

# Sommaire

INTRODUCTION.....	5
Paul Vergès, <i>président de l'Onerc</i>	
ACTUALITÉ DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET ACTIVITÉS DE L'ONERC DEPUIS LE RAPPORT PRÉCÉDENT.....	9
RÉSUMÉ À L'ATTENTION DES DÉCIDEURS.....	27
<b>Les maladies humaines susceptibles d'être influencées par le changement climatique en France.....</b>	<b>35</b>
<b>Changement climatique, canicules et allergies : la nouvelle donne culturelle.....</b>	<b>37</b>
Jean-Claude Cohen, <i>Météo-France</i> et Jean-Pierre Besancenot, <i>CNRS/Faculté de médecine, Dijon</i>	
<b>Changement climatique et émergences de maladies animales et humaines en France métropolitaine.....</b>	<b>57</b>
François Moutou, <i>AFSSA</i>	
<b>Impacts potentiels du changement climatique sur la santé : l'exemple des maladies à vecteurs.....</b>	<b>65</b>
François Rodhain, <i>Institut Pasteur</i>	
<b>Changement climatique et maladies infectieuses outre-mer.....</b>	<b>73</b>
Philippe Sabatier, <i>ENVL-Inra</i>	
<b>Émergence et urgence : étude de cas.....</b>	<b>89</b>
Jean-Claude Manuguerra, <i>Institut Pasteur</i>	
<b>Les conséquences sanitaires du changement climatique : synthèse médicale.....</b>	<b>97</b>
Dominique Belpomme, <i>président de la Société européenne de santé environnementale</i>	
<b>Les systèmes de surveillance et d'alerte sanitaires.....</b>	<b>105</b>
<b>Changement climatique, réseau de surveillance et veille des maladies infectieuses sur le plan national.....</b>	<b>107</b>
Jean-Claude Desenclos, <i>InVS</i>	

<b>Changement climatique, urgence et intervention rapide</b> .....	119
<i>Jean-Louis San Marco, hôpital de La Timone</i>	
<b>Changement climatique et réseau sentinelle</b> .....	129
<i>Antoine Flahault, Inserm</i>	
<b>Satellite, santé publique et gestion des risques</b> .....	137
<i>Antonio Güell, Murielle Lafaye, Pascal Faucher et Nathalie Ribeiro, Centre national d'études spatiales</i>	
<b>Les enseignements à tirer de l'épidémie du chikungunya</b> .....	149
<i>Catherine Gaud, hôpital Félix Guyon</i>	
<b>Santé publique et gestion des risques</b> .....	155
<b>Aperçu des travaux relatifs aux relations entre climat et santé au niveau international</b> .....	157
<i>Marc Gillet, directeur de l'Onerc</i>	
<b>Le changement climatique : quelles conséquences sanitaires? ...</b>	167
<i>Yves Coquin, Direction générale de la santé</i>	
<b>CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS</b> .....	171
<b>ANNEXES</b>	
Annexe 1. Les indicateurs du changement climatique en France.....	177
Annexe 2. Bibliographie .....	191
Annexe 3. Glossaire .....	199
Annexe 4. Sigles .....	203
Annexe 5. Personnes ayant contribué à la préparation du présent rapport .....	207

# Introduction

**Paul Vergès, président de l'Onerc**

Le réchauffement climatique figure désormais parmi les principales préoccupations des Français. Inquiétude légitime, face à des risques majeurs qui se précipitent au fur et à mesure que les changements climatiques s'inscrivent dans la réalité et dévoilent déjà les prémices des bouleversements redoutés.

Ce que disent les experts est très clair. Réunis en 2006 à Exeter, ils concluent que « La Terre se réchauffe à un rythme effarant. » Au plan mondial, les dix années de 1996 à 2005, à l'exception de 1996, sont en effet les plus chaudes jamais observées. En France, la température moyenne de l'année 2006 a été du même ordre que celle de 1994, elle même l'année la plus chaude depuis 1950 après 2003.

Cela corrobore ce que chacun semble discerner déjà, avec la perturbation des saisons et la multiplication des phénomènes climatiques extrêmes. En Europe même, la multiplication ces dernières années d'inondations, de tempêtes aussi soudaines que violentes, de canicules pourraient ne pas être sans lien avec le réchauffement planétaire. Les canicules d'août 2003 en France, de l'été 2007 dans de nombreux pays d'Europe centrale et du sud, les inondations en Grande Bretagne, la violence des incendies sur des terres arides mais aussi l'intensité du cyclone tropical Dean qui a dévasté les productions agricoles de la Martinique et de la Guadeloupe valent pour l'opinion toutes les démonstrations. Il n'est plus un seul jour sans que le sujet ne soit abordé par les chaînes de télévision, à la radio ou dans les grands quotidiens nationaux et régionaux.

Cela pose de redoutables défis en terme de décision politique où il est sommé d'agir face à des risques dont les contours demeurent incertains, très variables et parfois encore méconnus. Où il importe de surmonter la difficulté de trouver des réponses politiques et techniques urgentes et appropriées face à un phénomène qui se déploie sur une échelle de temps qui pourrait donner le vertige. Jamais la responsabilité des décideurs n'aura été aussi grande ! Mais rares aussi sont les tâches aussi exaltantes où tout est à inventer et réinventer dans les rapports de l'homme avec lui même comme avec la Nature. Face à ce défi immense, rien n'est encore perdu mais presque tout est encore à faire à la hauteur de ce que le changement climatique est devenu, un enjeu de civilisation.

Celui-ci dominera en effet l'existence commune des hommes sur toute la planète au cours de ce siècle et des siècles à venir. En effet, la combinaison et la simultanéité du réchauffement planétaire, des évolutions démographiques et des effets de la mondialisation ouvrent une période sans précédent, grave de menaces. Depuis la nuit des temps, le développement, l'essor mais aussi l'effondrement des civilisations sont étroitement liés à la capacité d'adaptation aux changements du climat. Comment dès lors ne pas s'interroger sur les concepts

actuels de croissance, de progrès et de développement, érigés par l'occident en modèle et qui étendus à l'échelle mondiale conduira la planète vers une impasse mortelle? En effet, qu'en sera-t-il du réchauffement planétaire lorsqu'il faudra répondre aux besoins en énergie de 9 à 10 milliards d'habitants qui peupleront la planète vers 2050 si chacun consomme autant que l'Européen d'aujourd'hui? L'extension à l'échelle mondiale des modes de production et du mode de vie occidental, fondés sur une consommation irraisonnée et inconséquente des ressources naturelles épuisables, est sans avenir. A-t-on toujours conscience que les graves fléaux qui affectent déjà la planète comme la pauvreté, les guerres, l'accès à l'eau, aux ressources risquent avec le réchauffement de la planète de s'en trouver aggravés? Il n'est pas exagéré dès lors de considérer que le changement climatique doit aujourd'hui être approché comme une question de sécurité collective, qui au même titre que le terrorisme, conditionnera la stabilité mondiale. Car c'est aussi bien la géographie de la planète, l'économie mondiale que les relations entre les Etats qui s'en trouveront bouleversés.

Ainsi, comment penser les politiques d'immigration tout en tenant compte des conclusions du Haut Commissariat aux Réfugiés qui chiffre d'ores et déjà à 15 millions le nombre de réfugiés climatiques? Ils seront près de 10 fois plus nombreux vers 2050.

Comment agir pour échapper aux famines qui s'annoncent à la lecture des chiffres de la FAO? Il faudra avant 2050 doubler la production agricole pour nourrir la population de la planète, soit un milliard de tonnes de céréales de plus par an.

Comment affronter l'ampleur des bouleversements économiques décrits dans le rapport Stern qui compare les désordres économiques que pourraient générer la dérive climatique à la grande crise de 1929?

Comment ne pas être alarmé aussi de l'inconséquence de l'espèce humaine dans son rapport au monde du vivant? Les menaces sur la biodiversité animale, végétale et marine sont d'une gravité inédite et encore trop souvent sous-estimée, à tous les niveaux. Au cours des 500 millions d'années qui se sont écoulées depuis le Cambrien, la Terre a connu 5 extinctions massives dues à des catastrophes physiques. Celle qui se prépare, la 6<sup>e</sup>, est due à l'action d'une seule espèce. Il ne faut pas sous-estimer l'extinction qui se prépare : c'est du risque de l'élimination de la moitié des plantes et des animaux dont il s'agit. A titre d'exemple, au rythme actuel des disparitions, plus un seul poisson ni crustacé ne sera disponible pour la pêche commerciale d'ici 2050, avec toutes les conséquences imaginables sur la vie humaine et la santé.

Comment ignorer encore plus longtemps les multiples alertes de l'OMS sur la résurgence des maladies tropicales en Europe du sud notamment ou l'émergence de nouveaux microbes?

Chacune de ces questions prises à titre d'exemple, aura des conséquences très concrètes en France même. Et il importe de préparer le territoire national à les affronter dans les meilleures conditions par la mise en œuvre d'un véritable

plan national d'adaptation, secteur par secteur. C'est le sens des recommandations que l'ONERC a formulé dans la stratégie nationale d'adaptation élaborée à la demande du Gouvernement et validée par le Comité Interministériel pour le Développement Durable<sup>1</sup>.

Dans le présent rapport, nous avons choisi de traiter plus en profondeur la question des interactions entre le changement climatique et la santé humaine en France métropolitaine et dans les départements et territoires d'outre-mer. Dans le domaine de la santé, la question des risques émergents est tout particulièrement préoccupante, et nos concitoyens s'interrogent à juste titre sur leurs liens possibles avec le changement climatique. Ainsi les conséquences sanitaires, économiques, sociales de l'épidémie du Chikungunya à la Réunion ont durablement marqué les esprits. Les questions dans l'opinion nationale sur l'adaptation de l'organisation sanitaire face à ces nouveaux risques sont aujourd'hui teintées d'inquiétude face à l'apparition du virus en Italie.

Nos principales recommandations concernant les aspects sanitaires sont de renforcer la recherche et l'observation systématique sur la survenance des affections liées au climat, d'en informer la population dans le cadre d'une vigilance accrue et de développer chez celle-ci la culture de la prévention.

Plusieurs catastrophes récentes ont montré ce que pouvait coûter une préparation insuffisante dans ce domaine. En premier lieu la canicule de l'été 2003 a représenté un drame sans précédent, totalement imprévu par les autorités. Or une des conclusions les plus robustes des scientifiques est que les épisodes caniculaires deviendront de plus en plus fréquents et de plus en plus intenses. Les tempêtes et les cyclones tropicaux et leurs suites constituent un second type de menace. La leçon à tirer d'un évènement extrême tel que l'ouragan Katrina, qui a frappé la Louisiane en 2005, a démontré que la désorganisation consécutive à une telle catastrophe peut avoir des conséquences dramatiques, considérablement aggravées par l'impréparation observée au niveau de l'Etat. Au delà des dommages directement causés par le déchainement des éléments, la dégradation de l'eau et les coupures d'approvisionnement sont également causes de maladies et de décès. En troisième lieu, et en dehors des évènements extrêmes, des observations simples montrent que les évolutions de température et d'humidité, et de l'environnement en général, peuvent favoriser l'extension de certains vecteurs (moustiques, phlébotomes...) transportant des maladies déjà bien connues et combattues avec un certain succès dans le passé, comme le paludisme ou la dengue.

La matière de ce rapport a été réunie essentiellement à l'occasion d'un séminaire scientifique sur le thème « Changement Climatique et Santé Humaine en France métropolitaine et outre-mer », organisé par l'Onerc, qui s'est tenu en mars 2006 à Paris et auquel ont contribué certains des chercheurs et des responsables français les plus éminents. Le but de ce séminaire était de dégager

1. Onerc, 2007 : *Stratégie nationale d'adaptation au changement climatique*, La Documentation française, 2007.

les messages les plus importants à transmettre aux décideurs. Les participants se sont efforcés de répondre aux trois questions suivantes :

- Quelles sont les maladies humaines qui peuvent être influencées par le changement climatique en France métropolitaine et dans l'outre-mer ?
- Quels sont les systèmes de surveillance et d'alerte relatifs aux maladies identifiées ?
- Quelles sont les principales actions (scientifiques ou opérationnelles) qui devraient permettre une meilleure adaptation au changement climatique ?

Par ce rapport, l'ONERC entend nourrir l'information des décideurs et porter à la connaissance du plus grand nombre les termes d'une problématique complexe, objet d'inquiétudes multiples.

Au nom du Conseil d'orientation de l'ONERC, je remercie vivement l'ensemble des éminents auteurs d'avoir bien voulu contribuer à ce travail de vulgarisation et de large diffusion de l'information scientifique.

# Actualité du changement climatique et activités de l'Onerc depuis le rapport précédent

## Le climat des années 2005 et 2006

### Au niveau global

Au plan mondial, l'année 2005 a été selon l'OMM<sup>1</sup> la plus chaude jamais enregistrée depuis 1861 en ce qui concerne la température moyenne du globe, précédant de peu l'année 1998, la différence se situant cependant dans la marge d'incertitude de ce type d'observation. Les dix années 1996 à 2005, à l'exception de 1996, sont les plus chaudes jamais observées.

Toujours selon l'OMM<sup>2</sup>, et d'après une estimation provisoire, l'année 2006 se place au sixième rang des années les plus chaudes depuis le début des relevés.

La saison des ouragans dans l'Atlantique Nord a été d'une activité exceptionnelle en 2005, avec un record de 26 tempêtes baptisées. Parmi celles-ci, quatorze ont atteint le stade d'ouragan et sept celui d'ouragan majeur (catégorie 3 ou plus). En Amérique centrale et Caraïbes, les dommages les plus importants ont été provoqués par *Dennis, Emily, Stan, Wilma et Beta*. *Katrina* a été l'ouragan le plus meurtrier aux États-Unis depuis 1928, avec 1 300 victimes, la plupart dans les États de Louisiane et du Mississippi, et des dommages évalués au total à 100 milliards de dollars, dont 50 couverts par les assurances. Par ailleurs l'ouragan *Wilma* a été le cyclone tropical le plus violent jamais observé en Atlantique.

Pour la première fois, un cyclone de catégorie 5, *Ingrid*, a frappé l'Australie en mars 2005. Il convient toutefois de remarquer que dans le Pacifique nord-est, l'activité cyclonique est demeurée en 2005 inférieure à la moyenne. Le typhon le plus meurtrier dans cette région a été *Talim*, avec 150 victimes dans le sud-est de la Chine, et des dommages matériels considérables.

1. Communiqués de presse OMM – n° 743 du 15 décembre 2005.  
2. Communiqués de presse OMM – n° 768 du 14 décembre 2006.

En 2006, le nombre de cyclones est resté en dessous de la moyenne. Les typhons qui ont atteint les côtes chinoises ont cependant fait plus de mille victimes et entraîné des pertes économiques estimées à 10 milliards de dollars EU. Le typhon *Durian* a touché près de 1,5 million de personnes aux Philippines en novembre et décembre 2006, faisant plus de 500 victimes sans compter les disparus.

La pire sécheresse depuis soixante ans a affecté l'Amazonie et le centre du Brésil en 2005 et 2006, avec des niveaux d'eau extrêmement bas dans les cours d'eau et des dommages considérables pour les récoltes, la faune aquatique et l'environnement en général.

### En France

En France métropolitaine, l'année 2005 a été relativement tempérée. Ce n'est pas le cas pour 2006. D'après Météo-France, avec une température moyenne supérieure de 1,1 °C à la normale, l'année 2006 se situe en France métropolitaine au troisième rang des années les plus chaudes depuis 1950, derrière 2003 (+1,3 °C), 1994 (+1,2 °C) et à égalité avec 2002 et 2000. L'épisode caniculaire qui a affecté le pays durant trois semaines en juillet ainsi que l'automne exceptionnellement doux ont largement contribué à cette situation, compensant un premier trimestre relativement frais.

## Quelques éléments remarquables dans le monde

### L'ouragan Katrina

Les dommages consécutifs à l'ouragan *Katrina* sont hélas bien connus, ainsi que les interrogations qui ont suivi sur l'organisation de l'évacuation, des secours, de la réparation des dommages. La qualité indéniable de la prévision météorologique et de l'information du public n'a pu être mise à profit par une catégorie de la population qui ne disposait pas des moyens ou des assurances de sécurité nécessaires pour évacuer la zone sinistrée, et n'a pas bénéficié de l'assistance qui aurait été indispensable pour quitter les lieux menacés. Cette catastrophe a également mis en évidence l'insuffisance des budgets alloués pour le renforcement des digues là où cela s'avérait nécessaire.

Cet événement a bien entendu contribué à relancer les interrogations du public sur le lien possible entre l'augmentation de l'intensité des cyclones tropicaux et le changement climatique. Toutefois, s'il semble bien établi que les cyclones violents ont été bien plus nombreux ces quinze dernières années que les quinze précédentes (cf. tableau 1), les experts qui ont mis en évidence cette augmentation ne vont pas jusqu'à l'attribuer aux changements climatiques.

**Tableau 1. Nombre de cyclones tropicaux de catégories 4 et 5 sur deux périodes de 15 ans (1975-1989 et 1990-2004)**

Bassin	1975-1989		1990-2004	
	Nombre	%	Nombre	%
Pacifique Est	36	25	49	35
Pacifique Ouest	85	25	116	41
Atlantique Nord	16	20	25	25
Pacifique Sud-Ouest	10	12	22	28
Indien Nord	1	8	7	25
Indien Sud	23	18	50	34
<b>Total</b>	<b>171</b>		<b>269</b>	

Source : d'après Curry et al., 2006.

## Le rapport Stern

Le gouvernement britannique a commandé en juillet 2005 une revue des aspects économiques du changement climatique, qui a été conduite sous la responsabilité de Sir Nicholas Stern. Cette revue a duré plus d'un an et mobilisé plusieurs dizaines d'économistes et de scientifiques. Sa conclusion principale est que les avantages que présente une action de prévention ferme et précoce l'emportent de loin sur les coûts économiques de l'inaction.

Sur la base des résultats de modèles économiques, la revue estime que si l'on ne réagit pas, les coûts et les risques globaux du changement climatique entraîneront à une perte d'au moins 5 % du PIB mondial chaque année, dès aujourd'hui et sans limite de durée. Si l'on prend en compte un éventail plus vaste de risques et de conséquences, les estimations des dommages pourraient s'élever à 20 % du PIB ou davantage. En revanche, les coûts des actions d'atténuation, c'est-à-dire essentiellement de réduction des émissions de gaz à effet de serre, qui permettraient d'éviter les conséquences les plus graves du changement climatique pourraient se limiter à environ 1 % du PIB mondial annuel. Les coûts nécessaires pour stabiliser le climat sont importants mais restent gérables; un retard serait bien plus coûteux et surtout dangereux.

L'ensemble des études détaillées, sur les conséquences au niveau régional et sectoriel des changements de schémas climatiques jusqu'aux modèles économiques des effets à l'échelon planétaire, indiquent que le changement climatique aura des conséquences sérieuses sur la production mondiale, sur la vie humaine et sur l'environnement même pour des niveaux relativement modérés de réchauffement. Tous les pays seront affectés. Les plus vulnérables – les pays et populations les plus pauvres – seront les premiers à en souffrir et ceux qui en souffriront le plus. Les coûts des dommages des événements météorologiques extrêmes (dont les inondations, les sécheresses et les tempêtes) augmentent d'ores et déjà, y compris pour les pays riches.

L'adaptation au changement climatique – c'est-à-dire l'adoption de mesures destinées à réduire la vulnérabilité aux effets du climat – est présentée comme

essentielle. En effet, quelles que soient les politiques d'atténuation adoptées, leurs conséquences sur la dérive du climat ne se feront pas réellement sentir avant deux ou trois décennies. Il est encore possible de protéger dans une certaine mesure nos sociétés et nos économies des conséquences déjà inévitables de cette évolution, par exemple en fournissant une meilleure information, en mettant en œuvre une planification optimisée ou en faisant évoluer la production agricole et les caractéristiques des infrastructures afin de les rendre plus aptes à faire face au climat. Cette adaptation coûtera des dizaines de milliards de dollars par an dans les pays en développement, dont les ressources sont déjà limitées. Il conviendrait donc de promouvoir les efforts d'adaptation, notamment dans les pays en développement.

Le rapport confirme les résultats du Giec selon lesquels les risques des conséquences les plus graves du changement climatique pourraient être considérablement réduits si l'on parvenait à stabiliser les niveaux de gaz à effet de serre dans l'atmosphère entre 450 et 550 ppm en équivalent CO<sub>2</sub>. À long terme, une telle stabilisation exige que les émissions mondiales annuelles soient ramenées à moins de la moitié de leur valeur actuelle.

La revue insiste également sur le fait que la prévention du changement climatique créera des possibilités commerciales importantes, à mesure que de nouveaux marchés se créent dans les technologies énergétiques et les biens et services sobres en carbone. Ces marchés pourraient se développer et brasser des centaines de milliards de dollars chaque année, avec des créations d'emploi importantes dans ces secteurs.

Nous ne sommes donc pas placés devant une alternative entre prévenir le changement climatique et promouvoir la croissance et le développement. Les évolutions observées dans les technologies énergétiques et dans la structure des économies ont ouvert de nombreuses possibilités. En outre, si l'on ne tient pas compte du changement climatique, cela portera à terme préjudice à la croissance économique. Le rapport propose une gamme d'options pour réduire les émissions, qui nécessitent cependant pour être mises en œuvre une action gouvernementale ferme et délibérée. Le changement climatique en effet est présenté comme le plus grave échec de l'économie de marché que le monde ait jamais connu.

Le rapport propose également quatre éléments clefs qui devront être pris en compte par les accords internationaux à venir :

- l'échange des droits d'émissions ;
- la coopération technologique ;
- l'action en vue de réduire la déforestation ;
- l'adaptation.

### **Le film d'Al Gore « Une vérité qui dérange »**

Ce film très pédagogique est également très précis et solide dans la présentation des faits. Il reprend fidèlement les principales conclusions du troisième

rapport d'évaluation du Giec, en mettant ces messages à la portée d'un nombre accru de personnes. Il montre notamment que la prétendue polémique sur la réalité du changement climatique et sur son origine humaine n'existe pas dans le milieu scientifique, puisque aucune publication scientifique ne met en avant d'explication alternative fondée. Il présente également de manière très concrète les conséquences du changement climatique ainsi que la nécessité et l'urgence de mettre en œuvre les mesures de prévention.

L'effet de ce film sur la sensibilisation du public et surtout des décideurs a été considérable. En France, il a fait l'objet de très nombreuses présentations, notamment à l'initiative de collectivités territoriales.

### Les avancées de la CCNUCC

La 12<sup>e</sup> Conférence des parties à la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC) qui s'est tenue à Nairobi du 6 au 17 novembre 2006 a décidé du lancement du « Programme de travail de Nairobi sur les impacts, la vulnérabilité et l'adaptation aux changements climatiques ». Il s'agit d'un programme technique pour permettre à tous les pays, mais surtout les plus pauvres, de se préparer pour faire face aux changements climatiques.

