAN K. P. *et al.* 2004a – Risk factors for mortality in patients with leptospirosis during an epidemic in northern Kerala. *Natl. Med. J. India*, 17: 240-242.
- PAPPACHAN M. J., SHEELA M., ARAVINDAN K. P., 2004b – Relation of rainfall pattern and epidemic leptospirosis in the Indian State of Kerala. *J. Epidemiol. Community Health*, 58: 1054.
- PASCUAL M. BOUMA M. J., DOBSON A. P., 2002 – Cholera and climate: revisiting the quantitative evidence. *Microbes and Infection*, 4: 237-245.
- REITER P., LATHROP S., BUNNING M. *et al.*, 2003 – Texas lifestyle limits transmission of dengue virus. *Emerging Infectious Diseases*, 9 (1): 86-89.
- RODHAIN F., 1983 – Maladies transmises par les Culicidés et urbanisation: un exemple de co-évolution. *Bull. Institut Pasteur*, 81: 33-54.
- RODRIGUES F. M., PATANKAR M. R., BARNERJEE K. *et al.*, 1972 – Etiology of the 1965 epidemics of febrile illness in Nagpur city, Maharashtra State, India. *Bull. Wild. Hlth Org.*, 46: 173-179.
- SABESAN S., RAJU K. H. K., 2005 – GIS for rural health and sustainable development in India, with special reference to vector-borne diseases. *Current Sciences*, 88 (11): 1749-1752.
- SALEM G., 1998 – *La santé dans la ville. Géographie d'un espace dense: Pikine (Sénégal)*. Éditions Karthala et Orstom, Hommes et Sociétés, 360 p.
- SALUZZO J.-F., DIGOUTTE J.-P., CHARTIER C., MARTINEZ D., BADA R., 1987 – Focus of Rift Valley fever virus transmission in southern Mauritania. *Lancet*, 1 (8531): 504.
- SAUERBORN R., ADAMS A., HIEN M., 1996 – Household strategies to cope with the economic costs of illness. *Soc. Sci. Med.*, 43 (3): 291-301.
- STRICKMAN D., KITTAYAPONG P., 2002 – Dengue and its vectors in Thailand: introduction to the study and seasonal distribution of *Aedes* larvae. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 67 (3): 247-259.

TEIXEIRA M. G., BARRETO M. L., COSTA M. C. N. *et al.*, 2002a – Sentinel areas: a monitoring strategy in public health. *Cad. Saúde Pública*, 18: 1193-1195.

TEIXEIRA M. G., BARRETO M. L., COSTA M. N. *et al.*, 2002b – Dynamics of dengue virus circulation: a silent epidemic in a complex urban area. *Tropical Medicine & International Health*, 7 (9): 757-762.

TEWARI S. C., THENMOZHI V., KATHOLI C. R., MANAVALAN R., MUNIRATHINAM A., GAJANANA A., 2004 – Dengue vector prevalence and virus infection in a rural area in South India. *Trop. Med. Intern. Health*, 9 (4): 499-507.

TRAPE J.-F., LEFEBVRE-ZANTE E., LEGROS F., NDIAYE G., BOUGANALI H., DRUILHE P., SALEM G., 1992 – Vector density gradients and the epidemiology of urban malaria in Dakar, Senegal. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 47 (2) : 181-189.

UN-Habitat, 2006 – Disponible sur: <http://www.unhabitat.org/about/challenge.asp>

VCRC, 2004 – VCRC Annual report. <http://icmr.nic.in/annual/annual.htm>

VIJAYAKUMAR T. S., CHANDRY S., NARAYANAN S. *et al.* 2005 – Is dengue emerging as a major public health problem ? *Indian Journal of Medical Research*, 121 : 100-107.

WHO, 2003 – *Human leptospirosis: guidance for diagnosis, surveillance and control*. Doc. WHO, ISBN 92 4 154589 5, 121 p.

WORK T. H., TRAPIDO H., 1957 – Kyasanur Forest Disease, a new virus disease in India: summary of preliminary report of investigations of the VRC on the epidemic disease affecting forest villagers and wild monkeys of Shimoga district, Mysore State. *India J. Med. Sci.*, 11: 341-342.

Sociétés environnements santé

Sous la direction de

Nicole VERNAZZA-LICHT

Marc-Éric GRUÉNAIS

Daniel BLEY

Sociétés environnements, santé

Sous la direction de
Nicole VERNAZZA-LICHT
Marc-Éric GRUÉNAIS
Daniel BLEY

IRD Éditions
INSTITUT DE RECHERCHE
POUR LE DÉVELOPPEMENT
Collection Objectifs Suds

Marseille, 2010

Préparation éditoriale, coordination, fabrication
Marie-Odile Charvet Richter

Mise en page
Aline Lugand – Gris Souris

Corrections
Yolande Cavallazzi

Maquette de couverture
Maquette intérieure
Aline Lugand – Gris Souris

Cet ouvrage est réalisé en collaboration avec la Société d'écologie humaine (www.ecologie-humaine.eu). Il est issu des 18^e journées de la SEH intitulées « Milieu de vie et santé. Quelles pratiques interdisciplinaires ? » qui ont eu lieu à l'université de Provence (Marseille) du 5 au 7 juillet 2006.

La loi du 1^{er} juillet 1992 (code de la propriété intellectuelle, première partie) n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article L. 122-5, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans le but d'exemple ou d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon passible des peines prévues au titre III de la loi précitée.

© IRD, 2010

ISBN : 978-2-7099-1694-3

ISSN : 1958-0975