Une première phase d'activités se déroulera à partir de 2007 et prévoit : une aide aux PED dans l'évaluation de leur vulnérabilité, un renforcement du recueil de données sur le changement climatique (observation) et leur traduction sous forme de modélisation, l'évaluation et la gestion des risques, une estimation de l'impact socio-économique, la planification et la mise en œuvre de pratiques en matière d'adaptation.

Une seconde phase d'activités sera définie en 2008, portant la durée totale de ce programme à cinq ans.

Par ailleurs, les modalités de fonctionnement du fonds du protocole de Kyoto pour l'adaptation (alimenté par le prélèvement de 2 % sur les crédits du mécanisme pour un développement propre) ont été définies. Un processus a été lancé pour définir la gestion du fonds en 2007, qui devrait échoir au Fonds de l'environnement mondial.

### Les travaux du Giec

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec) achève son 4<sup>e</sup> rapport d'évaluation en 2007, rendu public selon le calendrier suivant :

- 2 février, Groupe I : Aspects scientifiques de l'évolution du climat
- 6 avril, Groupe II : Impacts, vulnérabilité, adaptation
- 4 mai, Groupe III : Atténuation
- 16 novembre : Rapport de synthèse

Le quatrième rapport d'évaluation du Groupe I du Giec, qui a été approuvé à Paris le 2 février 2007 (IPCC, 2007a), reste dans la lignée des rapports précédents en précisant de nombreux points qui faisaient encore débat et en réduisant les incertitudes. La concentration de l'atmosphère en dioxyde de carbone continue d'augmenter rapidement, puisqu'elle était de 379 ppmv en 2006, pour 280 ppmv à l'époque préindustrielle. Par ailleurs, il est bien établi maintenant que les causes non humaines de réchauffement, si toutefois elles interviennent, ont un rôle faible dans ce réchauffement : l'influence solaire est sans doute en termes de forçage radiatif au moins dix fois plus faible que celle de l'homme, et les imprécisions dans l'évaluation de la température globale dues aux îlots de chaleur urbains sont négligeables. Les estimations pour le réchauffement global d'ici à 2100 se situent entre 1,1 et 6,4 °C et celles de la montée du niveau de la mer entre 18 et 59 cm. On s'attend à des augmentations des précipitations aux latitudes élevées, et à des diminutions dans la plupart des régions émergées subtropicales, allant jusqu'à 20 % pour un scénario d'émissions médian. Il est très probable que les chaleurs extrêmes et les événements de fortes précipitations continueront à devenir plus fréquents. Il est vraisemblable que les cyclones tropicaux futurs seront plus intenses, aussi bien en ce qui concerne les vents que les précipitations. On prévoit également une poursuite de l'acidification des océans. Heureusement, il est très improbable que la circulation thermohaline des océans subisse une transition importante et brusque au cours du XXI<sup>e</sup> siècle.

### L'Europe se mobilise

Après avoir financé de très nombreux projets de recherches sur les impacts, la vulnérabilité et l'adaptation, la Commission européenne a présenté un **Livre vert sur l'adaptation**, dans le cadre du Programme européen sur le changement climatique. Il s'agit d'un document qui expose la vision d'ensemble de la Commission sur le sujet, et le rôle qu'elle pourrait assurer dans sa prise en compte au niveau des politiques communes. La stratégie en projet a pour objectif de soutenir au mieux les efforts locaux, régionaux et nationaux en vue d'accroître la résilience aux conséquences du changement climatique. Les aspects suivants ont été passés en revue :

- Cycle de l'eau, gestion des ressources en eau, événements extrêmes.
- Ressources marines, littoral, tourisme.
- Santé humaine.
- Agriculture et foresterie.
- Biodiversité.
- Planification régionale, patrimoine bâti, énergie, fonds structurels.
- Planification urbaine et construction.
- Développement et coopération.

- Rôle de l'industrie de l'assurance.
- Stratégies nationales d'adaptation (rapports des pays).

La Commission européenne a étroitement associé l'Onerc aux travaux engagés pour l'élaboration du Livre vert.

### Les travaux de l'Assemblée nationale en France

L'Assemblée nationale a conduit des travaux importants sur le changement climatique dans le cadre d'une Mission d'information sur l'effet de serre. Conduite par les députés Jean-Yves Le Déaut (président) et Nathalie Kosciusko-Morizet (rapporteuse), la mission a procédé à de nombreuses auditions en France, en Europe et à l'étranger. Dans son rapport, elle lance un « cri d'alarme » pour que le changement climatique soit approché à la hauteur de ce qu'il est devenu, « le défi principal que nous avons à relever au cours de ce siècle. » Elle met également en lumière des priorités d'action en insistant sur la nécessité de développer une politique globale d'adaptation.

La mission a procédé le mercredi 30 novembre 2005 à l'audition de Paul Vergès, président de l'Onerc.

## Les avancées de la recherche en France

Sur une proposition initiale de l'Onerc, à l'occasion de la tenue à Paris de la session plénière du groupe de travail 1 du Giec, l'Institut national des sciences de l'univers a publié récemment un livret faisant le point sur les résultats récents de la recherche française en matière de sciences du climat (Joussaume *et al.*, 2006). La suite de ce chapitre emprunte largement au texte de ce livret.

**L'observation *in situ*** ou depuis l'espace de l'état de la planète a été développée avec notamment la mise en œuvre de nouveaux systèmes d'observation à long terme, afin de mieux quantifier l'évolution de l'atmosphère, de l'océan, des glaces et des surfaces continentales. La connaissance des émissions de gaz à effet de serre et des effets des aérosols a été améliorée. Le suivi de l'élévation du niveau de la mer et sa modélisation ont également progressé, notamment avec l'utilisation des données satellite. De nombreuses observations nouvelles sont également disponibles sur le rôle de la biosphère marine.

**L'étude de la variabilité** des climats actuel et passé, indispensable pour mieux comprendre les mécanismes de fonctionnement du climat et ainsi améliorer les modèles climatiques, a été poursuivie. Les modes de variabilité du secteur de l'Atlantique Nord et des tropiques font l'objet de travaux d'analyse et de campagnes sur le terrain. Une campagne de mesures très importante, AMMA, se

déroulera sur le continent africain et l'océan environnant à partir de 2007. Par ailleurs, l'examen de carottes glaciaires, de sédiments ou d'autres archives climatiques permet d'aborder les climats passés, du dernier millénaire jusqu'aux cycles glaciaires-interglaciaires.

Un effort important a été mené par la communauté française pour poursuivre le développement des modèles de climat et participer à l'élaboration de simulations autour de différents scénarios pour le quatrième rapport du Giec. Les modèles du CNRM et de l'IPSL ont été améliorés et la connaissance de nombreux mécanismes physiques approfondie. Ainsi, les études menées dans le cadre du projet international C4MIP, coordonné par la France, de comparaison de modèles couplés climat-carbone et forcés en émission de CO<sub>2</sub> montrent toutes une accélération de l'augmentation du CO<sub>2</sub> qui se traduit par une concentration plus élevée de 20 à 200 ppm en 2100. Cette accélération induit un réchauffement supplémentaire d'environ 1,5 °C par rapport aux estimations faites à l'aide des modèles traditionnels. Enfin, le territoire métropolitain français a fait l'objet d'études spécifiques en termes d'analyse et de prévision.

Les travaux de recherche sur les **impacts du changement climatique** sur la biosphère marine et terrestre et sur la santé des populations ont été intensifiés, en lien avec la mise en évidence progressive du réchauffement global au niveau de la France et de ses premiers effets observables sur les écosystèmes et les activités humaines. L'épisode de sécheresse/canicule de l'été 2003 a notamment fait l'objet d'études approfondies.

**L'analyse socio-économique** des impacts du changement climatique et de diverses stratégies de réduction des émissions de gaz à effet de serre a également été développée afin d'éclairer les politiques publiques en matière de décision.

**Deux programmes de recherches** multidisciplinaires financent des contrats de recherches sur le changement climatique. Le programme « Gestion et impacts du changement climatique » (GICC) du MEDD s'intéresse à l'ensemble de la problématique du changement climatique, y compris les impacts, la vulnérabilité et l'adaptation. Le programme de l'ANR « Vulnérabilité : milieux et climat » qui vise à renforcer la production scientifique nationale, à engendrer des connaissances utiles pour l'action publique et à renforcer les capacités françaises dans les négociations internationales sur la thématique du changement global. Ce programme s'adresse aux équipes proposant de développer des recherches fondamentales ou partenariales sur la problématique de la vulnérabilité des compartiments essentiels de notre environnement, face au changement climatique et à la pression anthropique.

## Émergence d'un intérêt des collectivités territoriales pour les questions relatives aux impacts, à la vulnérabilité et à l'adaptation

Au cours de la période considérée, les collectivités territoriales françaises ont organisé de nombreuses rencontres sur les questions relatives aux impacts, à la vulnérabilité et à l'adaptation. On trouvera ci-dessous les principales manifestations auxquelles l'Onerc a contribué.

Du 3 au 4 février 2006	Marseille	Séminaire Onerc/CRPM : « Littoral en danger »	<a href="http://www.onerc.gouv.fr">www.onerc.gouv.fr</a>
Octobre 2006 à janvier 2007	Paris	Élaboration du Plan climat de Paris. Organisé par la mairie de Paris	<a href="http://www.environnement.paris.fr">www.environnement.paris.fr</a>
Du 11 au 13 octobre 2006	Angers/Nantes	4 <sup>e</sup> Assises du développement durable – atelier sur l'adaptation	<a href="http://www.andd.fr">www.andd.fr</a>
21 novembre 2006	Paris, région Île-de-France	S'adapter aux changements climatiques : un enjeu pour les collectivités. Organisé par la région Île-de-France	<a href="http://www.reseau-ideal.asso.fr/climat/index.htm">http://www.reseau-ideal.asso.fr/climat/index.htm</a>
Du 11 au 13 décembre 2006	Fort-de-France	Changement climatique : la Caraïbe en danger ! Organisé par l'Onerc et le conseil régional de la Martinique	<a href="http://www.onerc.gouv.fr">www.onerc.gouv.fr</a>

## Les activités de l'Observatoire en 2006

On trouvera ici la description des principales actions de l'Onerc au cours de l'année 2006.

### Mise en œuvre du réseau de correspondants et de la base de données

Il s'agit de la tâche prioritaire de l'Onerc : le réseau et la base de données permettent de rassembler et d'interpréter les informations relatives aux impacts déjà observés et possibles dans le futur, afin de les porter à la connaissance des décideurs et du public.

L'ensemble de ces développements a été réalisé avec le concours de GIP Médias-France dans le cadre d'un marché conclu le 23 mai 2005 et reconduit le 23 mai 2006. À travers le réseau constitué avec les organismes scientifiques et opérationnels concernés, un certain nombre d'indicateurs sont développés pour être présentés sur le site internet de l'Onerc : [www.onerc.gouv.fr](http://www.onerc.gouv.fr).

Une convention-cadre a également été signée le 5 décembre 2006 avec Météo-France, qui précise les modes de coopération et d'échange d'informations.

### Base de données indicateurs

Les indicateurs proposés par l’Onerc font l’objet d’une description rigoureuse, validée par l’organisme assurant sa production, par Médias-France et par l’Onerc et sont destinés à être mis à jour chaque année. Ils sont à la disposition du public, sous forme graphique et numérique et pourront être utilisés par tous. Les indicateurs actuellement disponibles sont présentés dans le tableau 2. Chacun d’eux fait l’objet d’une fiche de présentation dans l’annexe 1.

**Tableau 2. Indicateurs des effets du réchauffement climatique présentés sur le site internet de l’Onerc : [www.onerc.gouv.fr](http://www.onerc.gouv.fr)**

Indicateur	Provenance	Paramètre Physique	Activité socio-économique	Milieu Sanitaire	Support Sanitaire
 Températures moyennes	Météo France	Température			Air
 Températures en lacs et étangs	Météo France	Température			Air
 Températures de surface de la mer	Météo France	Température	Tourisme	Littoral et mer	Eau
 États de développement de la vigne en France	MMA - Gersac		Agriculture		
 Nombre de jours de gel	Météo France	Température			Air
 Nombre de journées estivales	Météo France	Température			Air
 Front d'avancement de la culture précocissime de blé	MMA - Orléans		Agriculture	Forêt	Statistiques
 Dates de vendanges à Saint-Etienne (Gersac, France)	MMA - Bordeaux		Agriculture		
 Dates de vendanges en Côte d'Or (France métropolitaine)	Météo France		Agriculture		
 Dates de vendange et dates de vendanges en Champagne	Centre Interprofessionnel des Vins de Champagne		Agriculture		
 États de moule des glaciers, torrents, forêts	ONERC	Précipitation		Montagne	Eau

### Simulations de l’évolution du climat local au XXI<sup>e</sup> siècle

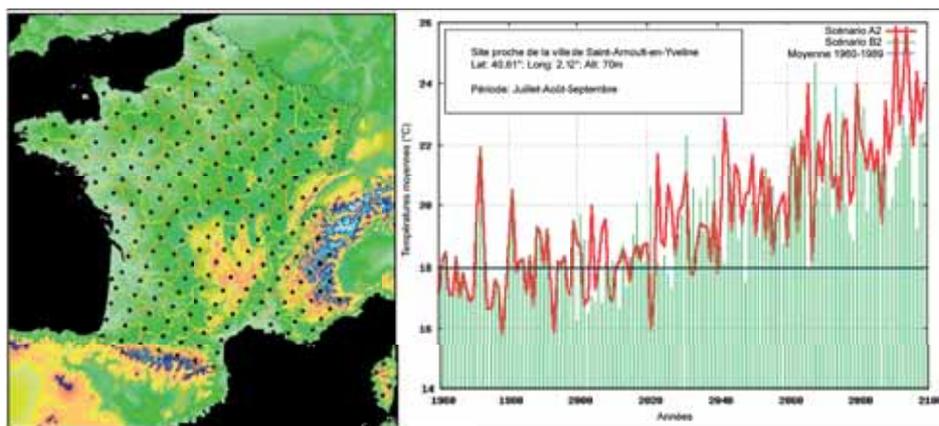
La connaissance des conséquences à venir du changement climatique, et par conséquent des mesures d’adaptation envisageables, exige de disposer au préalable d’une description aussi précise que possible des conditions climatiques passées, présentes et futures. Il est donc nécessaire d’être en mesure de proposer, au niveau local, des simulations climatiques de court et long terme, et

des méthodologies de quantification des impacts ainsi qu'une analyse globale de leurs incidences sur l'homme et sur la nature.

Un séminaire a été organisé le 4 novembre 2004 en liaison avec le programme GICC du ministère de l'Écologie et du Développement durable (MEDD), qui a réuni trente-trois chercheurs, réalisateurs ou usagers de simulations climatiques. À la suite de cela, en liaison avec l'Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL), Météo-France et Médias-France, l'Onerc a mis en place une base de données proposant deux simulations d'évolution du climat pour le présent siècle, fondées sur des scénarios d'émissions de gaz à effet de serre B2 et A2 du Giec. De nombreuses données (températures, pluviométrie, humidité du sol...) sont également consultables sur le site internet [www.onerc.gouv.fr](http://www.onerc.gouv.fr), reproduisant le climat simulé en un lieu donné à choisir en France métropolitaine (cf. figure 1). Ces simulations seront enrichies à terme avec les nouvelles simulations effectuées par Météo-France et par l'IPSL dans le cadre de leurs contributions au 4<sup>e</sup> rapport d'évaluation du Giec.

Par ailleurs, une étude a été commandée en 2004 au CIRED, à l'IEPE et au LMD en vue de produire une description des éléments socio-économiques globaux sous-tendant les scénarios d'émissions de gaz à effet de serre. On pourrait se donner comme objectif à terme de produire en complément des simulations climatiques de l'Onerc des scénarios socio-économiques régionalisés sur la France, cohérents avec les profils d'émissions retenus pour ces simulations. Une telle étude, de grande ampleur, reste à définir.

**Figure 1. Simulations de la température moyenne pour les mois de juillet-août-septembre sur la région de Saint-Arnoult-en-Yvelines, entre 1960 et 2100**



Ces simulations ont été réalisées par Météo-France sur l'ensemble des points portés sur la carte de France figurant à gauche de la figure et sont accessibles sur le site [www.onerc.gouv.fr](http://www.onerc.gouv.fr), qui fournit également les explications nécessaires à leur interprétation.

## Séminaire scientifique « Changement climatique et santé humaine »

Un séminaire sur le thème « Changement climatique et santé humaine en France métropolitaine et outre-mer », organisé par l'Onerc, s'est tenu le mercredi 15 mars 2006 à Paris. Ce séminaire scientifique avait pour but de dégager les messages importants à faire passer ultérieurement aux décideurs (politiques et managers) sur le thème retenu. Les participants se sont efforcés de répondre aux trois questions suivantes :

1 – Quelles sont les maladies humaines qui peuvent être influencées par le changement climatique en France métropolitaine et d'outre-mer ?

2 – Quels sont les systèmes de surveillance et d'alerte relatifs aux maladies identifiées dans la première question ?

3 – Quelles sont les principales actions aux niveaux scientifique et opérationnel qui devraient permettre une meilleure adaptation au changement climatique ?

Les orateurs et participants appartenaient notamment au ministère de l'Écologie et du Développement durable, à Météo-France, à l'Inra/ENVL, à l'Institut Pasteur, à l'Inserm, à l'AFSSA, au CNES, à l'InVS, à l'IRD, à l'EID, à Médias-France, à des CHU... et constituaient un groupe multidisciplinaire d'experts sur le thème retenu.

Les résultats de ce séminaire ont fourni l'essentiel de la matière pour le présent rapport de l'Onerc au Premier ministre et au Parlement.

## Information des décideurs et du public

- *Publications récentes*

« Recensement des études concernant les effets du climat et du réchauffement climatique sur les espaces de montagne en France métropolitaine », Note technique Onerc, n° 4.

Plaquette sur les conséquences du réchauffement climatique en France.

Actes du colloque « Littoral en danger : comment les régions maritimes s'adapteront-elles au climat à venir ? », Marseille, 3 et 4 février 2006.

*Stratégie nationale d'adaptation au changement climatique*, La Documentation française, Paris, 2007.

- *Exposition itinérante*

Une exposition itinérante a également été réalisée, sous forme de onze panneaux auto portables, présentant les conséquences du changement climatique et l'adaptation à celles-ci. Le programme des présentations de cette exposition figure en annexe.

- *Site internet de l'Onerc : [www.onerc.gouv.fr](http://www.onerc.gouv.fr)*

Ce site, ouvert en 2004, est enrichi depuis le début de l'année 2006 par les flux d'information issus de la mise en œuvre du réseau de correspondants et de la base de données. Il comprend un sous-ensemble institutionnel, d'une part, et un accès à la base de données, d'autre part.

La partie institutionnelle présente un bref éditorial et propose les accès suivants :

- Actualité
- Climat observé et futur
- Présentation de l'Onerc
- Informations utiles
- Documentation
- Calendrier

La partie « base de données », développée et exploitée par le GIP Médias-France, est accessible sous la rubrique « Climat observé et futur » et présente les éléments décrits plus haut :

- des indicateurs du changement climatique tel qu'il est constaté aujourd'hui, au travers d'observations rassemblées et analysées par des organismes scientifiques français ; ces indicateurs témoignent de changements déjà importants (voir annexe 1) ;
- des simulations du changement climatique futur, établies à l'aide de plusieurs modèles climatiques français. Ces modèles calculent l'évolution de paramètres physiques (température, pluie...) sur la base des scénarios socio-économiques à l'échelle du globe proposés par le Giec (scénarios dits SRES). Ces derniers apportent les éléments nécessaires pour estimer au cours du temps la concentration dans l'atmosphère des gaz à effet de serre en fonction d'hypothèses portant notamment sur la croissance de la population mondiale et les développements économiques associés ;
- une bibliographie pour ceux qui souhaitent approfondir leur connaissance du sujet.

- *« Littoral en danger : comment les régions maritimes s'adapteront-elles au climat à venir ? », Marseille, 3 et 4 février 2006*

Ce colloque, organisé en collaboration avec la Conférence des régions périphériques maritimes d'Europe (CRPM), la région Réunion et la région Provence-Alpes-Côte-d'Azur s'adressait aux représentants des 151 régions périphériques et ultrapériphériques maritimes d'Europe, dans l'objectif d'analyser toutes les conséquences des changements climatiques sur ces régions et les stratégies d'adaptation à adopter. Le colloque s'est déroulé sur une journée et demie et a réuni 150 participants. La réunion était ouverte par une allocution du président de la région PACA, Michel Vauzelle, et par le délégué interministériel au développement durable, Christian Brodhag. Une première synthèse de ce qui est en jeu et des réponses que la communauté internationale a déjà apportées a d'abord été effectuée, suivie de ce qui se fait aujourd'hui au niveau national

en termes d'adaptation aux conséquences du changement climatique, en particulier sur la connaissance, le suivi et la diffusion des informations. Un panorama des principaux instruments communautaires disponibles et prévus pour aider les régions à faire face aux conséquences du changement climatique a été brossé. Ce panorama inclut l'information *via* les études réalisées par l'ORATE, les priorités de financements dans le cadre de la future politique de cohésion ainsi que les stratégies thématiques et territoriales telles que la stratégie d'aménagement intégré des zones côtières.

Les conclusions ont été présentées par le président de l'Onerc, Paul Vergès.

- **Colloque « Changement climatique : la Caraïbe en danger! »**

Le conseil général de la Martinique et l'Onerc ont organisé en partenariat un colloque international sur le réchauffement climatique dans la Caraïbe, qui s'est tenu à Fort-de-France du 11 au 13 décembre 2006. Cette manifestation, intitulée « Changement climatique : la Caraïbe en danger! » était placée sous le haut patronage du Président de la République. Cette initiative a reçu le soutien du gouvernement français (ministères de l'Outre-Mer, des Affaires étrangères et du Tourisme) et de l'Association des États de la Caraïbe.

Il s'agissait de préciser la réalité des changements climatiques dans la Caraïbe, de décrire leurs conséquences prévisibles sur les économies de la région et enfin de faire le point sur les mesures d'adaptation mises en œuvre ou à prévoir dans la zone.

Ces trois journées de travail étaient destinées aux représentants élus, aux techniciens et universitaires de la Grande Caraïbe ainsi qu'aux associations concernées par la lutte contre les conséquences du réchauffement climatique. Elles étaient ouvertes aux membres des institutions nationales et communautaires ainsi qu'aux représentants des organisations caribéennes travaillant sur cette question.

### **Recommandations de l'Onerc pour l'adaptation et adoption de la stratégie nationale d'adaptation**

Au cours de sa réunion du 2 juin 2006, le conseil d'orientation de l'Onerc a adopté un document de recommandations sur l'adaptation, qui a ensuite été rendu public et peut être trouvé sur le site internet de l'Observatoire.

Ces recommandations ont été prises en considération dans la préparation du Plan climat 2006, qui propose en outre quelques mesures concrètes dans ce domaine.

Les recommandations de l'Onerc ont été validées par le comité interministériel pour le développement durable réuni le 13 novembre 2006 par le Premier ministre, et constituent donc la *Stratégie nationale d'adaptation* (Onerc, 2007).

## Actions territoriales

Les conséquences du changement climatique concernent au premier chef les niveaux local et régional, qui en souffriront le plus directement, et se trouvent être généralement les mieux à même d'évaluer leur vulnérabilité ainsi que les actions à entreprendre pour la réduire. Par ailleurs, les phénomènes en cause sont souvent trop spécifiques et localisés pour être approchés par un organisme de niveau national (par exemple, des écosystèmes très spécifiques, des décisions d'urbanisme au niveau des agglomérations, une industrie touristique locale...). Une approche au niveau local ou régional sera souvent plus aisée, tout en conservant une possibilité d'intégration géographique généralement suffisante. Le développement d'études et d'évaluations régionalisées serait favorisé par la création de structures régionales, qui pourraient être animées par des observatoires dédiés, contribuant au réseau de l'Onerc.

Les principales actions de l'Onerc vers les collectivités territoriales en 2006 ont été les suivantes :

- Organisation d'une rencontre les 3 et 4 février à Marseille, en collaboration avec la Conférence des régions périphériques maritimes d'Europe (CRPM), la région Réunion et la région Provence-Alpes-Côte-d'Azur, sur les conséquences des changements climatiques sur ces régions et les stratégies d'adaptation à adopter.
- La préparation d'un cahier des charges type pour des études de cadrage des conséquences du changement climatique au niveau régional, qui peut être ensuite adapté en fonction des besoins locaux ; ce document a été transmis à divers correspondants régionaux (Bourgogne, Poitou-Charentes, Nord-Pas-de-Calais...).
- Une convention est en cours avec l'université de Tours, pour effectuer une analyse de la gestion territoriale du changement climatique à partir des politiques régionales.
- Deux conventions ont été conclues avec deux communes de Bretagne, Le Ferré et Romagné, afin d'examiner la prise en compte des conséquences du changement climatique dans la préparation de leurs plans locaux d'urbanisme.
- Une convention a été signée avec le conseil régional de la Réunion engagé dans l'élaboration d'un Plan Climat Territorial. L'Onerc est chargé d'apporter une assistance et une expertise pour l'élaboration d'un volet adaptation.
- L'Onerc est partie prenante dans le projet ClimChAlp de la Direction générale région de la Commission européenne, en coopération notamment avec la région Rhône-Alpes et plusieurs régions d'Europe ; l'objectif du projet est d'évaluer les conséquences du changement climatique sur les Alpes.
- Une consultation a été lancée fin 2005 vers les collectivités d'outre-mer, afin de réaliser des études intégrées des conséquences du changement climatique dans les zones côtières. Deux propositions ont été sélectionnées en janvier 2006. L'autorisation administrative d'engager les contrats demeure en attente de décision.

- L'Onerc participe au groupe « Plan climat territorial » avec la MIES et l'Ademe notamment.
- Participation à divers séminaires et sessions de formation.
- Il est proposé d'éditer et de transmettre à un grand nombre d'élus locaux une lettre trimestrielle, afin de les informer sur la réalité du réchauffement climatique, d'introduire un discours positif sur l'adaptation, et de faire connaître les travaux de l'Onerc.
- Une convention globale de partenariat est en cours de signature avec l'UICN (Union mondiale pour la Nature). Cette convention vise à renforcer les échanges d'information et à initier des actions portant sur les conséquences des changements climatiques sur la biodiversité en France et en outre-mer. L'UICN et l'Onerc sont engagés dans l'organisation conjointe d'une rencontre en 2008 sur l'outre mer européen face aux enjeux écologiques notamment en matière de biodiversité.

### **Projet sur les impacts, la vulnérabilité et l'adaptation au changement climatique dans l'océan Indien occidental**

En lien avec le ministère des Affaires étrangères et l'Agence française du développement, l'Onerc a participé à la préparation et s'impliquera dans la mise en œuvre d'un projet de coopération qui vise à renforcer les capacités des pays de l'océan Indien occidental sur les impacts, la vulnérabilité et l'adaptation au changement climatique. Ce projet fait suite aux déclarations des gouvernements et chefs d'États de la Commission de l'océan Indien (COI) à La Réunion puis à Madagascar en 2006. Les pays concernés sont les pays membres de la COI, c'est-à-dire les Comores, Madagascar, Maurice, les Seychelles et la France à travers La Réunion. Le projet s'étendra sur trois ans, avec un budget total prévu à 3,6 millions d'euros, avec une contribution importante du Fonds français de l'environnement mondial. Le projet poursuit cinq objectifs :

- 1 – renforcement des capacités sur le changement climatique;
- 2 – analyse des effets du changement climatique et de la vulnérabilité;
- 3 – alerte et prévention des risques naturels;
- 4 – renforcement des politiques d'adaptation;
- 5 – appui à la création d'une structure de coordination.

### **Activités de fond et divers**

- Suivi des travaux du Giec : l'Onerc est associé aux travaux du Giec, en tant que point focal du gouvernement français. Les activités suivies ont notamment été les suivantes :
  - revue du rapport spécial sur les gaz fluorés;
  - revue du rapport spécial sur la séquestration géologique du carbone;

- revue par les gouvernements des projets de rapports des trois groupes de travail ;
  - participation aux travaux sur les futurs scénarios d'émissions de gaz à effet de serre ;
  - suivi et animation de la participation française aux travaux du Giec en tant qu'agent de liaison du gouvernement français ;
  - coordination de l'organisation de l'accueil à Paris de la réunion du Groupe 1 du Giec, qui se tiendra à l'UNESCO du 29 janvier au 1<sup>er</sup> février 2007, en animant notamment le comité de pilotage correspondant. Cette tâche a représenté une quantité de travail considérable sur la fin de l'année 2006.
- Participation aux travaux de la CCNUCC : l'Onerc participe aux négociations dans le cadre de la CCNUCC, sur le sujet de la recherche et de l'observation, et notamment sur la préparation du programme de cinq ans sur l'adaptation décidé par la 10<sup>ème</sup> Conférence des parties (CoP-10).
  - Coordination du chapitre 6 « Vulnérabilité, impacts et mesures d'adaptation » pour la 4<sup>e</sup> communication nationale à la CCNUCC. L'Onerc était présent aux réunions du SBSTA qui se sont tenues à Bonn au mois de mai et à Nairobi au mois de novembre.
  - Contribution à la rédaction du chapitre « changements climatiques » du rapport de l'Ifen : l'Ifen a publié récemment son rapport sur l'état de l'environnement dans lequel un chapitre entier est consacré au climat. L'Onerc a participé à la conception et à l'écriture de ce chapitre.
  - Suivi du programme de recherches GICC : l'Onerc participe au conseil d'orientation du programme « Gestion des impacts du changement climatique » (GICC) du MEDD.
  - Encadrement de stages : l'Onerc a accueilli un certain nombre d'étudiants stagiaires, qui ont très activement et très efficacement contribué à ses travaux.



## Résumé à l'attention des décideurs

### Maladies humaines susceptibles d'être influencées par le changement climatique en France

**Jean-Claude Cohen** de Météo-France et **Jean-Pierre Besancenot** de l'Université de Bourgogne rappellent que la température a augmenté en moyenne de près de 1 °C sur la France depuis un siècle. La tendance prévue pour les prochaines décennies va dans le sens d'une accentuation de ce réchauffement, qui a une assez forte probabilité d'être encore plus sensible pendant l'été, avec des canicules plus fréquentes ; mais l'hiver serait aussi concerné avec, en moyenne, une plus grande douceur. Or, les températures extrêmes sont des causes importantes de surmortalité saisonnière. S'il est établi que la canicule de 2003 a provoqué près de 15 000 décès surnuméraires en France, la sous-mortalité compensatrice (connue sous le nom d'*effet de moisson*) ne s'est manifestée que de janvier à juin 2004, avec un « déficit » de 14 000 décès. Les politiques d'action ont donc un rôle préventif fort, car il ne s'agit pas seulement de prolonger de quelques jours la survie de personnes sensibles, mais bien de redonner un espoir de vie de plusieurs mois, voire souvent de plusieurs années. Le mois caniculaire de juillet 2006 illustre bien cette efficacité forte et à moindre frais du plan français de réponse sanitaire. Les partenariats institutionnels qui se construisent autour de l'application du Plan national canicule (PNC) ont en outre servi à une perception plus efficace du risque associé aux grands froids. Il faut en effet rappeler que les vagues de froid hivernales font autant de victimes que les canicules estivales : en janvier 1985, 57 décès ont été attribués sur le moment aux basses températures, alors que l'examen ultérieur des données met en évidence 9 000 décès en surnombre, notamment par maladies cardio-vasculaires ou respiratoires chez les personnes sensibles. Le plan national de réponse à une vague de grand froid, mis en place fin 2006 par le ministère de la Santé, en est un aboutissement exemplaire.

Mais les possibles impacts sanitaires du changement climatique annoncé ne se limitent pas aux effets des grands paroxysmes thermiques. Un grand nombre de pathologies est susceptible d'être concerné, quelquefois dans un sens favorable, le plus souvent dans un sens défavorable. C'est ainsi, par exemple, que plus de dix millions de Français sont aujourd'hui affectés par des allergies au pollen, ou pollinoses. Or, le climat a un effet important sur la production, la libération et la dispersion des grains de pollen, d'où un risque accru pour l'avenir immédiat, un hiver doux favorisant une pollinisation précoce et, peut-être, plus abondante. De même, les épisodes de chaleur sont généralement associés à une aggravation de la pollution atmosphérique, notamment par l'ozone. De ce fait, ils correspondent souvent à des périodes de danger accru, tant au niveau

des voies respiratoires que du système cardio-vasculaire. Quant à l'augmentation de l'intensité du rayonnement ultraviolet, elle a surtout pour cible la peau et l'œil, mais peut aussi affecter l'efficacité du système immunitaire.

**François Moutou** de l'AFSSA présente les voies de transmission des maladies à l'homme, qui passent très souvent par les animaux. Il existe des risques avérés entre une dégradation de la santé animale et le changement climatique. Dans une étude récente, l'AFSSA (2005) a ainsi identifié les six maladies les plus susceptibles d'être affectées par les modifications et changements climatiques : la fièvre du Nil occidental, la fièvre catarrhale ovine, la fièvre de la vallée du Rift, la peste équine, la leishmaniose viscérale et la leptospirose. Deux de ces maladies à vecteurs sont déjà présentes en France : la fièvre du Nil occidental associée à un *bibovirus* (de l'anglais *BIRD borne virus*), et la fièvre catarrhale ovine (FCO, ou maladie de la langue bleue du mouton). On constate aussi en France un manque flagrant d'experts en entomologie, ainsi que de communication entre les experts en écologie, zoologie, sciences sociales et systèmes de surveillance. Il faudrait par ailleurs développer des réseaux de surveillance des oiseaux.

**François Rodhain** de l'Institut Pasteur, sans identifier de maladies spécifiques, insiste sur l'importance de l'entomologie médicale. Ainsi, 70 % des virus des plantes et 40 % des virus des animaux sont transmis par des arthropodes. Toutefois de très nombreuses inconnues subsistent et les prédictions en la matière sont le plus souvent hasardeuses. L'Institut Pasteur a d'ailleurs édité récemment un ouvrage sur le lien entre la santé et le changement climatique (Rodhain, 2003). Le climat a toujours varié mais ce n'est que très récemment que l'homme a commencé à réfléchir sur les liens possibles de cette variabilité avec les vecteurs à virus. Il faut donc une communication efficace entre les systèmes de surveillance, la recherche, et la formation et la diffusion des connaissances auprès du public au sens large. Le raisonnement selon lequel une augmentation de la température devrait « favoriser » le vecteur, donc la diffusion de maladies est trop simpliste. La nature est en fait très complexe et il faut donc avoir une approche de naturaliste où les composantes climat, biodiversité, et transmission des maladies par les vecteurs ne peuvent être dissociées. De nouveaux moyens économiques sont donc essentiels : les pays occidentaux ayant connu eux aussi dans le passé des maladies aujourd'hui considérées comme tropicales, sont maintenant à l'abri de ces maladies.

**Philippe Sabatier** de l'ENVL/Inra rappelle que le changement climatique pourrait être associé à l'augmentation de la fréquence d'événements climatiques extrêmes. Ces derniers modifient rapidement l'environnement. En Guyane, une corrélation entre la fièvre dengue et les déficits pluviométriques semble établie. On note actuellement aussi une extension des régions affectées par la dengue en Amérique latine, attribuée à la réduction de la surveillance et des traitements contre les moustiques et de la prévention en général. L'absence de rupture hivernale, qui devrait devenir plus fréquente avec le changement du climat peut aussi jouer un rôle. Outre le climat, l'action anthropique peut également avoir un effet sur la propagation de maladies : irrigation, déforestation, urbanisation, intensification de l'agriculture, développement des échanges.

**Jean-Claude Manuguerra** de la Cellule d'intervention biologique d'urgence (CIBU) de l'Institut Pasteur attire l'attention sur certaines affections étroitement surveillées. Tout d'abord les migrations d'oiseaux véhiculent de nombreuses pathologies, dont la grippe aviaire. Le réservoir viral comme les parcours des oiseaux migrateurs semblent largement influencés par le climat ; les données relatives à l'ornithologie deviennent donc cruciales. Le chikungunya (transmis par les moustiques *Aedes aegypti et albopictus*), le virus du Nil occidental (transmis par *Culex pipiens*), la fièvre dengue (transmis par le moustique *Aedes aegypti*) sont associés à des moustiques/vecteurs à large compétence. *Aedes albopictus* est présent dans la plaine du Pô en Italie du Nord et a été repéré dans le Var. Il peut également transmettre la dengue ou la maladie du Nil occidental. Le virus du Nil occidental représente aussi un risque d'émergence très élevé en Europe où il a déjà été repéré (littoral méditerranéen), si l'on considère son évolution et sa diffusion rapide aux États-Unis ces dernières années. L'Institut Pasteur est également intervenu sur une encéphalite virale originaire de Malaisie, qui illustre bien le rôle fréquent des animaux, puisque cette affection provient des chauves-souris (avec le virus *Nipali*), et transite par les chevaux et les porcs. Il faut noter aussi l'influence de la déforestation dans sa propagation, poussant les chauves-souris vers des régions habitées.

Les fièvres aviaires et épidémies associées à des vecteurs comme les oiseaux et moustiques doivent être surveillées de très près en liaison avec la variabilité et le changement du climat. Les données sur les oiseaux et leurs migrations sont collectées par les associations d'ornithologistes, d'écologistes et de chasseurs, et assemblées au Muséum d'histoire naturelle et à l'Office de la chasse. Dans tous les cas la surveillance de l'émergence et la gestion de crise doivent être liées étroitement avec la recherche basée sur des données multidisciplinaires (modélisation, ornithologie, virologie, zoologie...).

En résumé, les principales recommandations ressortant de l'examen des maladies susceptibles d'être influencées par le changement climatique en France sont les suivantes :

- La recherche doit être développée et impliquée à tous les niveaux. Il est particulièrement urgent de développer la recherche dans les disciplines suivantes : écologie, épidémiologie, biodiversité, systématique, entomologie, socio-économie, science de la communication. La relève n'est pas aujourd'hui assurée. Il faut développer la transdisciplinarité et faire tomber les cloisons existantes entre les disciplines.
- Il est également nécessaire de développer notre capacité d'observation systématique, d'épidémiologie et de prévision.
- Il faut cibler et sélectionner des maladies qui pourraient être associées au changement climatique. On peut se baser sur les six maladies infectieuses (virales, bactériennes et parasitaires) qui ont été identifiées dans le rapport de l'AFSSA.
- Il faut également régionaliser les problèmes et prendre en compte par exemple le fait que la diffusion de maladies dans un environnement insulaire est plus rapide puisqu'il y a moins de compétition entre les vecteurs.

- Les données sur la morbidité doivent également être mieux prises en compte, même si elles sont difficiles à obtenir : les données sur la mortalité ne sont pas suffisantes.
- Les pathologies liées à des variations de thermorégulation et à des atteintes des systèmes neurovégétatifs doivent aussi être prises en compte.
- Enfin, le changement climatique ne doit pas être un alibi cachant d'autres causes possibles. Il n'y a jamais de cause unique dans l'émergence d'une maladie.

**Dominique Belpomme**, président de l'Association de recherche thérapeutique anticancéreuse (Artac), propose une synthèse médicale des conséquences sanitaires du changement climatique, qui nous rappelle notamment l'importance du lien entre les organismes vivants avec le milieu naturel. C'est le cas pour l'homme, qui n'échappe pas aux lois fondamentales de la biologie. Deux approches méthodologiques, en miroir l'une de l'autre, sont à considérer : *l'écologie sanitaire* qui aborde la santé en commençant par l'étude de l'environnement, et *la santé environnementale* qui part de maladies pour rechercher les facteurs de risque environnementaux. Les *effets sanitaires directs* du changement climatique sont les plus certains et sans doute les plus graves : les canicules et les variations de l'ozone en font partie. Les *effets sanitaires indirects* peuvent être liés à la raréfaction ou à la pollution de l'eau, à la pollution de l'air, et aux évolutions écosystémiques. C'est dans cette troisième catégorie que réside la plus grande inconnue. Trois lignes de réflexion sont proposées dans ce domaine : les maladies animales transmissibles à l'homme, les vecteurs de transmission tels que les arthropodes, et les effets des pertes de biodiversité qui pourraient favoriser la virulence de certains micro-organismes. On peut également soupçonner le changement climatique de favoriser certaines maladies à transmission non vectorielle. Le développement de la recherche et des réseaux de surveillance est indispensable pour améliorer la prévention dans ces domaines.

## Systèmes de surveillance et d'alerte

**Jean-Claude Desenclos** de l'Institut de veille sanitaire (InVS) souligne que l'agent de la transmission de la maladie infectieuse n'est pas tout. Il faut aussi surveiller le changement de l'environnement et les habitudes des hôtes. Des résurgences existent en France telles que le Kala-azar et la leishmaniose viscérale en Ardèche. Il n'est pas impossible que le chikungunya touche également la métropole. Les données journalières de mortalité sont maintenant disponibles très rapidement à l'Insee. Il faut développer les données obtenues à partir du passage aux urgences afin de mieux détecter les épidémies et les émergences de maladies. Les principaux moyens pour cela sont :

- la déclaration obligatoire ;
- l'utilisation des centres nationaux pilotes ;
- l'amélioration des réseaux sentinelles ;
- des enquêtes réparties dans le temps.

Il est aussi nécessaire de s'appuyer sur des systèmes continus et stables dans le temps. Il faut également se méfier de perceptions sociales qui peuvent prêter à certaines maladies un faux caractère d'urgence. Il est de plus nécessaire d'accroître les efforts sur l'observation sur le long terme et la recherche pluridisciplinaire (entomologie médicale notamment).

**Jean-Louis San Marco** du service des urgences de l'hôpital de La Timone à Marseille, rapporte qu'un épisode de canicule important s'est produit à Marseille en 1983, à la suite duquel certaines mesures de prévention ont été prises localement, mais sans être étendues au reste du pays. Il est indispensable de se préparer aux situations d'urgence, en commençant par se documenter chez ses voisins. Ceci étant, une crise ne se passera jamais comme cela était prévu. On constate en France un cloisonnement des administrations, où chacune défend jalousement son territoire, pratique couramment la rétention d'informations, et ne se prête pas aux coopérations nécessaires. Or une situation de crise ne peut pas avoir une réponse « mono-institutionnelle ». Il insiste notamment sur les points suivants :

- un bilan complet doit être rendu après la crise ;
- chaque crise doit permettre de mieux se préparer pour les suivantes ;
- il faut éliminer les organisations en « tuyaux d'orgues » et faciliter les échanges transversaux entre les administrations ;
- il faut diffuser l'information au maximum et éduquer les populations, notamment sur les conséquences de la température ; à ce sujet, il faut noter que les jeunes actifs peuvent également être victimes des chaleurs extrêmes ;
- il faut développer la culture de gestion des risques et non pas seulement celle de gestion des crises ;
- des progrès sont également à faire dans la gestion des pathologies gastro-entériques et des bronchiolites.

Afin d'évaluer l'impact du climat et des changements climatiques sur les épidémies, **Antoine Flahault** de l'Inserm présente d'abord les principes qui régissent la surveillance en temps réel les épidémies, par les réseaux sentinelles, ces outils devenus incontournables pour l'alerte précoce mais aussi le suivi des épidémies de maladies transmissibles. La notion de réseau sentinelle a vu le jour en 1984 grâce à Alain-Jacques Valleron. Il existe actuellement en France 1 200 médecins sentinelles volontaires, suivant une dizaine de maladies. L'OMS a de son côté mis en place le réseau FluxNet. Des alertes précoces utilisant les moyens de télédétection existent pour le suivi de la fièvre de la vallée du Rift. Il cite ensuite quelques travaux récents ayant traité des liens entre épidémies et climat : le chikungunya en 2004-2006 du Kenya à l'océan Indien, la fièvre de la vallée du Rift au Kenya en 1990-2000, la grippe en France et aux États-Unis entre 1984 et 2005. On a pu mettre ainsi en évidence un décalage d'une demi-semaine entre l'apparition de la grippe aux États-Unis et en France. Cependant, ces réseaux de collecte de données sont encore trop fragiles et demeurent soumis aux aléas des individus. Il insiste donc sur l'importance de réaliser une bonne observation épidémiologique et de ses prérequis méthodologiques. La qualité des données doit être garantie par l'observation de normes

internationales, et des moyens de stockage pérennes et facilement accessibles doivent être mis en place. L'auteur appelle dans cet article à la mise en place d'un système de collecte et de conservation des données d'une qualité comparable à celui utilisé depuis longtemps pour la météorologie. C'est ainsi qu'il deviendra possible de mieux anticiper, détecter, évaluer et prévoir les épidémies dans un avenir proche.

**Antonio Güell** du Cnes présente les notions de télémédecine, de télé-épidémiologie et de téléconsultation. Utilisant les systèmes spatiaux, ces méthodes sont particulièrement efficaces dans les régions isolées et difficiles d'accès dans les territoires d'outre-mer. Des diagnostics peuvent être faits par ces moyens dans des cas d'urgence. Ainsi la FAO a-t-elle installé 2 700 balises Argos pour suivre son programme alimentaire. Dans le cadre de la REMIFOR (protection civile en France et outre-mer), une récente initiative du Président de la République, le nouveau système Emergesat développé par le Cnes permettra de réduire les délais d'intervention, en utilisant toutes sortes de moyens de communication, y compris le GSM, le Wifi et le WiMax. Ce système permettra aussi de coordonner efficacement les actions entre les équipes de terrain.

**Catherine Gaud** de l'hôpital Félix Guyon à La Réunion insiste sur la nécessité de briser les étanchéités entre les différents organismes impliqués dans la prévention et de favoriser les échanges entre la recherche et la veille sanitaire. Il est nécessaire également de mettre en œuvre de grands observatoires de veille multidisciplinaire, et de développer la recherche en sciences humaines et sociales, en santé animale, en environnement. Cela doit permettre de mieux comprendre les mécanismes physiques et dynamiques, d'anticiper des épidémies possibles et surtout d'en diminuer les impacts sur les populations.

En résumé, les points importants ressortant de l'examen des systèmes de surveillance et d'alerte sont les suivants :

- Des réseaux d'observation de qualité sont indispensables à l'alerte, mais constituent aussi des outils de recherche. Les réseaux de surveillance doivent être développés et pérennisés.
- La surveillance doit être intégrée et adaptée aux besoins de la modélisation numérique. Par exemple les observations en temps réel doivent être intégrées dans des modèles numériques et ce pour agir de manière préventive.
- Les bases de données pluridisciplinaires deviennent une nécessité pour progresser. Elles doivent être disponibles ainsi que les catalogues de métadonnées, avec une politique de libre accès (on observe ainsi, au sujet de la fièvre de la vallée du Rift, que le système d'échange de données ne fonctionne pas bien en dépit des accords passés).
- Les données d'observation de la Terre produites à partir de l'imagerie spatiale doivent être adaptées aux mécanismes de transmission de chaque type d'épidémie.
- Il est nécessaire de faire participer les industriels au plus haut niveau pour minimiser les impacts socio-économiques.

## Approche internationale, adaptation et organisation des services sanitaires

Le directeur de l'Onerc **Marc Gillet** décrit les principales activités internationales identifiées sur le lien entre changement climatique et santé humaine. Le Giec tout d'abord dresse dans ses rapports d'évaluation un constat très alarmant, qui a été confirmé dans de nombreux domaines par les événements intervenus depuis. Plusieurs rapports européens ont également été publiés, notamment une étude commune à la Commission et à l'Organisation mondiale de la santé, précisant sur notre continent les évaluations plus globales du Giec. L'Organisation mondiale de la santé est en effet mobilisée depuis plusieurs années sur le sujet et apporte son soutien aux autres organisations de l'ONU, notamment la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques. Dans ce contexte, les recherches en France se sont également développées, à travers notamment le programme « Gestion et impacts du changement climatique » du ministère de l'Écologie et du Développement durable et de nouveaux appels d'offres de l'Agence nationale de la recherche.

Le D<sup>r</sup> **Yves Coquin**, de la Direction générale de la santé, rappelle la complexité du sujet abordé, sachant que le réchauffement climatique n'est jamais qu'un des éléments qui entrent en compte pour modifier la morbidité et la mortalité humaine. Les canicules et les événements climatiques provoquent essentiellement des effets sanitaires directs. Les effets sanitaires indirects, notamment liés aux diverses formes de pollutions, ne sont pas encore clairement connus; l'auteur estime que le réchauffement climatique pourrait agir sur l'environnement de manière synergique par rapport à l'impact des pollutions d'origine anthropique, et que c'est à cet impact conjugué que l'homme pourrait être le plus sensible. Enfin, s'il estime très peu probable que le paludisme s'installe à nouveau en Europe, cette maladie devrait voir sa zone de présence s'étendre dans de nombreuses régions du globe. Concernant les autres viroses comme la dengue ou la maladie du Nil occidental, les conjonctures demeurent hasardeuses, mais la vigilance est plus que jamais nécessaire. Ces perspectives engagent à renforcer la surveillance épidémiologique en France. À cet égard, il convient de souligner que la France met en place en 2007 à La Réunion un centre de recherche et de veille des maladies émergentes dans l'océan Indien.

## Conclusions et recommandations

Au vu de ces constatations, se pose la question de savoir quelles sont les principales actions au plan opérationnel comme au plan scientifique qui devraient permettre une meilleure adaptation au changement climatique. Un certain nombre de propositions dans ce sens sont présentées en conclusion du rapport. De

manière très résumée, il s'agit d'abord d'améliorer la communication des informations : entre pays, avec les médias, avec les autres disciplines, avec les décideurs, avec le public... Il s'agit aussi d'assurer une réelle mobilisation des décideurs et du public, pour agir sur l'environnement (réduction par exemple des gîtes larvaires, ou réduction de l'insalubrité propice au développement des vecteurs). Cependant, dans le domaine du vivant, il est souvent difficile d'identifier les éléments pertinents, et une veille plus différenciée est nécessaire, en assurant le développement et la pérennité des réseaux d'observation. Parallèlement, les études et les recherches doivent être intensifiées sur les maladies susceptibles d'être influencées par le changement climatique, afin de définir le cas échéant des stratégies d'adaptation pertinentes.

# Les maladies humaines susceptibles d'être influencées par le changement climatique en France





# Changement climatique, canicules et allergies : la nouvelle donne culturelle

Jean-Claude Cohen, *Météo-France*  
et Jean-Pierre Besancenot, *CNRS/Faculté de médecine, Dijon*

## Introduction : nouvelle donne culturelle face aux changements climatiques

Les changements climatiques, dans leurs multiples modalités, sont une réalité que beaucoup s'accordent à reconnaître comme étant détectable depuis les années quatre-vingt sur la planète. Canicules, grands froids, tempêtes et ouragans, inondations et sécheresses, de plus en plus relayés en détail et en direct par les médias, en ont fait une réalité tangible «chez les autres»... mais aussi, désormais, «chez nous». Le fait est que les changements climatiques sont susceptibles d'affecter au quotidien la santé des Français et qu'ils peuvent engendrer des hécatombes (Epstein, 2005).

Les ouragans de décembre 1999, les inondations de l'automne précédent dans le Sud-Est ou celles du printemps 2001 dans la Somme et le coup de massue de la catastrophe météo-sanitaire d'août 2003 ont donné du réchauffement climatique une image de «**risque à la française**», perçu comme une menace en place et dont on attend le prochain assaut. Un prochain assaut qui sera inévitablement différent des autres (comme le temps qu'il fait est toujours différent de celui qu'il a fait précédemment). Il sera géré différemment par les politiques et par les scientifiques, et les populations le prendront en considération de façon différente, du fait d'un processus naissant «d'adaptation au risque climatique» (Menne et Ebi, 2006) : la canicule de juillet 2006, dernier signal en date d'une plus grande fréquence des étés chauds, en est d'ores et déjà une parfaite illustration, Plan canicule et pression médiatique ayant pleinement été mis en action.

L'évolution de la **démographie**, marquée notamment par l'arrivée au troisième âge des enfants du baby-boom de l'après-guerre, participera aussi de la réponse sanitaire aux prochains assauts du climat. Il en ira de même de la **prévalence en hausse** continue de certaines pathologies, notamment les **allergies**, elles aussi à même de moduler la donne lors des prochaines échéances de l'urgence climatique.

Les procédures de **vigilance** et les **plans d'action** qui se sont mis en place ces dernières années, principalement depuis 2001 (Cohen *et al.*, 2005), largement

relayés par les médias, ont également participé à une **prise de conscience nouvelle** face au climat et aux changements climatiques. Toutefois, cette perception reste souvent teintée d'une crainte mal positionnée, en relation avec une perception médiocre de la nature des risques et de leurs diverses causes. Et de fait, ces causes diverses sont souvent superposées : canicule, pollution à l'ozone, pics de pollens de graminées et forte irradiation ultraviolette surviennent souvent les mêmes jours, sans parler de la sécheresse ou des risques concomitants d'incendies ou d'intoxications alimentaires.

Enfin, **nouvelle donne médiatique**, les **conseils de comportement** ont fait une entrée plutôt efficace dans le quotidien des Français. Même s'ils restent encore, pour beaucoup, difficiles à s'approprier, un **processus d'adaptation** est désormais détectable. Ainsi, durant la canicule de juillet 2006 les recommandations ont souvent fait la une de l'actualité (Cohen et San Marco, 2006).

Gérer ce type de risques demande une première évaluation d'experts quant à leur nature, intégrant au mieux le « fossé culturel sur le risque météorologique » encore lourdement présent, comme l'a bien montré la canicule de 2003 (Poumadère *et al.*, 2005).

L'expérience des dernières années, et notamment des deux dernières décennies, permet d'identifier les **quatre grands dossiers** qui devraient dominer l'état sanitaire du proche avenir :

- **les canicules ;**
- **les grands froids ;**
- **les méfaits de la pollution atmosphérique ;**
- **le risque allergique lié aux pollens.**

Ce sont ces quatre dossiers, désormais classiques de la littérature scientifique dans ce domaine de la biométéorologie, qui seront abordés ici. Ce choix est mesuré, il permettra de poser des repères, de définir plus facilement les priorités d'action et d'orienter les décisions nécessaires à un moment où les initiatives foisonnent, au risque de laisser parfois une impression un peu confuse auprès des milieux politiques ou des décideurs.

Mais le choix opéré n'en est pas moins restrictif : les ultraviolets solaires, une nouvelle répartition des **maladies à vecteurs**, les risques **vétérinaires** ou encore ceux qui sont liés à la **qualité des eaux** et à la conservation des aliments ou des médicaments sont autant de dossiers spécialisés qui nous rappellent que la liste retenue ici reste ouverte et ne saurait être exhaustive.

On abordera ces « grands dossiers » à la fois en termes de **morbidité** et de **mortalité**. En effet, tout effroyables qu'ils puissent être, les chiffres de surmortalité ne doivent pas cacher les maladies, les atteintes à la qualité de vie et les conséquences sociales des extrêmes climatiques, en particulier des extrêmes thermiques, du côté de la chaleur aussi bien que du côté des grands froids.

Les positions présentées se veulent *a priori* conformes à l'expérience acquise à **Météo-France en biométéorologie** depuis trente ans, et alignées sur les développements déjà engagés dans d'autres instances, notamment à l'Organisation

météorologique mondiale (**OMM**), à l'Organisation mondiale de la santé (**OMS**) ou encore à l'International Society of Biometeorology (**ISB**).

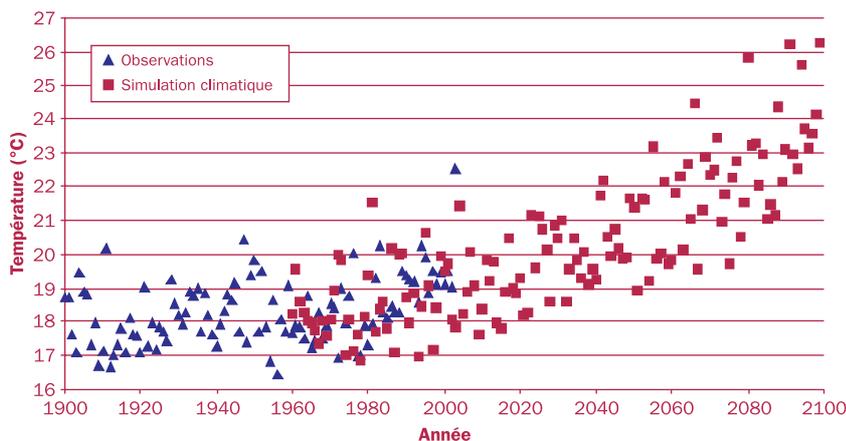
Le choix a été fait d'évaluer les « projections » et l'estimation des risques sur la base de l'observation des risques sanitaires déjà reconnus. Mais il est bien entendu que seront fortement présentes, en filigrane, les **actions de surveillance et de vigilance** déjà en place, en préparation ou intégrées aux projets de recherche.

## Le réchauffement climatique... en bref

Les estimations régionales faites à partir du modèle Arpege Climat de Météo-France montrent clairement que les moyennes estivales de températures observées et prévues tendent à augmenter progressivement sur le pays. Sur la figure 2, les triangles bleus représentent les observations faites de 1900 à 2003, et les carrés roses les températures simulées à partir de 1960 par le modèle climatique, dans le cadre du scénario A2 du Giec. Trois constats peuvent alors être faits :

- le premier est que, sur la période commune 1960-2003, la modélisation est relativement bien calée ;
- le deuxième est que la température exceptionnellement élevée de l'été 2003 serait plutôt conforme à la tendance prévue par le modèle ; elle reste néanmoins nettement au-dessus des attentes, suggérant que les moyennes prévues n'excluent en rien des phénomènes passagers plus forts, mais aussi que d'autres causes de variabilité, peut-être plus « naturelles », peuvent se superposer à la tendance imposée par les activités humaines ;
- le dernier point est que la chaleur caniculaire vécue en **2003 pourrait devenir une valeur habituelle dès la seconde moitié du XXI<sup>e</sup> siècle** puisque, après 2050, la température serait au moins égale à celle de 2003 environ un été sur deux.

**Figure 2. Températures estivales observées et simulées en France aux XX<sup>e</sup> et XXI<sup>e</sup> siècles**



Source : Météo-France.

## Les températures extrêmes, causes de maladies et de surmortalité

La courbe de mortalité en France métropolitaine présente aujourd'hui un cycle saisonnier fortement marqué : on meurt davantage en hiver, 1,25 à 1,60 fois plus en décembre ou en janvier qu'en mai ou en août. L'expression populaire le disait déjà : « celui-là, il ne va pas passer l'hiver! », c'est presque un acquis culturel, bien plus que du fatalisme face au destin des hommes. Toutefois, rien n'y fait sous le regard politique, ni pour l'hiver et le froid, ni pour les canicules écrasantes de l'été, car il s'agit bien de surmortalité, et qui plus est de surmortalité au moins en partie évitable, à moindres frais pour la nation... L'expérience américaine le confirme dans le domaine du *Heat Health Watch Warning System* (plans d'action en cas de canicule appliqués dans certaines grandes villes des États-Unis depuis le milieu des années quatre-vingt-dix). Sans oublier, dix ans « avant l'heure », le premier plan français du genre, mis en place dans la région marseillaise depuis l'été 1983 par l'équipe du Pr. San Marco, en collaboration avec Météo-France.

Et si l'idée a fait son chemin dans le domaine des fortes températures, on ne dispose toujours pas de plan national « grands froids », hormis dans le domaine social de l'aide aux sans-abri.

### La canicule tue

- *Les changements climatiques déjà ressentis*

En commençant par le dossier des fortes chaleurs et des canicules, une première constatation s'impose : les changements climatiques sont déjà « très visibles ». Le XX<sup>e</sup> siècle a été le plus chaud du millénaire. Entre 1860 et 2000, la température moyenne du globe (*cf.* figure 3) a grimpé de +0,6 à 0,7 °C ( $\pm 0,2$  °C). Plus spectaculaire encore : toujours à l'échelle de la planète entière, la décennie 1990 a été la plus chaude du siècle, huit des dix années les plus chaudes du XX<sup>e</sup> siècle étant postérieures à 1987. Dans l'ordre décroissant, les années les plus chaudes ont été 1998, 2002, 2003 et 2005.

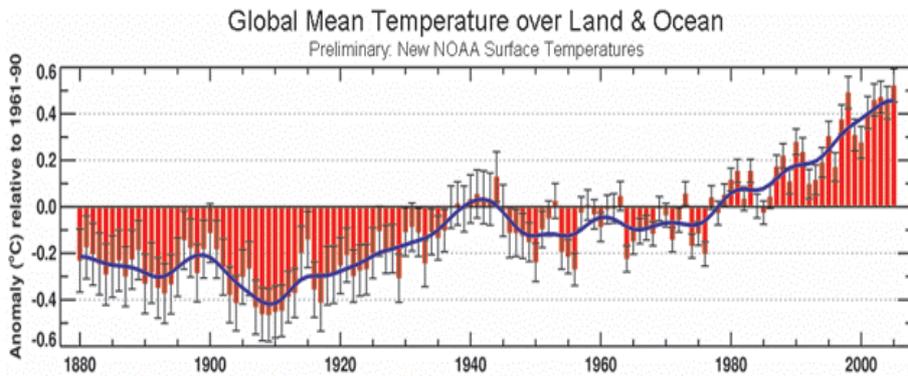
À l'échelle de la France, les records séculaires se sont succédé au cours de la décennie 1990 et depuis l'an 2000 (*cf.* figure 4). Cette fois, les années les plus chaudes ont été dans l'ordre 1994, 2003, 2002, 2000 et 1999. Ce ne sont donc pas toujours les mêmes qu'au niveau du globe ; il n'empêche que la tendance au réchauffement reste sensible à toutes les échelles.

Cela dit, le réchauffement n'est ni uniforme ni continu. D'une part, on peut actuellement discerner des nuances ou des **variations régionales**, et tout porte à penser qu'il en ira de même **dans l'avenir**. D'autre part, on a pu connaître des records de fraîcheur au milieu d'étés chauds. C'est ainsi que les mois de juillet 2000

et 2002 comptent parmi les plus frais de l'histoire des mesures sur la France. De même, des étés à températures relativement basses ont pu interrompre une série d'étés très chauds. Il reste malgré tout que la tendance est claire et qu'elle indique une **nette accélération depuis la fin des années quatre-vingt**.

Ces caractéristiques sont nettement perceptibles à l'échelle de la planète, comme aussi de la France métropolitaine. Mais on n'oubliera pas que le réchauffement climatique est également une réalité outre-mer (cf. figure 5).

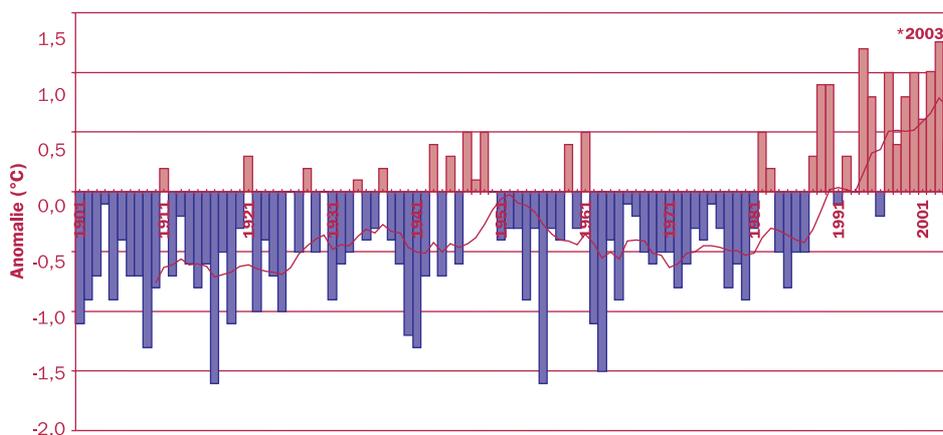
**Figure 3. Moyenne annuelle des températures à la surface du globe, terres et mers confondues, de 1880 à 2005**



La ligne 0,0 °C désigne la moyenne 1961-1990. De part et d'autre, les écarts positifs ou négatifs par rapport à cette moyenne et, en bleu, la courbe de tendance.

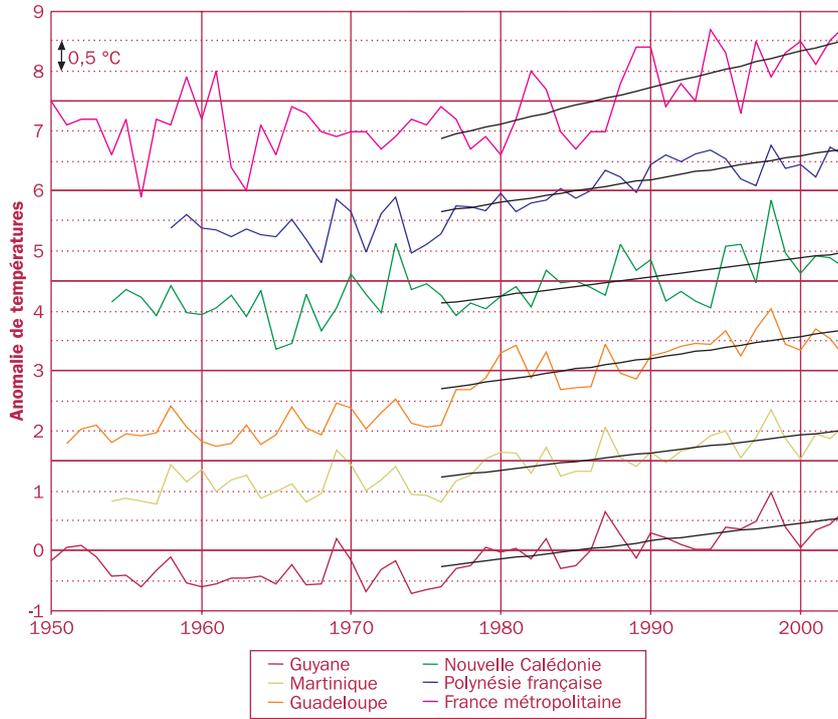
Source : NOAA.

**Figure 4. Moyenne annuelle des températures homogénéisées sur 22 stations en France de 1901 à 2004**



La ligne 0,0 °C désigne la moyenne 1971-2000. De part et d'autre, les écarts positifs (en rouge) ou négatifs (en bleu) par rapport à cette moyenne.

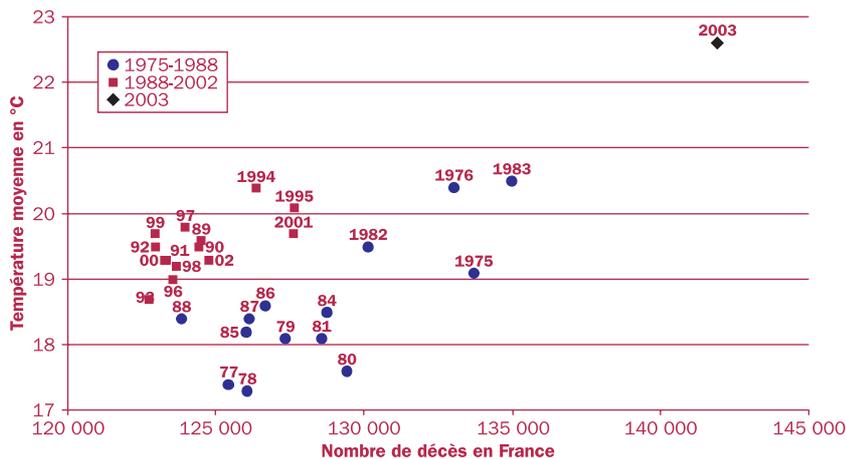
Figure 5. Moyenne annuelle des températures en France métropolitaine et outre-mer, de 1950 à 2004



• *Température et surmortalité estivale en France (1975-2006)*

La France a connu depuis trente ans des canicules répertoriées qui ont été accompagnées d'une surmortalité sensible (Besancenot, 2002), prouvant que **les fortes chaleurs ont un impact très fort sur la mortalité, même lorsque l'on n'atteint pas les terribles records de 2003** (cf. figure 6). L'été 1975 a ainsi connu une séquence très chaude début août, avec des conséquences meurtrières sur une grande moitié ouest du pays. Il a été suivi de l'année 1976, restée dans les mémoires comme celle de « l'impôt sécheresse », mais qui n'en a pas moins été à l'origine de quelque 6 000 décès surnuméraires, fin juin et début juillet, sur l'ensemble du territoire national, à l'exception du Midi méditerranéen. L'été 1983 et déjà, auparavant, l'été 1982 ont eu des conséquences néfastes, essentiellement dans le sud-est et l'est du pays (Thirion *et al.*, 1992). En particulier, la fin juillet 1983 a connu le premier épisode caniculaire qui ait conduit à la mise en place d'une procédure de surveillance et d'alerte; c'était dans la région de Marseille (Delaroziere et San Marco, 2004). Toute la série des années quatre-vingt-dix, avec leurs records thermiques plus ou moins saillants, n'a pas enregistré de surmortalité marquante. On doit néanmoins signaler, d'une part un effet du creux de natalité de la période 1914-1918, avec une tendance à la baisse générale du nombre des décès en France, d'autre part l'existence de pics de mortalité relativement proéminents, mais limités à quelques jours et, de ce fait, lissés à l'échelle de la saison. Enfin, l'été 2003 ressort de loin comme le plus meurtrier que l'on ait connu (Cohen *et al.*, 2005), au point d'avoir engendré une crise sociale et politique de grande ampleur (Ledrans *et al.*, 2004).

**Figure 6. Nombre de décès de l'été en France (1975-2003), en fonction de la température moyenne estivale (juin-août) de 22 stations**



- *Il n'y a pas « d'effet de moisson » immédiat*

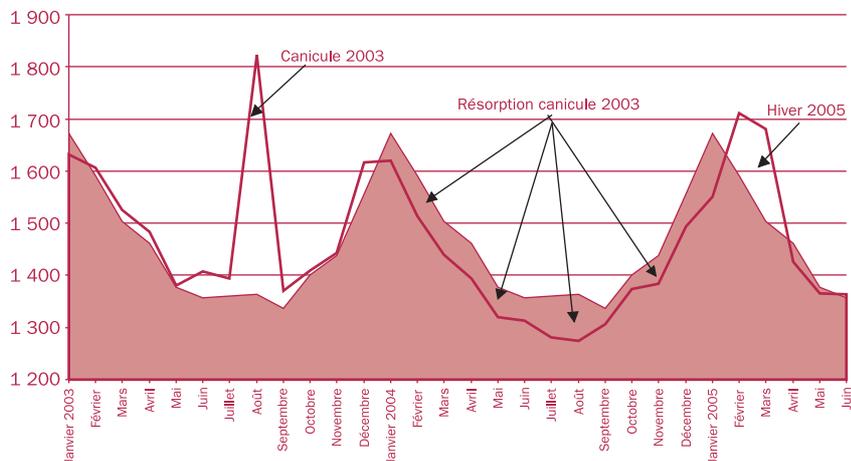
Le débat scientifique sur l'existence d'un « effet de moisson » a été ouvert il y a plusieurs années, avant d'être relancé de façon publique après la diffusion de l'étude réalisée par Valleron et Boumendil (2004). Rappelons en quelques mots les données du problème. Le bilan sanitaire de la quinzaine de canicule d'août 2003 sur la France a été évalué aux alentours de 15 000 décès en surnombre. La question qui se pose est alors de savoir s'il s'agit de 15 000 décès simplement avancés de quelques jours, éventuellement de quelques semaines, ou s'ils concernent des personnes qui, en l'absence de canicule, auraient survécu durablement. Le meilleur moyen de répondre à cette interrogation consiste à regarder ce qui s'est passé après la vague de chaleur : y a-t-il eu une sous-mortalité compensatrice ? Pour la fin de l'année 2003, la réponse est très largement négative : durant l'automne, et jusqu'en janvier 2004, la mortalité observée est restée sensiblement au niveau de la mortalité attendue, et même au-dessus en décembre ; il n'y a donc **pas eu sur cette période d'effet de moisson** ! De fait, la répartition par âge et par sexe des décès d'août 2003 permet d'estimer que, sur un total de près de 15 000 victimes, seules 2 100 (dont 600 dans les sept départements les plus touchés) étaient fatalement destinées à mourir avant la fin décembre.

C'est seulement ensuite, de février à juin 2004, que s'est manifestée une franche sous-mortalité, en quelque sorte compensatrice mais tardive (*cf.* figure 7). Il s'ensuit que le bilan établi sur un an (juillet 2003-juin 2004) est à peu près à l'équilibre ; cela signifie que la canicule a en moyenne précipité de six à dix mois la fin de vie des personnes décédées en août 2003. Encore une certaine prudence s'impose-t-elle lorsque l'on analyse de plus près cet effet tardif : l'hiver 2003-2004 a été assez doux, et n'a pas connu de véritable épidémie de grippe, deux facteurs déjà susceptibles en eux-mêmes d'entraîner une réduction de la mortalité. De plus, si la région parisienne, qui avait été la plus touchée au mois d'août précédent, a bien profité ensuite de la sous-mortalité, celle-ci a aussi bénéficié à des régions qui avaient été moins affectées ou presque épargnées : les Bouches-du-Rhône, les Alpes-Maritimes, la Seine-Maritime, le Nord et le Pas-de-Calais ont enregistré en 2004 une sous-mortalité dépassant largement l'excédent des décès de 2003 ; inversement, le département du Cher, très touché en 2003, n'a bénéficié l'année suivante que d'une sous-mortalité insignifiante.

- *Poursuivre les plans « vigilance canicule et réponse sanitaire »*

Une réponse pratique s'impose face au débat sur l'effet de moisson : pour autant qu'il existe, celui-ci est suffisamment tardif, comme on vient de le voir, pour qu'on ne laisse aucune place à une éventuelle remise en cause des initiatives prises autour du Plan national canicule (PNC). Au contraire, il s'agit bien là d'un projet à consolider, face aux risques prévus (Laaidi *et al.*, 2005 ; Pascal *et al.*, 2006). La preuve a été faite aux États-Unis, où des plans d'action plus ou moins du même type ont permis de réduire la surmortalité de moitié dans plusieurs grandes villes. En France même, le plan forte chaleur mis en place depuis 1985 à Marseille aurait permis une réduction de la surmortalité estimée à deux tiers !

**Figure 7. Mortalité moyenne journalière de janvier 2003 à juin 2005, comparée à la moyenne 1988-2003**



En rouge, le cycle saisonnier de la mortalité en France, avec un pic hivernal bien marqué et un creux estival. L'hiver 2002-2003 a été voisin de la normale ou un peu doux, et la mortalité associée s'écarte peu des valeurs habituelles. La chaleur s'installe ensuite précocement : en place dès la fin mai, accentuée **en juin et juillet**, elle est déjà associée à **un pic notable de surmortalité**. Survient alors le pic de température sans pareil de la première quinzaine d'août, associé à un pic sans pareil du nombre de décès. Il n'y a pas de sous-mortalité jusqu'en janvier 2004. Une résorption de la surmortalité d'août commence alors, qui se prolonge jusque dans l'hiver 2004-2005, dans l'ensemble assez doux. Après quoi, **une séquence froide et neigeuse tardive** survient en **mars 2005, qui se traduit aussitôt par une nouvelle surmortalité**, passée à l'époque inaperçue et pourtant **estimée entre 4 000 et 6 000 décès surnuméraires**.

Source : D. Rousseau, CSM, Météo-France.

Une vérification quasi expérimentale peut du reste être fournie par le mois de **juillet 2006**. La France a alors été confrontée, à une nouvelle vague de chaleur qui, si elle n'a pas atteint l'intensité d'août 2003, a néanmoins battu un certain nombre de records météorologiques, d'autant que la période caniculaire a été particulièrement longue et que, sur la fin, la chaleur s'est accompagnée d'une forte humidité. En outre, durant cet épisode de températures extrêmes, durable et de grande étendue géographique, la surmortalité telle qu'elle a pu être recensée par l'InVS a été de moins de 1 400 décès surnuméraires (6 % d'excès relatif entre le 11 et le 28 juillet), soit dix fois moins qu'en août 2003 alors que juillet 2006 est classé au deuxième rang des canicules sur la France ; à titre de comparaison, la canicule de l'été 1976 avait été associée à plus de 6 000 décès. Cela indique sans équivoque un impact fort et à moindre coût de l'alerte et de l'information sur le niveau de la mortalité, sans remise en cause possible de l'intérêt de ce type de vigilance météosanitaire. Selon les enquêtes de l'Institut national de prévention et d'éducation pour la santé (INPES), 63 % des Français ont en 2006 adopté des mesures de prévention pour se protéger de la chaleur, et 73 % de ceux qui connaissaient dans leur entourage une personne âgée, isolée ou vulnérable ont pris au moins une mesure d'aide ou d'accompagnement à son égard. Ces mesures de protection ayant néanmoins été assez inégalement mises en œuvre selon les endroits, on comprend qu'il n'y ait pas eu en 2006 de relation directe, d'une région à l'autre, entre l'intensité de canicule et la surmortalité observée. Le cas de Marseille est à cet égard particulièrement flagrant, avec une vague de chaleur de 35 jours, soit la plus longue des grandes villes françaises, et pourtant une légère sous-mortalité (-0,5 %).

## Vagues de froid : des effets sur la santé

À l'instar de la chaleur, le froid tue (Beaudeau *et al.*, 2004), mais dans ce domaine la prise de conscience d'une réponse sanitaire utile n'est pas encore entrée dans nos cultures.

- *Aspect social, aspect sanitaire*

En janvier et février 1985, deux séquences de froid record se sont succédé sur la France. Comparable dans le domaine des basses températures à ce qu'août 2003 a pu être dans celui des fortes chaleurs, cette période de grand froid a induit, elle aussi, des conséquences sanitaires à l'échelle nationale. Ce que l'on en a retenu à l'époque, ce sont 57 décès de sans-abri, retrouvés sur un banc ou sous un pont, au regard de tous, alors qu'aucun « plan grand froid » n'existait. L'émoi qui a suivi marque une prise de conscience de ce qu'avait déjà dénoncé trente ans plus tôt « l'appel de l'abbé Pierre ». Depuis lors, l'information sur l'état d'abandon des sans-abri a été bien relayée à chaque épisode hivernal marqué (février 1986, janvier 1987, février 1991, novembre 1993...), préjugeant du besoin d'une réponse sanitaire.

Mais il faudra attendre l'hiver 2001 pour qu'un plan « grand froid » d'aide aux sans-abri soit mis en place. Les prévisions biométéorologiques de Météo-France ont à cette occasion permis d'avertir au plus tôt les acteurs de l'aide, avant l'arrivée du risque. Un indice prévu de température ressentie sous l'effet refroidissant du vent permet depuis lors de mieux rendre compte du niveau de risque pour les personnes exposées.

Il reste qu'à côté des 57 « décès visibles » de 1985, plusieurs études ont relevé le chiffre de 9 000 décès en surnombre, décomptés de façon analogue aux 15 000 décès excédentaires d'août 2003. Le tableau des causes de décès ainsi surreprésentées ne met nullement en avant les hypothermies : il s'agissait au premier chef de maladies cardio-vasculaires et respiratoires, encore que presque toutes les causes de décès aient alors été majorées.

Le phénomène est désormais connu. On le retrouve d'ailleurs sur la figure 6, durant l'hiver 2004-2005 : au terme d'un hiver doux, associé à une mortalité inférieure à la normale, apparaît en mars 2005 un pic évalué entre 4 000 et 6 000 morts en surnombre, à l'occasion d'une séquence de froid, qui n'a pas atteint des valeurs extrêmes, mais qui était à la fois tardive et accompagnée de neige.

Aux effets directs et surtout indirects du froid peut d'ailleurs venir s'ajouter un effet aggravant lié à la pollution atmosphérique au SO<sub>2</sub> ou aux NO<sub>x</sub>. On se rappelle encore les maladies et les décès survenus lors d'épisodes de « smog » comme dans la vallée de la Meuse en décembre 1930, à Londres en décembre 1952 (Bell *et al.*, 2004), puis en décembre 1956, ou plus récemment dans la Ruhr : la synergie entre froid et pollution a alors été associée à des décès en surnombre, qui se comptaient chaque fois par milliers.

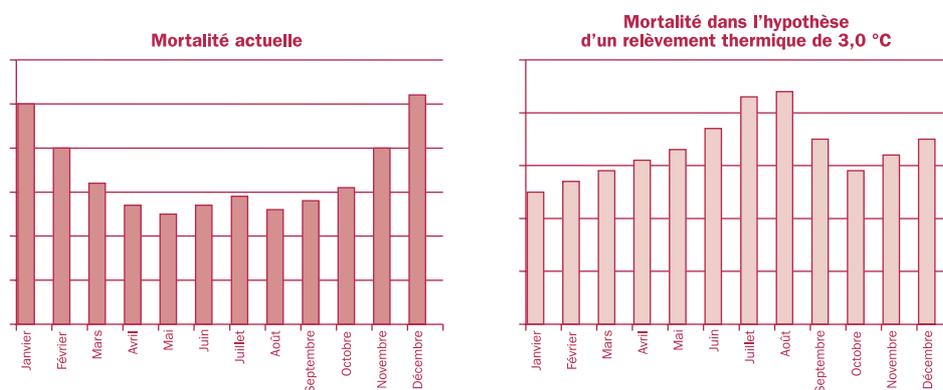
- *Et si les hivers deviennent plus doux...*

Si les hivers deviennent plus doux, de telles hécatombes seront en principe plus rares et pourront alors contrebalancer les excès du risque estival. Toutefois, on se doit là encore d'être prudent, car les scénarios de réchauffement climatique n'excluent pas la survenue de séquences très froides, plus rares certes, mais s'intercalant dans une tendance au radoucissement. De tels phénomènes, **devenant « inhabituels »**, pourraient n'en être que **plus meurtriers**, ce qui invite le législateur à ne pas baisser la garde.

- *Étés plus chauds, hivers moins froids : un bilan sanitaire modulé*

Au total, quelle serait la résultante de la sous-mortalité hivernale et de la surmortalité estivale auxquelles on peut s'attendre ? Il n'est pas évident de répondre à pareille interrogation. Une étude canadienne conclut ainsi à un bilan quasi nul, ou même légèrement favorable, lorsque l'on met en balance selon un schéma moyen de réchauffement climatique, d'une part, la surmortalité liée à la chaleur et à la pollution, d'autre part, la sous-mortalité hivernale. En France, dans l'hypothèse d'un relèvement thermique uniforme dans le temps et dans l'espace, ce qui ne saurait en toute rigueur être qu'un exercice d'école mais qui permet de débrouiller la question, un schéma très simple de modélisation de la mortalité fait état d'un glissement progressif, au fil des décennies, vers **une inversion du cycle saisonnier de la mortalité** (Besancenot, 2004). L'actuelle surmortalité de saison froide se déplacerait peu à peu vers les périodes chaudes de l'été (cf. figure 8). On retrouverait ainsi, en gros, le rythme qui prévalait aux XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles, les principales causes de décès n'étant cependant plus du tout les mêmes, puisque ce sont les maladies dégénératives et de surcharge qui tueraient majoritairement en été, et non plus les maladies infectieuses ou parasitaires... Mais attention, les résultats fluctuent d'une étude à l'autre et tous les spécialistes s'accordent à envisager des variantes régionales sans doute bien tranchées, même si l'on en devine encore fort mal les contours.

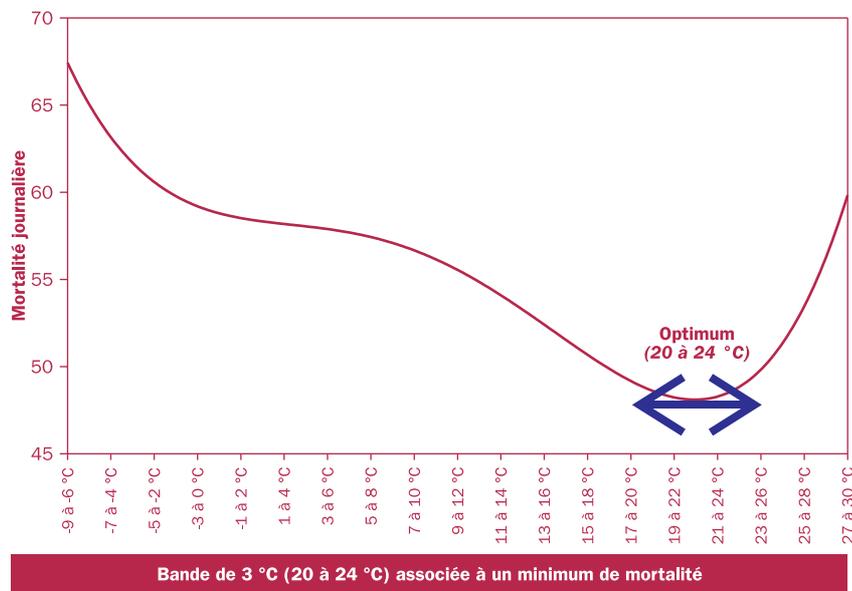
**Figure 8. Évolution attendue du rythme saisonnier de la mortalité en France en cas de réchauffement**



Source : Besancenot, 2004.

Enfin, on se doit au moins d'envisager un **phénomène d'adaptation naturelle et culturelle**, efficace face à la chaleur et sans doute aussi face au froid. Une telle adaptation est d'ores et déjà favorisée par les plans de vigilance et d'alerte mis en place, et chaque fois accompagnés de conseils de comportements fortement médiatisés. N'oublions pas que, s'il existe un peu partout une sorte d'optimum thermique, à savoir un intervalle de 3 °C où la mortalité est à son niveau le plus bas (cf. figure 9 pour l'exemple de Paris), celui-ci (Laaidi *et al.*, 2006) est d'autant plus élevé que les températures habituelles sont plus fortes, donc que l'on est mieux habitué à la chaleur : il se situe entre 14,8 et 17,8 °C dans un département montagnard comme les Hautes-Alpes, mais grimpe déjà à 16,7-19,7 °C en climat océanique (Finistère) pour culminer en climat méditerranéen (20,3-23,3 °C dans l'Hérault) ou dans une très grande agglomération urbaine (20,6-23,6 °C à Paris *intra-muros*).

**Figure 9. Mortalité toutes causes et optimum thermique, l'exemple de Paris**



Source : Laaidi *et al.*, 2006.

## Quelle pollution atmosphérique demain ?

### État des lieux : la France sur la bonne voie

Avec un cadre législatif bien défini par la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (Laure) de décembre 1996, qui a fortement contribué à la mise en place sur l'ensemble du territoire national d'un réseau efficace de surveillance

de la qualité de l'air, pour les principaux polluants ( $O_3$ ,  $SO_2$ ,  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $NO_x$ ,  $PM_{10}$  ou  $PM_{2,5}$ , en l'occurrence particules fines d'un diamètre aérodynamique inférieur, respectivement, à 10 ou à 2,5  $\mu m$ ), **les bases sont posées pour un suivi des risques sanitaires liés à la pollution atmosphérique**. Les données sont recueillies en continu, à l'échelle régionale, par les Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQUA). Le tableau des pathologies associées, à court aussi bien qu'à long terme, est désormais bien connu : maladies des voies respiratoires, maladies cardio-vasculaires, risques ophtalmiques... avec des conséquences mesurables en termes de surmortalité détectable, également en termes d'absentéisme (scolaire ou professionnel) et d'impacts sur l'économie du travail. Des évaluations d'impact sanitaire sont désormais disponibles pour les principales agglomérations urbaines (D'Helf-Blanchard, 2005).

Le suivi et la prévision de la concentration des principaux polluants sont assurés le plus souvent en bonne collaboration avec Météo-France étant entendu que, par-delà les sources d'émission, l'état de l'atmosphère joue un rôle déterminant sur le niveau de pollution, à l'échelle de la journée, mais aussi à celle de la saison, selon le schéma qui oppose la pollution à dominante photochimique de l'été à la pollution encore majoritairement acido-particulaire de l'hiver.

### Et demain ?

**Du côté des émissions**, tout dépendra bien sûr fortement des schémas politiques, technologiques et culturels des prochaines décennies. Force est de constater que les efforts des décennies passées ont permis de déboucher sur des niveaux de polluants le plus souvent en baisse sensible. Dans la plupart des grandes villes françaises, tous les polluants réglementés évoluent à la baisse, en dehors des particules fines qui restent à peu près stables et de l'ozone qui voit sa concentration augmenter. Or, tout laisse à penser que le processus n'est pas encore arrivé à son terme, la mobilisation restant forte sur ce type de risques sanitaires imputables aux activités humaines. Simplement une attention forte devra-t-elle être accordée dans l'avenir aux polluants non encore réglementés, comme le benzène et les hydrocarbures aromatiques polycycliques.

**Du côté du rôle des conditions météorologiques et des changements climatiques**, des risques nouveaux pourraient apparaître :

– en été et au printemps, s'il fait plus chaud, il est permis de craindre des **pics plus fréquents et/ou plus intenses de pollution à l'ozone**. Il s'agit là, en effet, d'un polluant « secondaire » qui a besoin de soleil et de chaleur pour se former à partir de divers précurseurs émis principalement par la circulation automobile. Avec des températures voisines ou supérieures à 30 °C, des conditions favorables pourraient être réalisées plus fréquemment à l'avenir, et aussi plus tôt dans la saison. Des pointes d'ozone pourraient alors devenir plus habituelles dès le début du printemps. De plus, l'ozone atmosphérique semble être d'autant plus agressif qu'il fait plus chaud, comme ce fut le cas en août 2003. Cela pourrait se reproduire plus fréquemment si les canicules deviennent plus courantes au fil des prochaines décennies. Les pathologies associées procéderaient de

l'irritation des muqueuses, au niveau des poumons et des yeux. Mais il y a également lieu de craindre une fréquence accrue de certaines maladies cardio-vasculaires, et notamment des accidents vasculaires cérébraux ;

– en hiver, l'atténuation des rigueurs de la saison froide devrait plutôt contribuer à une baisse de production des polluants à la source ; il y aurait donc probablement moins de pollution, mais également moins de méfaits des polluants sur la santé, ceux-ci étant surtout agressifs et dangereux lorsqu'ils surviennent en concomitance avec les grands froids ;

– inversement, les changements climatiques doivent aussi être interprétés en termes de types de circulation atmosphérique. Or, on doit s'attendre à des **situations de « blocage » plus fréquentes et peut-être plus durables**, susceptibles de perdurer deux semaines ou plus. On pourra alors craindre la survenue plus fréquente d'inversions prolongées de température : brouillards et brumes, ne faisant pas bon ménage avec ces polluants (« smogs »), rendraient vite la situation menaçante en termes de santé publique. Les pics de pollution hivernale, au SO<sub>2</sub> ou au NO<sub>2</sub>, devraient survenir lors d'**épisodes plus longs, voire aussi plus intenses**, amenant là encore leur cortège de **pathologies respiratoires et cardiaques**.

Il est clair, en tout cas, que les méfaits de la pollution ne sauraient être découplés de l'évolution des températures, en particulier des canicules et des grands froids. Mais les pollens, eux aussi, provoquent des risques allergiques plus forts lorsque cette « **pollution verte** » s'associe à la « **pollution rouge** » provoquée par les activités humaines.

## Pollens et allergies : un risque sanitaire majeur

### Ce que l'on sait : pollutions verte et rouge ensemble

Les pollens, pour lesquels certains ont introduit l'expression de « pollution verte », constituent d'ores et déjà un problème majeur de santé publique. Plus de 20 % de la population, soit près de dix millions de Français, souffrent désormais de rhinite saisonnière (le classique « rhume des foins »), de conjonctivites, de toux sèches et/ou de gênes respiratoires, voire de crises d'asthme. Il faut souligner que la rhinite allergique, associée ou non à une conjonctivite, constitue un facteur aggravant pour le développement ultérieur d'un asthme, ce qui fait dire à l'OMS qu'une politique active de prévention des rhinites permettrait de diviser par trois l'incidence de l'asthme. Paradoxalement, les citadins sont en général plus sensibles à ces différentes affections que les ruraux.

La concentration des pollens dans l'air est suivie régulièrement, sur l'ensemble du territoire, depuis le milieu des années quatre-vingt, par le Laboratoire d'aérobiologie de l'Institut Pasteur de Paris puis, à partir de 1996, par le Réseau national de surveillance aérobiologique (RNSA). Une soixantaine de capteurs

volumétriques sont actuellement en fonctionnement. Cela permet déjà d'avoir une assez bonne expérience de l'influence des conditions climatiques et météorologiques sur les quantités de pollen recueillies à un moment donné, en un endroit déterminé. Toutefois, il serait sans doute utile de disposer à ce sujet d'analyses statistiques plus élaborées.

Les pollens reconnus comme les plus allergisants sont suivis de plus près, ce qui donne lieu à la diffusion de bulletins polliniques à l'adresse des allergologues et des allergiques. Ces bulletins sont articulés sur le dénombrement et l'identification des grains de pollen, sous microscope optique, par des analystes spécialisés, mais aussi, afin de déboucher sur des prévisions, sur les conditions climatiques passées et sur les prévisions météorologiques. Des hivers doux sont en général associés à un début de pollinisation précoce ; à l'inverse, lors d'une année comme 2006 avec un hiver assez froid et prolongé, suivi d'une arrivée brutale de la chaleur, on a assisté à une pollinisation tardive et timide des espèces habituellement les plus précoces (noisetier, aulne), suivie d'une explosion pollinique brutale en avril (bouleau et frêne, notamment).

Si la lente maturation des grains de pollen est conditionnée par le temps qu'il fait pendant tout le cycle végétatif précédant la floraison, souvent même dès l'entrée en dormance de la plante, une fois la fleur arrivée à maturité, ce sont les conditions météorologiques du jour même qui commandent la libération des pollens et leur dispersion, donc le nombre de grains en suspension dans l'air que nous respirons. Qu'il pleuve, et les pollens sont projetés à terre, ce que l'on appelle un « effet de sédimentation » ; ces journées pluvieuses apportent donc aux allergiques un répit bénéfique. Il en va de même en présence de brouillard ou de forte humidité. À l'inverse, un temps sec et ensoleillé, avec un vent modéré, agréable pour beaucoup, se révèle favorable à de fortes concentrations en pollens et voit les symptômes allergiques se multiplier.

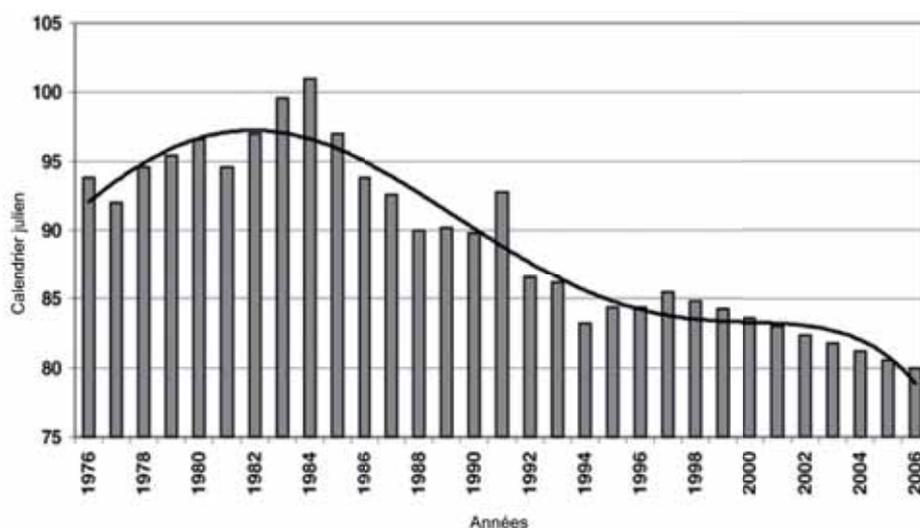
Des indices concordants plaident en faveur d'une augmentation de la quantité de pollen émis dans l'atmosphère depuis le début de l'ère industrielle (David et Thibaudon, 2003), probablement en liaison avec une teneur accrue en CO<sub>2</sub>, dont le rôle sur le cycle de la chlorophylle et sur la croissance des plantes est connu de longue date. Ainsi, dans les années 1900, avec une teneur en CO<sub>2</sub> de 290 ppm, un pied d'ambrosie produisait 5,5 grammes de pollen au cours d'une saison moyenne. Aujourd'hui, avec une teneur en CO<sub>2</sub> de 370 ppm, il en produit 10 grammes. Cela peut rendre compte de l'incidence croissante de certaines pollinoses, mais on ignore ce qu'il en est pour quantité d'autres plantes.

Ce qui est sûr, en revanche, c'est que la pollution atmosphérique favorise l'irritation des muqueuses respiratoires et oculaires, déterminant une plus grande sensibilité aux allergènes polliniques. De plus, certains polluants ont une action biochimique spécifique sur le grain de pollen lui-même ; ils sont dès lors capables de provoquer à sa surface **des microfissures**, qui facilitent l'émission dans l'air des protéines allergisantes (Laaidi *et al.*, 2002).

## Ce qui change et va changer encore

Le réchauffement climatique, entre autres sur la France, est déjà perceptible à travers plusieurs indicateurs de la croissance végétale, qu'il s'agisse de la précocité des dates de vendanges ou de récoltes. Les dates de début de pollinisation traduisent la même tendance (M. Thibaudon *et al.*, 2005), en particulier pour le bouleau (*cf.* figure 10), même si l'on relève des différences notables d'un endroit à l'autre.

**Figure 10. Dates de début de pollinisation du bouleau à Vienne (Autriche)**



*Le réchauffement sensible survenu depuis la fin des années quatre-vingt s'est traduit dans le monde végétal en termes de pollinisation de plus en plus précoce. Sur cet exemple en Autriche, le début de la pollinisation a été avancé de deux à trois semaines au cours de la seule décennie 1990.*

*Source : d'après Emberlin *et al.*, 2002.*

D'ici à la fin du XXI<sup>e</sup> siècle, des scénarios d'hivers plus doux et d'étés plus chauds sont susceptibles de s'associer à des **saisons polliniques plus précoces et plus longues**. De surcroît, il paraît plausible que les quantités de pollen émises continuent à augmenter, du double fait du CO<sub>2</sub> et du réchauffement : à la fin du siècle, par extrapolation de la tendance actuelle, chaque pied d'ambrosie pourrait produire 20 grammes de pollen par an, soit le double de ce qu'il produit aujourd'hui. En outre, du fait de la modification de la répartition spatiale des principales espèces végétales (remontée vers le nord de la végétation à l'image des courbes isothermes sur la France), il faut s'attendre à voir, ici la disparition ou la raréfaction de certains pollens allergisants (le bouleau, par exemple, dans la moitié sud du pays), là l'introduction de pollens jusqu'à quasi inconnus (l'olivier, par exemple, au nord de l'actuelle limite du climat méditerranéen).

La plupart des facteurs semblent donc agir dans la même direction, pour accentuer les risques allergiques. Si la prévalence des allergies polliniques est en

hausse depuis les années soixante-dix, **cette hausse pourrait s'accroître avec le réchauffement climatique au cours des prochaines décennies**. C'est ainsi que l'OMS, à l'échelle mondiale, n'écarte pas l'hypothèse d'une prévalence approchant 50 % d'ici à la fin du siècle. Il se pourrait donc que la pollution verte devienne sous peu un fléau plus dérangeant et au moins aussi coûteux que la pollution rouge...

## Des risques bioclimatiques variés

Les risques biométéorologiques potentiellement associés aux changements climatiques annoncés sont variés et devront être pris en considération un par un lorsqu'il s'agira d'avancer des réponses de politique sanitaire. Le choix de quatre dossiers prioritaires nous a paru naturel, afin de faire ressortir un premier message à l'adresse du législateur ou du décideur politique. Toutefois, on ne saurait aller plus avant sans au moins dire un mot d'autres risques déjà identifiés par la communauté scientifique.

### Les risques sanitaires associés aux ultraviolets (UV)

Le «trou d'ozone», lié aux CFC (chlorofluorocarbones), devrait se maintenir encore au moins quelques décennies, malgré l'arrêt quasi total des émissions depuis quelques années maintenant (protocole de Montréal, 1987). De ce fait, l'incidence toujours croissante des cataractes et des cancers de la peau (épithéliomas ou mélanomes) devrait continuer d'augmenter au moins jusqu'au milieu du XXI<sup>e</sup> siècle (Dixsaut et Février, 2005). Il n'empêche qu'un suivi des conséquences sanitaires des UV, une information permanente et des recommandations diffusées vers le public devraient dorénavant participer à contenir l'évolution des risques.

### Des effets indirects des changements climatiques

Sans pouvoir insister, on citera parmi les «autres» risques les plus préoccupants :

- un possible déplacement vers le Nord des maladies vectorielles (Bicout, 2005), risque quasi infime pour le paludisme, qui dépend beaucoup plus des conditions socio-économiques que du contexte climatique, mais risque indéniable pour d'autres maladies transmises par des moustiques (fièvre West Nile, en accord avec la remontée vers le Nord des oiseaux migrateurs qui sont le réservoir du virus), par des phlébotomes (leishmaniose) ou par des tiques (borréliose de Lyme) ;
- des maladies vétérinaires pouvant également remonter du Sud vers des régions où elles étaient jusqu'alors inconnues. Cela a été le cas pour la «**blue tongue**», **fièvre catarrhale du mouton** depuis l'année 2000 en Europe du Sud et

jusqu'en Corse. Un nouveau foyer a même été signalé aux Pays-Bas (source : AFP, 18 août 2006) : affectant ainsi pour la première fois le nord de l'Europe, il pourrait être lié à la canicule de juillet 2006.

Le transport et la **conservation des aliments** et des médicaments, la qualité sanitaire de l'eau de boisson, etc., sont autant d'autres domaines non traités ici, bien qu'ils fassent partie des risques à surveiller pour un avenir proche.

Ces risques sont d'autant plus délicats à gérer qu'ils semblent bien être associés à une lacune culturelle majeure, telle qu'elle a pu se révéler à l'été 2003. Un tel jugement ne doit certes pas cacher non plus les graves lacunes structurelles de l'accueil sanitaire révélées à l'époque, mais celles-ci n'étaient somme toute que le reflet de ce qui précède, et l'on ne saurait nier ni sous-estimer les tendances positives qui semblent se dessiner depuis lors, face aux risques météorologiques et environnementaux.

## Le risque climatique : une réponse sanitaire « en bloc »

La perception publique du risque climatique apparaît comme une clé commune à tous les risques repérés jusque-là. Préparation, information, mobilisation du public, procédures de vigilance et réponses sanitaires devraient être les maîtres mots de la gestion du risque climatique des prochaines décennies. Certains y voient, par la même occasion, l'opportunité d'une prise de distance face à l'inquiétude chronique, voire au catastrophisme, qui tend trop souvent à accompagner la perception publique du changement climatique.

De plus, l'urgence climatique est par nature toujours renouvelée et propice à l'effet de surprise. Mieux vaut apprendre à disposer de structures institutionnelles et d'information souples et de contacts horizontaux rodés entre experts. L'option du « tout prévu » ne convient pas à une culture du risque météo où l'exception est de règle.

Cette gestion passe donc dès à présent par un renforcement des liens entre Météo-France, le ministère en charge de la santé et les milieux sanitaires de surveillance et de recherche. Elle doit aussi prédésigner des acteurs et pointer du doigt des actions de surveillance, de vigilance météorologique et de suivi sanitaire, selon un schéma standard qui peut comporter cinq étapes :

- 1 – Mise en éveil saisonnière des plans d'urgence climatique, rappel des risques et identification des « populations sentinelles ».
- 2 – Observation et surveillance des risques météorologiques.
- 3 – Mise en « vigilance » face au risque dès qu'il est prévu, préalerte des acteurs et information des populations concernées.

4 – Alerte et mise en action de plans d'aide et de secours préétablis et rodés, information suivie auprès des populations sur les phénomènes en cours.

5 – Bilan, ajustement des contacts entre partenaires de milieux professionnels différents, information suivie du public.

Des stratégies d'adaptation durable à terme pourront ou devront aussi être envisagées dans les domaines de l'architecture, de l'urbanisme et des politiques de transport. Les scientifiques, à l'échelle internationale, se mobilisent fortement depuis quelques années à propos de l'impact de l'architecture des villes sur l'îlot urbain : forme des rues, couleur externe des bâtiments, choix des matériaux, toits végétaux... Toutes ces études, menées par le biais de la modélisation des climats urbains, devraient conduire vers des débouchés pratiques dans les années à venir.

Ce schéma général de réponse sanitaire est déjà celui qui a été adopté par les partenaires du Plan national canicule, qui s'est mis en place à l'été 2004. Mais cette trame ne devrait guère être différente pour d'autres risques identifiés :

- « grands froids » : cela existe depuis 2001 sous l'aspect social de l'aide aux sans-abri, mais pas encore sous le volet sanitaire ;
- « inondations » ou sécheresses : et là aussi des projets se dessinent autour d'une coordination entre Météo-France et le Service d'hydrologie et d'appui à la prévision des inondations (Schapi) pour alerter les acteurs du secours ;
- ultraviolets : pour les destinations estivales, cela se fait depuis quelques années ; mais aussi à la neige l'hiver et, en ville, l'été venu ;
- pollens et allergies : les risques sont suivis par le RNSA, qui mériterait d'être consolidé ;
- pollution atmosphérique : la Laure a déjà posé des bases solides pour le suivi, la mise en alerte, la législation et les réglementations ; des conseils de comportement accompagnent également l'information sur les niveaux de risque gérés par la fédération Atmo et les AASQA ;
- enfin, phénomènes violents : tempêtes et ouragans, orages dévastateurs, risques d'avalanche, fortes chutes de neige et autres phénomènes glissants... Là aussi, la procédure de vigilance de Météo-France a posé des jalons vers une culture du risque météorologique.



# Changement climatique et émergences de maladies animales et humaines en France métropolitaine

François Moutou, AFSSA

## Introduction

L'Agence française de sécurité sanitaire des aliments (AFSSA) a réalisé une analyse de risque sur les conséquences prévisibles du réchauffement de la planète, analyse relative à l'apparition, l'émergence et le développement possible de maladies contagieuses animales, en particulier les zoonoses, c'est-à-dire les maladies communes aux hommes et aux animaux, pouvant passer des uns aux autres. Le champ géographique a été limité à la France métropolitaine. La méthodologie suivie et les résultats obtenus sont présentés. La démarche a consisté en une analyse de risque qualitative. Les maladies ont été essentiellement classées selon leurs modes respectifs de transmission. Le bilan propose six maladies à surveiller, la fièvre de West Nile, la fièvre de la vallée du Rift, la fièvre catarrhale ovine, la peste équine, la leishmaniose et la leptospirose. Il y a donc quatre maladies virales, une parasitaire et une bactérienne, quatre zoonoses et deux maladies animales strictes, cinq maladies transmises par des arthropodes et une maladie hydrique, enfin quatre sont déjà présentes à des degrés divers et deux encore absentes du territoire.

À la suite de l'été 2003, l'AFSSA a reçu une saisine émanant de la Direction générale de l'alimentation (DGAI) du ministère chargé de l'Agriculture, demandant une évaluation du risque représenté par le changement climatique global, dont le risque de réchauffement, en explorant à la fois l'aspect santé animale mais aussi les conséquences en termes de santé publique. Un groupe de travail a été constitué pour répondre à cette question. Il a développé une méthode d'approche qualitative car trop de données quantitatives manquent encore. Il faut aussi faire remarquer que si le réchauffement futur de la planète à l'échelle globale, dans le cadre de différents scénarios économiques, n'est plus vraiment discuté, les conséquences prévisibles au niveau local, comme à l'échelle d'un pays, restent bien délicates à anticiper. Le rapport (AFSSA, 2005) est accessible librement sur le site de l'AFSSA ([www.afssa.fr](http://www.afssa.fr)).

Le groupe de travail était composé de : E. Albina (CIRAD) ; G. André-Fontaine (ENVN) ; M. Armangaud (Académie de médecine) ; G. Dreyfuss (faculté de pharmacie de Limoges) ; B. Dufour (ENVA) ; G. Duvallet (université de Montpellier) ; G. Gauchard (AFSSA, coordination scientifique) ; A.-M. Hattenberger (AFSSA, coordination scientifique) ; F. Moutou (AFSSA) ; F. Rodhain (Institut Pasteur, président) ; S. Zientara (AFSSA). Il s'est réuni dix fois entre fin 2003 et début 2005.

## Méthode

La première étape a été de cerner les conséquences d'un changement climatique à l'échelle du pays. Pour cela, le groupe de travail a pu auditionner deux experts, Jean Jouzel (Institut Pierre Simon Laplace) et Serge Planton (Météorologie nationale) afin de poser le cadre de la démarche. La réalité et les enjeux du changement climatique ont été d'abord présentés à l'échelle planétaire. Ensuite, sur une surface comme celle de la France métropolitaine, il semble que l'on puisse déjà suggérer quelques particularités régionales. C'est ainsi que la température augmenterait plus dans la partie sud que dans la partie nord, que cette partie méridionale expérimenterait un climat plus sec, enfin que les minimums thermiques nocturnes augmenteraient plus vite que les maximums diurnes.

Les divers écosystèmes et agrosystèmes de nos régions subiraient de réelles modifications de fonctionnement avec des variations au niveau de la composition de la biodiversité et donc des communautés d'espèces en présence, des cycles nutritionnels et sans doute également des comportements humains. Les modes de transmission des maladies, au travers de divers impacts potentiels sur les hôtes, les agents pathogènes et les vecteurs, seraient probablement concernés également. L'exercice, ici limité à la France métropolitaine, serait à faire pour les départements et territoires français d'outre-mer car les conditions écologiques, les régions biogéographiques, les écosystèmes concernés et les risques épidémiologiques n'y sont pas les mêmes. Une approche spécifique et adaptée à chaque région géographique serait à développer. La même démarche pourrait être proposée pour d'autres régions de la planète.

On peut donc imaginer que les conséquences du changement climatique agissent sur le risque d'introduction de maladies exotiques, sur le risque de pérennisation de certaines d'entre elles et sur le risque d'extension géographique de maladies déjà présentes ou assez proches de nos frontières. Les paramètres intervenant combineront l'introduction accidentelle et naturelle d'animaux infectés (oiseaux migrateurs par exemple) ou de vecteurs mais aussi le transport de personnes, d'animaux ou de marchandises. Ces introductions et ces déplacements d'espèces, de vecteurs, d'hôtes et de maladies, se produisent déjà depuis longtemps mais le changement climatique serait alors à percevoir comme une possibilité de voir se maintenir des espèces, des vecteurs, des hôtes ou des maladies qui normalement ne pouvaient pas se « naturaliser » sous les climats tempérés ouest-européens. Ces risques sont aussi à apprécier

selon l'intensité des courants commerciaux et le développement de nouvelles voies d'échanges.

La méthode d'analyse qualitative retenue est développée dans les rapports de l'AFSSA et a été récemment publiée (Dufour et Moutou, 2007). Les cinq qualificatifs utilisés sont : nul, négligeable, faible, modéré, élevé. Le tableau 1 résume le bilan pour les maladies analysées et les quatre critères retenus : probabilités d'évolution épidémiologique, conséquences pour la santé animale, conséquences pour la santé humaine, conséquences économiques.

### Hierarchisation

Les maladies animales, dont les zoonoses, ont été passées en revue selon leurs modes de transmission. Il semble en effet que dans le contexte de changements climatiques, c'est probablement par le biais des phases de transmission des agents responsables des maladies que le plus grand impact puisse être anticipé. C'est ainsi que l'on a distingué :

- les risques liés à des vecteurs arthropodes (insectes et tiques) ;
- les risques liés aux mollusques ;
- les risques liés à la faune sauvage hors invertébrés (mammifères et oiseaux) ;
- les risques plutôt en relation avec des facteurs humains associés à des changements d'habitudes et de comportements.

Dans ce contexte, les risques émergents correspondent pour partie à des maladies non encore présentes sous nos climats mais qui pourraient y arriver à la faveur du réchauffement de la planète ou de transports humains et surtout s'y installer après une première introduction. Les autres sont déjà présentes chez nous. Les critères retenus pour apprécier les risques d'évolution sont les suivants : probabilités d'évolution épidémiologique, conséquences pour la santé animale, conséquences pour la santé humaine, conséquences économiques. La combinaison des appréciations des probabilités est présentée dans le tableau 3. L'importance économique (maladies animales) et sanitaire (maladies humaines) des diverses maladies est à associer à l'appréciation de leurs probabilités d'évolution d'incidence ou de répartition.

L'étude a donc montré que certaines maladies ne changeraient sans doute pas d'incidence à cause des changements climatiques prévisibles, au moins en ce qui concerne l'Europe occidentale, mais que par contre six d'entre elles étaient manifestement à suivre de près. L'approche par type de transmission a probablement permis d'éviter une énumération, nécessairement incomplète, de toutes les maladies connues et de se focaliser plutôt sur les paramètres physiques et écologiques de transmission des agents pathogènes. C'est sans doute à ce niveau que l'impact du changement climatique global se ferait le plus sentir.

Parmi ces six maladies retenues, cinq sont des zoonoses et cinq aussi (mais pas les cinq mêmes) sont transmises de façon obligatoire ou partielle par des

vecteurs, insectes en l'occurrence. Leur incidence pourrait soit augmenter, soit apparaître en France alors qu'elles n'y sont pas encore. Il s'agit de :

- la fièvre de la vallée du Rift, RVF (virus) ;
- la fièvre West Nile, WN (virus) ;
- la leishmaniose viscérale (protozoaire parasite) ;
- la leptospirose (bactérie) ;
- la fièvre catarrhale ovine (virus) ;
- la peste équine (virus).

La fièvre de la vallée du Rift et la peste équine ne sont pas encore présentes en Europe occidentale. La fièvre catarrhale ovine est présente en Corse et autour des Ardennes ; elle est maintenant également installée depuis ces toutes dernières années dans les péninsules ibérique, italienne et balkanique, manifestement en provenance du Sud. Son arrivée en été 2006 au Benelux est une surprise. Les autres maladies sont déjà présentes sur le territoire.

Carrefour entre trois continents, la région méditerranéenne est manifestement une partie du monde particulièrement importante en termes d'épidémiologie. Si l'on y ajoute le volume et la densité des mouvements humains et commerciaux qui la traversent, on comprendra l'intérêt d'y organiser une surveillance épidémiologique au niveau des enjeux tels qu'ils sont déjà connus.

On peut signaler que les maladies transmises par les tiques n'ont pas été retenues à ce stade. Il semblerait en effet, et c'est le raisonnement suivi par le groupe de travail, qu'une augmentation globale de température ne soit pas nécessairement un facteur favorable à ces espèces, plutôt actives au printemps et en automne qu'en plein été ou en hiver. Il faut y ajouter le fait que l'augmentation actuelle d'incidence de certaines maladies à tiques est peut-être plus à relier à l'augmentation de population des vertébrés hôtes (cervidés par exemple) qu'à un changement de climat. La discussion reste ouverte.

### Les six maladies

- *La fièvre de la vallée du Rift (FVR)*

Comme son nom l'indique, cette maladie a été découverte en Afrique orientale. Son apparition récente en Égypte d'un côté, aux confins du Sénégal et de la Mauritanie de l'autre, l'a soudain rapprochée de la Méditerranée et fait réellement craindre un passage vers les rives nord. Le virus est présent chez les petits ruminants, moutons et chèvres qui font office de réservoir, mais il peut passer à l'homme. Des insectes, comme un contact direct avec des animaux malades ou des produits souillés, peuvent expliquer la contamination humaine. Chez les petits ruminants, le signe clinique majeur correspond à un avortement des femelles. C'est aussi une phase importante d'émission du virus et donc de contamination. Chez l'homme, il s'agit d'une fièvre hémorragique.

- *La fièvre du Nil occidental (West Nile ou WN)*

Le virus de la fièvre de West Nile est connu dans tout l'Ancien Monde et, depuis peu, en Amérique. C'est un virus d'oiseaux qui peut passer vers les mammifères, hommes et chevaux, grâce à des moustiques. Il n'y a pas de passage direct d'un individu malade à un individu sain sans une piqûre de moustique. Quelques cas humains et équinés ont été décrits depuis les années soixante dans le sud-est de la France, en Camargue, dans le département du Var (Durand *et al.* 2005) et dans les Pyrénées-Orientales. Le nombre de cas repérés dans le sud de la France reste peu élevé et signe tout autant une possible réémergence qu'une meilleure surveillance. Le regain d'intérêt pour cette maladie est en effet lié à son développement en Amérique. La maladie est arrivée à New York en 1999 et depuis elle a gagné pratiquement l'ensemble du continent. Cependant, l'épidémiologie de la maladie aux États-Unis ne correspond pas à ce qui était connu dans l'Ancien Monde et il n'est pas certain que le schéma américain soit applicable ailleurs. En Amérique, l'arrivée la plus probable du virus serait liée au commerce international des oiseaux de cage et de volière.

- *La leishmaniose*

Cette maladie parasitaire est transmise par de petits diptères, les phlébotomes (famille des Psychodidés, genres *Lutzomyia* et *Phlebotomus*) et peut présenter des formes cutanées comme des formes viscérales. Le réservoir se situe dans la faune sauvage, les mammifères canidés comme les renards roux (*Vulpes vulpes*) tout particulièrement. Elle est déjà naturellement présente dans le sud de la France. Le développement actuel de la leishmaniose viscérale est autant lié à des paramètres climatiques qu'à des facteurs humains d'aménagement du territoire, favorables aux phlébotomes dans le Sud. En effet, les environs de Montpellier, par exemple, sont récemment devenus des zones résidentielles avec le développement de jardins arrosés autour des maisons. L'existence de nombreux chiens domestiques, également bons récepteurs du parasite, explique certainement une partie de l'augmentation de présence de la maladie. Dans ce contexte, il est clair que les modifications climatiques et des modifications humaines du milieu se combinent pour permettre une réelle extension de la zone de présence du parasite et des insectes vecteurs.

- *La leptospirose*

Cette maladie est due à un ensemble de bactéries, les leptospires, présentes naturellement dans les reins et donc l'urine de nombreux mammifères, les rongeurs tout particulièrement. Les carnivores domestiques, comme les animaux de rente, peuvent aussi les héberger. On pourrait craindre que le réchauffement climatique ait deux conséquences défavorables par rapport à ce risque : de plus nombreuses baignades et pendant plus longtemps en été ainsi qu'une concentration des baigneurs et des mammifères sauvages autour des mêmes points d'eau. La leptospirose est déjà naturellement présente sur l'ensemble du territoire français et son incidence est donc à suivre. On peut encore signaler que les espèces de rongeurs semi-aquatiques le plus souvent concernées, le

ragondin (*Myocastor coypus*), le rat musqué (*Ondatra zibethicus*) et le rat surmulot (*Rattus norvegicus*) ont tous les trois été introduits en Europe, les deux premiers d'Amérique, le troisième d'Asie (Moutou, 1997).

- *La fièvre catarrhale ovine*

La fièvre catarrhale ovine est transmise par un diptère du genre *Culicoides*, en particulier par *C. imicola*. La maladie a été découverte en 2000 en Corse après être apparue en Tunisie, aux Baléares, en Sardaigne et dans les Balkans peu avant. L'insecte est également présent dans la région Provence-Alpes-Côte-d'Azur, peut-être depuis peu. Le suivi entomologique médical et vétérinaire de ces départements n'ayant pas été très régulier, il est délicat de préciser si l'apparition du moucheron a précédé de peu, ou non, l'arrivée du virus et l'émergence de la maladie. La maladie a été trouvée en 2004 dans le sud de la péninsule ibérique et en 2006 dans les Ardennes. Elle touche les moutons et les chèvres, les bovins pouvant être infectés par les diptères, le plus souvent sans être malades. Il ne s'agit pas d'une zoonose.

On peut encore signaler que le virus existe sous vingt-quatre types antigéniques différents et que chaque type n'immunise que contre lui-même (cas de la vaccination). Plusieurs types sont déjà arrivés dans l'espace méditerranéen. L'origine et les voies d'acheminement de chacun ne sont pas connues. Cela signe néanmoins leur facilité de circulation, peut-être à travers le commerce des moutons, peut-être *via* la circulation des insectes, peut-être grâce à la combinaison de plusieurs de ces paramètres.

- *La peste équine*

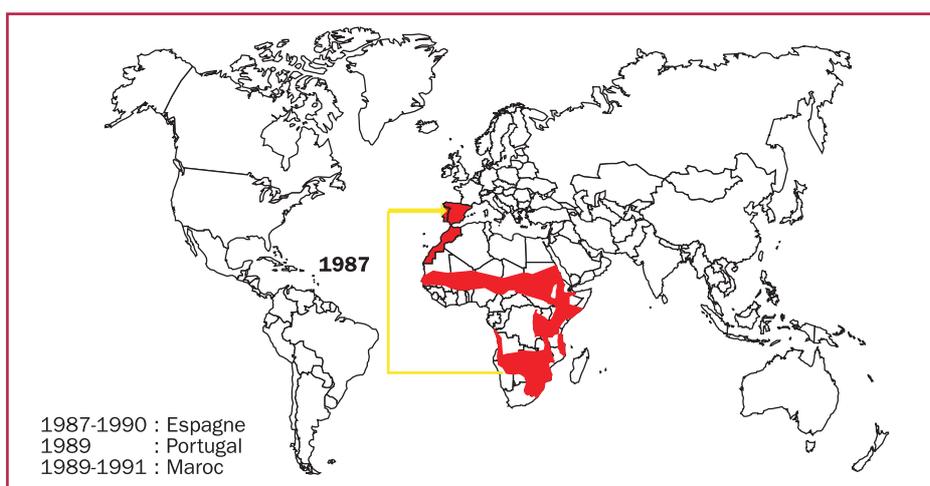
La peste équine, qui est très proche de la fièvre catarrhale ovine, avec un virus du même groupe et un vecteur du même genre *Culicoides*, n'est connue que d'Afrique au sud du Sahara à ce jour, avec seulement quelques rares incursions en Europe, soit avec des équidés malades soit avec l'arrivée des diptères, probablement portés par le vent (Maroc vers la péninsule ibérique par exemple, *cf.* figure 11). Les zèbres en sont le réservoir naturel. Il ne s'agit pas d'une zoonose. Néanmoins, les conséquences de son développement en termes d'élevage et de commerce de chevaux peuvent être très lourdes. Les épreuves équestres des jeux olympiques de Barcelone (1992) avaient failli devoir être remises en question à la suite d'un premier foyer apparu en Espagne dans la région de Madrid en 1987. L'arrivée du virus et la découverte subséquente de cas sur des chevaux espagnols étaient manifestement liées à l'importation de deux zèbres de Namibie (Afrique australe) destinés à un parc zoologique local. Les mouvements de chevaux qui avaient suivi s'étaient traduits par le déplacement de la maladie en Andalousie où la douceur du climat avait permis aux insectes et au virus de se maintenir jusqu'en 1989.

## Conclusions

Le bilan de cette analyse met l'accent sur différents points, en particulier dans le domaine de la recherche et dans le domaine de la surveillance épidémiologique. Par exemple, l'importance des vecteurs arthropodes (insectes ici) est manifeste et apparaît comme majeure dans le contexte du changement global. Cela signifie aussi que les compétences dans le domaine de l'entomologie et tout particulièrement de l'entomologie médicale sont essentielles alors que les formations correspondantes avaient été pas mal négligées comme le montrent les cursus universitaires récents. Le changement climatique global, avec ses impacts sur l'environnement, nécessite de mieux prendre en compte les facteurs écologiques des écosystèmes et des agrosystèmes dans lesquels nous vivons.

En conclusion, cette étude a conduit le groupe de travail à proposer un certain nombre de recommandations, en particulier dans le domaine des systèmes de surveillance épidémiologique comprenant des réseaux de veille sanitaire et écologique, sans oublier les besoins de recherches (nécessaires et non couverts) ainsi que les besoins en information et en formation sur ces sujets sensibles mais complexes. Sans développer ce dernier point, il est clair aussi que la bonne façon de parler de ces questions sanitaires associées aux questions de changement climatique n'est pas évidente, entre la surenchère médiatique et l'indifférence totale. Il est aussi possible de procéder à des réévaluations régulières de ces questions et de vérifier si les priorités de surveillance restent adaptées aux risques connus.

**Figure 11. Répartition géographique de la peste équine, maladie enzootique au sud d'une ligne allant du Sénégal, à l'Éthiopie et présente également en Afrique du Sud. Des flambées épizootiques meurtrières de la peste équine peuvent apparaître en dehors de ces zones chez les équidés domestiques**



**Tableau 3. Probabilités d'évolution épidémiologique, conséquences pour la santé animale et humaine et conséquences économiques des maladies retenues dans un contexte de changement climatique**

Maladies classées par ordre alphabétique	Probabilités d'évolution	Conséquences sur la santé animale	Conséquences sur la santé humaine	Conséquences économiques
Anémie infectieuse des équidés	Négligeable à faible	Faible	Nulle	Négligeable
Babésioses thélériosos	Négligeable à faible	Faible	Négligeable	Faible
Botulisme	Faible	Faible à modérée	Faible à modérée	Négligeable à faible
Dermatite cercarienne	Faible	Nulle	Négligeable	Nulle
Dirofilarioses	Élevée	Négligeable	Négligeable	Négligeable
Distomatoses	Faible	Négligeable à faible	Négligeable à faible	Négligeable
Ehrlichioses et anaplasmoses	Faible	Faible	Négligeable	Négligeable à faible
Fièvre boutonneuse méditerranéenne	Faible à modérée	Négligeable	Négligeable	Faible
Fièvre catarrhale ovine	Élevée	Modérée	Nulle	Modérée à élevée
Fièvre charbonneuse	Négligeable	Négligeable à faible	Négligeable	Négligeable
Fièvre de la vallée du Rift	Négligeable à faible	Modérée à élevée	Modérée	Modérée à élevée
Fièvre de West Nile	Élevée	Faible à modérée	Faible à modérée	Faible
Fièvre Q	Négligeable à faible	Faible	Faible à modérée	Faible à modérée
Leishmaniose viscérale	Élevée	Faible	Négligeable à faible	Faible
Leptospiroses	Modérée à élevée	Faible à modérée	Modérée	Faible
Maladies liées aux Cyanobactéries	Négligeable	Négligeable	Nulle	Négligeable
Myiases	Faible à modérée	Faible à modérée	Négligeable	Négligeable
Peste équine	Faible à modérée	Élevée	Nulle	Élevée
Psittacose	Négligeable	Négligeable	Négligeable	Négligeable
Rickettsioses (autres)	Négligeable	Négligeable	Négligeable	Nulle

# Impacts potentiels du changement climatique sur la santé : l'exemple des maladies à vecteurs

François Rodhain, *Institut Pasteur*

## Introduction

Les modifications climatiques observées ou annoncées ici ou là inquiètent. Elles inquiètent certains scientifiques, elles inquiètent les décideurs et, relayées et parfois amplifiées par les médias, elles inquiètent finalement l'ensemble de la population. À côté, ou en plus, de phénomènes plus ou moins cycliques, comme les fameuses oscillations du Pacifique (*El Niño-Southern Oscillation*, en anglais) ou de l'Atlantique Nord (NAO, *North Atlantic Oscillation*, en anglais), ou encore de phénomènes extrêmes plus ou moins localisés (sécheresses, canicules, tempêtes de vent, cyclones, inondations...), on observe, depuis un siècle environ, une certaine tendance générale à une hausse de la température, associée à des modifications du régime des précipitations (et ce dernier aspect est peut-être le plus important pour notre propos).

Il est dès lors légitime de s'interroger sur les conséquences que pourraient avoir ces variations sur, par exemple, la répartition ou l'incidence des maladies, ne serait-ce que pour s'y préparer au mieux. Quelles pourraient donc être les conséquences de tels phénomènes en matière de santé, en particulier sur l'épidémiologie des maladies transmissibles? Sommes-nous aujourd'hui réellement en mesure de répondre à cette question?

Les plus complexes des systèmes épidémiologiques sont ceux dans lesquels la transmission de l'agent infectieux (qui peut être un virus, une bactérie, un protozoaire ou un helminthe) est assurée par un vecteur, c'est-à-dire un insecte ou un acarien hématophage.

## Le cas des maladies à vecteurs

Avec les maladies à vecteurs, nous avons affaire à un mode de transmission très particulier puisque les agents infectieux en cause font ici appel à un arthropode

pour assurer leur dissémination d'un individu à un autre. Beaucoup de ces affections, qu'elles soient humaines ou animales, concernent les pays tropicaux mais quelques-unes sont présentes en Europe occidentale (infection à virus West Nile, encéphalite à tiques, fièvres à phlébotomes, leishmanioses, fièvre catarrhale ovine, rickettsioses, babésioses, borréliose de Lyme...), ou risqueraient peut-être d'y être introduites (fièvre de la vallée du Rift, peste équine, dengue, infection à virus chikungunya...).

Sur le plan épidémiologique, les systèmes vectoriels sont constitués de trois éléments fondamentaux (l'agent infectieux, le vecteur, le vertébré) ayant des relations étroites entre eux et avec l'environnement. Ce sont, de ce fait, des systèmes épidémiologiques extrêmement complexes, dont le fonctionnement demeure mal connu, mais on comprend aisément qu'ils soient sensibles aux changements environnementaux, en particulier aux variations climatiques. En théorie au moins, les conséquences d'une modification du climat peuvent affecter, de manière indépendante, tous les composants biotiques du système épidémiologique, soit de façon directe, soit indirectement par action sur l'écosystème au sein duquel ils vivent. Par conséquent, suivant les maladies considérées, ces modifications peuvent, en premier lieu, intervenir sur :

- l'agent infectieux lui-même, en particulier sur le plan génétique, par la sélection des populations les mieux adaptées aux conditions environnementales, avec des conséquences, par exemple, sur la répartition des génotypes ou sur leur virulence ;
- la répartition, l'abondance, l'éthologie, la dynamique et la structuration génétique des populations des vertébrés réservoirs, amplificateurs ou disséminateurs, qu'il s'agisse d'animaux sauvages, d'animaux domestiques, de l'homme ;
- la répartition, l'abondance, l'éthologie, la dynamique et la structuration génétique des populations d'arthropodes vecteurs.

Mais, en outre, les conséquences peuvent également se manifester sur les relations que ces composants ont entre eux : contacts écologiques entre populations (par exemple entre les réservoirs et les vecteurs, entre certains vecteurs et la population humaine...), vitesse et intensité du développement de l'agent infectieux au sein de ses différents hôtes, alternativement vertébrés et invertébrés (y compris, chez les vertébrés, les phénomènes immunitaires résultant de ce développement). Ainsi, pour ce qui est du vecteur, l'impact d'une augmentation significative et durable de température pourrait se manifester de plusieurs façons :

- une modification de la répartition géographique du vecteur (par exemple : remontée vers le nord, ou vers des altitudes supérieures), ou de sa densité (en gardant en mémoire le fait qu'il n'y a pas nécessairement de proportionnalité entre la densité d'un vecteur et l'incidence de la maladie transmise). Cependant, les effets se feraient certainement aussi sentir sur toutes les populations des compétiteurs et des ennemis naturels des vecteurs (prédateurs, agents entomopathogènes), et les effets finaux en demeurent difficilement prévisibles actuellement, compte tenu de notre grande ignorance quant aux interrelations de tous ces organismes dans les conditions naturelles ;

- un allongement de la longévité du vecteur, en cas d'augmentation parallèle de l'humidité, ce qui augmenterait sa capacité vectorielle; une augmentation de la sécheresse, en revanche, diminuerait cette capacité;
- une modification de la dynamique saisonnière des populations du vecteur en cas de changement concomitant de la répartition des précipitations, d'où une répercussion sur la saisonnalité de la transmission;
- un raccourcissement du cycle de développement du vecteur, voire augmentation du nombre annuel de générations, ce qui peut avoir des répercussions sur la structure génétique de ses populations, avec peut-être des effets sur, par exemple, la survenue d'une résistance aux insecticides;
- un raccourcissement de la durée d'incubation extrinsèque (durée de l'indispensable développement de l'agent infectieux dans l'organisme du vecteur), ce qui faciliterait la transmission;
- une modification des modalités d'une éventuelle transmission verticale (transmission de l'agent infectieux d'une génération à la suivante dans la population du vecteur qui peut alors se comporter comme un réservoir naturel).

Tous ces effets peuvent se potentialiser ou, au contraire, se contrebalancer au moins partiellement. Sur les maladies, ils pourraient se traduire par des modifications, en plus ou en moins, des répartitions géographiques des zones endémiques (en particulier pour les maladies dites «à foyers naturels»), ou de la dissémination d'épidémies, ou encore par des variations, toujours en plus ou en moins, des saisons de transmission (avec des répercussions sur les rapidités d'acquisition et les niveaux de l'immunité dans les populations), ou des intensités de transmission, donc de l'incidence des maladies concernées.

En réalité, compte tenu du nombre des facteurs étroitement intriqués à considérer, l'extrême complexité des systèmes épidémiologiques impliquant l'intervention d'arthropodes vecteurs rend très délicate toute analyse des effets éventuels d'une modification climatique, quelle qu'elle soit, sans recourir à des modèles mathématiques permettant des simulations. Or, nous ne disposons pas toujours de tels modèles. Partant, les prédictions dans ce domaine apparaissent assez conjecturales, d'autant plus qu'il convient également de prendre garde à ne pas négliger les observations de terrain, rigoureuses et prolongées, qui, seules, peuvent permettre de vérifier les hypothèses formulées par les épidémiologistes théoriciens.

Ce faisant, la première constatation est qu'un grand nombre de publications, parfois assez discordantes, sur le sujet ont vu le jour depuis une dizaine d'années. Parmi toutes les affirmations publiées ici ou là, certaines paraissent vraisemblables, d'autres relèvent manifestement du sensationnel, d'autres encore, les plus nombreuses, demandent à être nuancées ou doivent donner lieu à une étude ou, au moins, une réflexion approfondie. En tout état de cause, les conséquences d'une augmentation de température ne seraient sans doute pas identiques dans tous les cas.

## Cas concrets en Europe

Nous pouvons néanmoins, avec toute la prudence qui s'impose, tenter de raisonner sur quelques exemples assez documentés susceptibles de concerner l'Europe occidentale. Ainsi :

- *La leishmaniose*

Les phlébotomes vecteurs de ces protozooses sont très sensibles aux facteurs climatiques ; en témoignent les dynamiques des populations de certaines espèces que l'on observe dans des régions aux variations climatiques suffisamment nettes, comme le pourtour méditerranéen où ces insectes ne sont guère actifs que durant l'été. Les résultats d'études s'appuyant sur des modélisations ont permis de conclure, d'une part, que les distributions géographiques des phlébotomes en Italie étaient dépendantes des températures minimales, ce qui paraît logique pour des insectes à activité nocturne, d'autre part, que la répartition et la fréquence des infections leishmaniennes étaient corrélées avec les températures maximales moyennes. La conclusion est qu'une augmentation de température serait susceptible d'entraîner une extension vers le nord de certains vecteurs et, partant, de la leishmaniose viscérale. Encore faut-il que l'humidité, à laquelle les phlébotomes sont également très sensibles, ne leur devienne pas défavorable. L'observation de la présence récente de phlébotomes dans la vallée d'Aoste semble confirmer ces prévisions.

- *Le paludisme*

De nombreuses régions d'Europe étaient autrefois impaludées, et ce depuis le néolithique ; l'endémie en fut éliminée au début du XX<sup>e</sup> siècle, sans pour autant que les vecteurs aient disparu. L'élimination de la maladie ne fut pas liée à des modifications climatiques, mais aux progrès accomplis dans les domaines socio-économique et sanitaire (amélioration de l'habitat, éloignement du bétail, disponibilité de la quinine...); le climat y est donc toujours favorable, et tout porte à penser qu'aujourd'hui, en cas d'introduction de parasites dans ces pays industrialisés où des anophèles sont de toute façon présents, une quelconque modification climatique ne créerait guère de risque supplémentaire de réimplantation de l'endémie, et ce d'autant plus que les anophèles européens ne seraient pas nécessairement de bons vecteurs pour des souches plasmodiales tropicales qui ne leur seraient pas adaptées.

- *La dengue*

Certains redoutent de voir réapparaître la dengue en Europe, à la suite de l'introduction dans la région méditerranéenne de moustiques vecteurs potentiels, comme *Aedes albopictus*, déjà établi depuis quelques années en Albanie et en Italie ou en France, ou même comme *Aedes aegypti* qui pourrait bien arriver un jour grâce au développement des transports. Cette éventualité n'est sans doute pas à rejeter : la dengue a sévi dans cette région dans les années vingt

sous forme d'épidémies parfois considérables, et les conditions de vie n'y ont guère changé : les villes méditerranéennes sont toujours densément peuplées, la climatisation des habitations demeure rare, les portes et les fenêtres sont constamment ouvertes, les activités en plein air y sont permanentes durant la journée... Les conditions climatiques y sont déjà favorables, mais on peut penser qu'à la suite d'un réchauffement, la progression d'un vecteur une fois introduit pourrait menacer quelques nouvelles régions où ce mode de vie est encore très répandu. Mais sans doute aurions-nous, en France, les moyens de faire face rapidement à un tel danger.

- *Les maladies transmises par les tiques*

On peut penser que les modifications climatiques auraient, à la longue, des répercussions sur les populations de tiques. En théorie, ceci pourrait avoir un impact, par exemple sur la transmission de la borréliose de Lyme ; dans l'hypothèse envisagée d'un réchauffement, une circulation accrue du germe pourrait se manifester au printemps (maximum d'activité, chez les tiques, des stades infectants pour l'homme), peut-être contrebalancée, mais en partie seulement, par une diminution d'activité en automne. Toutefois, le vecteur, *Ixodes ricinus*, se trouverait très défavorisé par une diminution de l'humidité, de sorte qu'une augmentation significative de l'incidence de la borréliose paraît fort peu probable en France. Il conviendrait en outre de tenir compte de l'évolution des populations des rongeurs sauvages (mulots, campagnols...) et des cervidés impliqués dans la circulation de la bactérie comme dans la maintenance des populations de tiques. Par ailleurs, les tiques du genre *Rhipicephalus*, aujourd'hui surtout confinées dans les régions méridionales, pourraient voir progresser la limite nord de leurs populations, ce qui risquerait d'entraîner une expansion des foyers de la fièvre boutonneuse due à *Rickettsia conori*. La plupart des affections à tiques sont des maladies dites « à foyers naturels », ce qui signifie qu'un lien étroit existe entre la circulation des agents infectieux et des écosystèmes particuliers ; ces derniers peuvent évidemment être affectés par un changement climatique prolongé, mais les systèmes épidémiologiques des maladies à tiques sont généralement assez stables, et, compte tenu de leur inertie, ils ne pourraient vraisemblablement évoluer que lentement.

## Conclusions

Un rapport récent de l'AFSSA (2005) relatif aux conséquences que pourrait présenter un tel changement climatique sur les maladies infectieuses animales a permis d'attirer l'attention sur six maladies qui pourraient en être affectées : fièvre de la vallée du Rift, fièvre à virus West Nile, leptospirose, leishmaniose, fièvre catarrhale ovine et peste équine. On remarquera que, sur ces six maladies, cinq sont des maladies à vecteurs.

Il convient enfin de noter que certains vecteurs ne devraient se montrer que peu sensibles aux changements d'environnement, soit parce qu'ils vivent en ectoparasites permanents, soit en raison de leur adaptation aux environnements relativement constants que sont les habitations humaines, les terriers de rongeurs... Les maladies que transmettent ces vecteurs ne devraient donc guère être affectées par les variations climatiques.

Il paraît nécessaire de rappeler quelques points importants.

En premier lieu, il est essentiel d'avoir présent à l'esprit le fait que si, le plus souvent, le vecteur est certes indispensable à la transmission de la maladie, sa seule présence n'est pas suffisante, et la répartition géographique du vecteur est généralement plus vaste que celle de la maladie. Ce qui signifie que d'autres facteurs limitants interviennent, même s'ils ne sont pas tous identifiés.

De plus, il convient aussi de se souvenir qu'il n'y a pas nécessairement proportionnalité entre la densité du vecteur et l'intensité de la transmission de la maladie, ni entre cette intensité et la morbidité, et, encore moins, la mortalité. Il n'est même pas certain qu'une augmentation de l'intensité de la circulation d'un agent infectieux entraîne automatiquement une plus forte létalité.

Les situations des maladies à vecteurs sont très complexes. À l'évidence, pour tout un ensemble de raisons, nous sommes très loin du schéma :

***Augmentation de température → Augmentation des vecteurs → Augmentation des maladies.***

Ce schéma apparaît très simpliste, sans être nécessairement totalement faux dans son principe. Il ne faut pas raisonner seulement en termes de température, mais nous devons considérer les conséquences de tout un ensemble de modifications susceptibles de se manifester. Ceci dit, en évitant les scénarios catastrophes parfois annoncés, il est clair qu'un changement climatique suffisamment prolongé ne peut manquer d'avoir un impact, même si ces modifications ne sont pas uniformes dans leur distribution. Les conséquences d'une augmentation de température (le facteur dont les variations sont le plus fréquemment évoquées) ne seront probablement pas identiques dans tous les cas. Vraisemblablement, cet impact se fera surtout sentir sur les franges (altitudinales ou latitudinales) des zones endémiques, dans ces zones limites où les équilibres sont toujours précaires.

Il y a donc sans doute des risques, ici ou là, nous l'avons dit. Il convient de les évaluer. Ces risques sont probablement assez faibles et, de toute façon, non généralisés : ils ne concernent que certaines maladies, dans certaines régions, et, bien souvent, on aurait les moyens techniques d'y faire face. L'essentiel est de savoir s'y préparer pour ne pas se trouver, comme c'est si souvent le cas, dans la situation d'avoir à y répondre après coup, c'est-à-dire trop tard. Il est, à l'évidence, important de tenter d'apprécier correctement les conséquences du changement climatique. Encore conviendrait-il, pour ce faire, examiner la

question en prenant en compte l'ensemble des facteurs impliqués, et non pas seulement ceux que l'on sait mesurer, en délaissant les autres.

Dans la plupart des cas, les aspects humains, sociaux, économiques... ont au moins autant d'importance que ceux qui sont liés à l'environnement climatique. Nous nous trouvons certes dans un contexte climatologique et écologique, mais aussi dans un contexte socio-économique et politique.

Pour être à même de prendre à temps les dispositions nécessaires, il conviendrait de faire porter nos efforts dans trois directions (« les trois A ») :

a) *Améliorer* la surveillance épidémiologique. Cette surveillance est ici appelée à jouer un rôle primordial. Un suivi rigoureux devrait fournir des informations décisives sur les tendances évolutives des systèmes vectoriels dans les prochaines années. D'assez nombreux programmes internationaux se mettent d'ailleurs en place, concernant par exemple le paludisme, les trypanosomoses ou les maladies transmises par tiques, afin de mettre en relation les systèmes d'information géographique, les données météorologiques fournies par la surveillance satellitaire, et les types d'associations végétales et les faunes qui leur sont associées, la répartition des écosystèmes, celle des zones d'endémie ou l'évaluation du risque épidémiologique. Ce n'est qu'en se fondant sur des données nombreuses, précises, fiables, permanentes, qu'il sera possible de prendre les décisions qui s'imposeront.

Il nous faut acquérir beaucoup plus d'informations sur l'écologie des vecteurs et des réservoirs, sur le fonctionnement des systèmes vectoriels. Il faut développer rapidement la recherche dans ces domaines où subsistent beaucoup trop d'inconnues ou d'approximations. Ceci peut d'ailleurs concerner à la fois les maladies de l'homme, celles des animaux, et celles des végétaux, ce qui justifierait des approches en commun, des programmes intégrés.

b) *Amplifier* l'effort de recherche pour mieux comprendre le fonctionnement des systèmes vectoriels dans des environnements en constante évolution.

c) *Augmenter* nos capacités de formation pour disposer de davantage d'épidémiologistes, d'écologistes, d'entomologistes compétents et expérimentés, de systématiciens, de spécialistes de la biodiversité. La relève n'est malheureusement plus assurée dans ces disciplines alors que la maintenance d'une expertise dans ces domaines est essentielle.



# Changement climatique et maladies infectieuses outre-mer

Philippe Sabatier, *ENVL-Inra*

## Introduction

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec) estime dans son rapport (IPCC, 2001b) que le changement climatique, et notamment la multiplication des événements extrêmes, devrait favoriser l'émergence de maladies infectieuses. De fait, on constate une recrudescence mondiale de plusieurs maladies infectieuses : dengue, fièvre du Nil occidental, fièvre jaune... Certaines de ces maladies ont atteint, dans leur progression, de nouveaux continents. C'est par exemple le cas de la fièvre du Nil occidental qui est responsable, depuis 1999, de centaines de morts aux États-Unis. L'OMS évalue à 150 000 morts le nombre de pertes humaines associées au changement climatique durant les trois dernières décennies (WHO, 2002).

Les variations climatiques sont évoquées pour expliquer l'émergence inquiétante de la dengue durant les dernières décennies. Leur influence possible sur la transmission des virus en cause est avancée pour expliquer la progression de cette virose, et, en particulier, celle de la fréquence de ses manifestations hémorragiques graves. Ainsi, en 1998, la poussée saisonnière de la dengue a généralement été beaucoup plus active, et certains pensent pouvoir attribuer cette situation à une modification climatique sous l'influence du phénomène El Niño.

Les relations pouvant exister entre les facteurs climatiques et l'incidence de la dengue font l'objet de cette présentation. Quelle est la situation dans les départements (et territoires français) d'outre-mer ? Quels sont les risques associés aux scénarios de changement climatique ? Comment quantifier les impacts du CC ?

## Les épidémies de dengue dans les DOM

La constante progression de la dengue dans les départements (et territoires français) d'outre-mer en fait un problème de santé publique majeur. Les infections par les virus de la dengue conduisent souvent à des formes asymptomatiques.

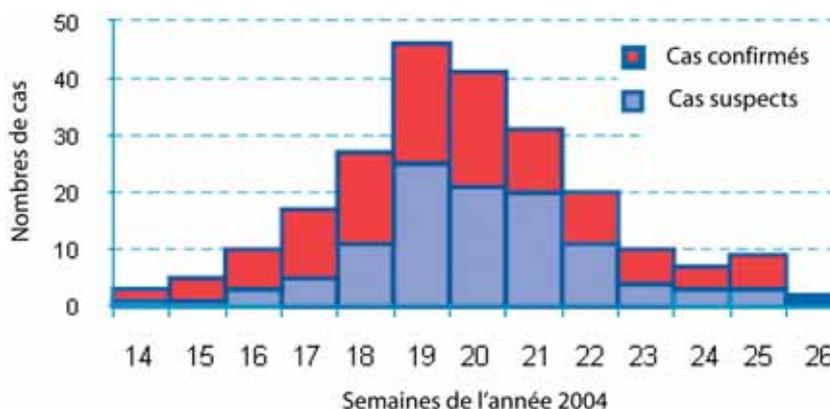
Mais lorsque surviennent des manifestations cliniques, celles-ci apparaissent très variées. Trois syndromes de gravité croissante peuvent être distingués : la fièvre de la dengue (FD), la dengue hémorragique (DH), et la dengue hémorragique avec syndrome de choc (DHSC). L'infection par un sérotype donné (il en existe quatre) induit une réponse immunitaire spécifique, mais également des anticorps hétérologues vis-à-vis des autres qui, toutefois, ne protègent pas contre une infection ultérieure. Un individu peut donc être infecté successivement par les quatre sérotypes viraux.

### La Réunion, 2005

Après plus de vingt-cinq ans d'absence, une épidémie de dengue est survenue sur l'île de La Réunion en 2004 (Pierre, 2005). De mars à juillet, 228 cas suspects ont été recensés. Parmi ces cas, 119 (52 %) furent confirmés (cf. figure 12). Cette épidémie a sévi principalement dans l'ouest de l'île : près de 80 % des cas recensés résidaient en effet dans trois communes (Le Port, La Possession, Saint-Paul). Le pic de l'épidémie a été atteint au cours de la semaine 19 (milieu du mois de mai). L'épidémie s'est arrêtée au début de l'hiver austral caractérisé par une baisse des températures. Plus de 70 % des cas étaient âgés de plus de 30 ans. Aucune forme hémorragique et aucune dengue avec syndrome de choc n'ont été observées.

*A. albopictus* a été considéré comme étant le seul vecteur impliqué dans cette épidémie. À La Réunion, ce moustique est ubiquitaire en dessous de 800 mètres d'altitude à la différence d'*A. aegypti* dont la répartition est limitée à quelques zones très restreintes.

**Figure 12. Nombre de cas confirmés et de cas suspects de dengue 1, La Réunion, 2004**



Source : d'après Pierre et al., 2005.

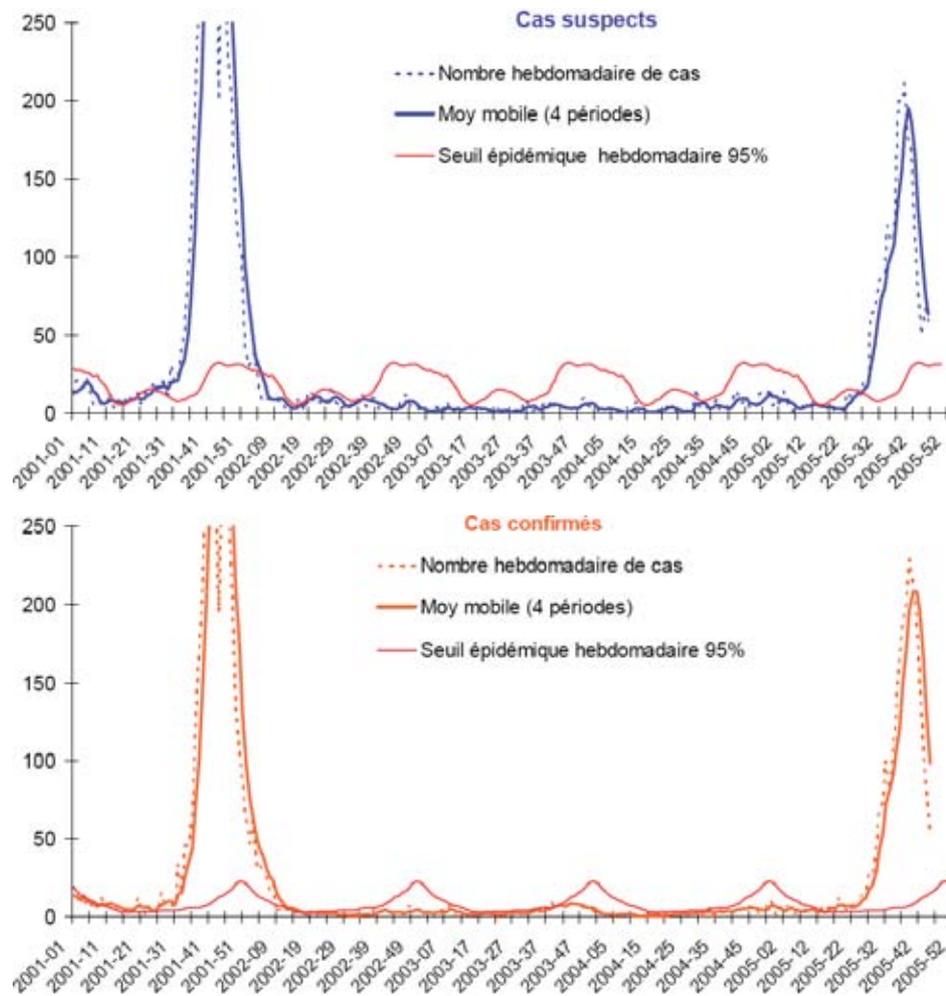
### Martinique, 2005

La dernière épidémie de dengue en Martinique, décrite par la Cellule interrégionale d'épidémiologie Antilles-Guyane (Cire AG, InVS), s'est déclarée à la fin du mois de juin 2005 (semaine 26) (Cire AG, 2005). Elle s'est par la suite développée de manière active (*cf.* figure 13). De la semaine 27 à la semaine 32, le nombre hebdomadaire de cas biologiquement confirmés signalés par les laboratoires est passé de 24 à 74 et le nombre des cas cliniques déclarés par le réseau des médecins sentinelles de 22 à 87. Le pic de l'épidémie de dengue a été atteint à la fin du mois de septembre (semaine 39) avec un maximum de 200 cas. À partir du mois d'octobre (semaine 40), on note une diminution régulière des indicateurs de surveillance. Le nombre hebdomadaire de cas suspects est resté compris entre 50 et 70 durant trois semaines (semaine 44 à 46), soit un niveau deux fois supérieur au seuil épidémique établi pour la période.

Selon la Cire AG, le nombre de patients ayant consulté un médecin de ville pour une suspicion de dengue 2 est passé de 1 200 par semaine fin septembre à 600 à la mi-octobre et s'est maintenu à environ 350 à partir du mois de novembre (CIRE AG, 2005). Au total 2 153 cas de dengue confirmés et 2 021 cas suspects ont été recensés par le dispositif de surveillance depuis le 1<sup>er</sup> juin 2005. La CIRE AG a estimé que depuis le début de l'épidémie, plus de 12 000 personnes ont consulté un médecin de ville pour un tableau clinique de dengue.

Cette épidémie est liée à une cocirculation des sérotypes DEN-2 et DEN-4. Ce dernier reste prédominant et représente 70 % des isollements réalisés en 2005. Sur 59 sérotypes détectés après janvier 2005, la CIRE AG compte 42 DEN-4, 16 DEN-2 et un seul DEN-3. Les infections par le sérotype DEN-2 semblent entraîner des tableaux cliniques et biologiques plus sévères, et sont plus fréquemment associées à une prise en charge hospitalière ( $p < 0,0001$ ). 145 personnes, dont un tiers d'enfants, ont été hospitalisées pour une dengue confirmée entre les semaines 22 et 46 (*cf.* tableau 4). Au total, 34 cas présentent au moins un critère de sévérité et trois formes hémorragiques répondent à la définition de l'OMS, et trois décès.

**Figure 13. Nombre hebdomadaire de cas suspects déclarés par les médecins sentinelles et de cas biologiquement confirmés (moyennes mobiles sur quatre périodes) de la semaine 2001-01 à la semaine 2005-32**



Source : CIRE AG, BESAG 2005-13.

**Tableau 4. Cas de dengue hospitalisés dans les hôpitaux de Martinique, par type de service, depuis le 1er juin 2005**

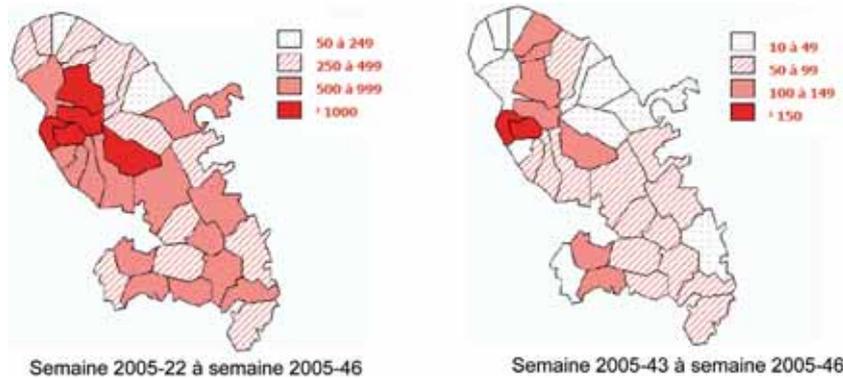
	Total		Dengue sévère	Dengue hémorragique <sup>(1)</sup>
Pédiatrie	44	31,0 %	8	0
Réanimation	5	3,5 %	4	1
Médecine	54	38,0 %	11	0
Service accueil urgence	23	16,2 %	8	1
Autres services	17	12,0 %	3	1
<b>Total</b>	<b>142</b>		<b>34</b>	<b>3</b>

(1) Définition OMS.

Source : CIRE AG, 2005.

Si la transmission de la maladie a nettement décru en novembre dans les communes initialement touchées (Fort-de-France, Schoelcher, Rivière Pilote), elle s'est accrue dans les communes voisines du nord Caraïbe (Morne Rouge, Carbet, Fond-Saint-Denis) et dans la commune de Saint-Joseph (cf. figure 14).

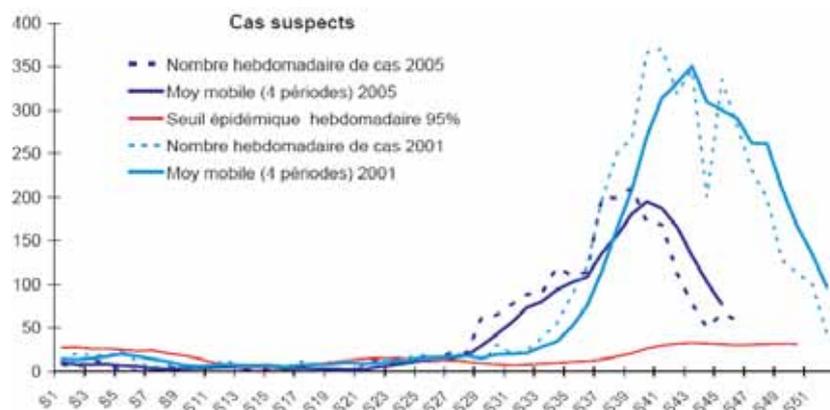
**Figure 14. Taux d'incidence cumulés pour 100 000 habitants par commune depuis le début de l'épidémie (semaines 22 à 46) et de la semaine 43 à 46**



Source: Cire AG, 2005.

Comparant la dynamique de cette épidémie avec l'avant-dernière épidémie survenue en 2001, la CIRE AG constate que l'épidémie 2005 a démarré avec environ un mois d'avance. Après une brutale augmentation des indicateurs au début du mois de septembre, qui pouvait faire craindre une évolution similaire à l'épidémie de 2001, la courbe épidémique s'est brutalement infléchi dès la semaine 2005-37, pour décroître à partir de la semaine 2005-39. Le nombre hebdomadaire maximum de cas (pic épidémique) observé en 2005 est approximativement deux fois moins élevé qu'en 2001. La dynamique de cette épidémie durant le mois de juillet et le début du mois d'août 2005 est similaire à celle du début de l'épidémie survenue en août 2001 (cf. figure 15).

**Figure 15. Comparaison de la dynamique de l'épidémie de 2005 avec celle de 2001**

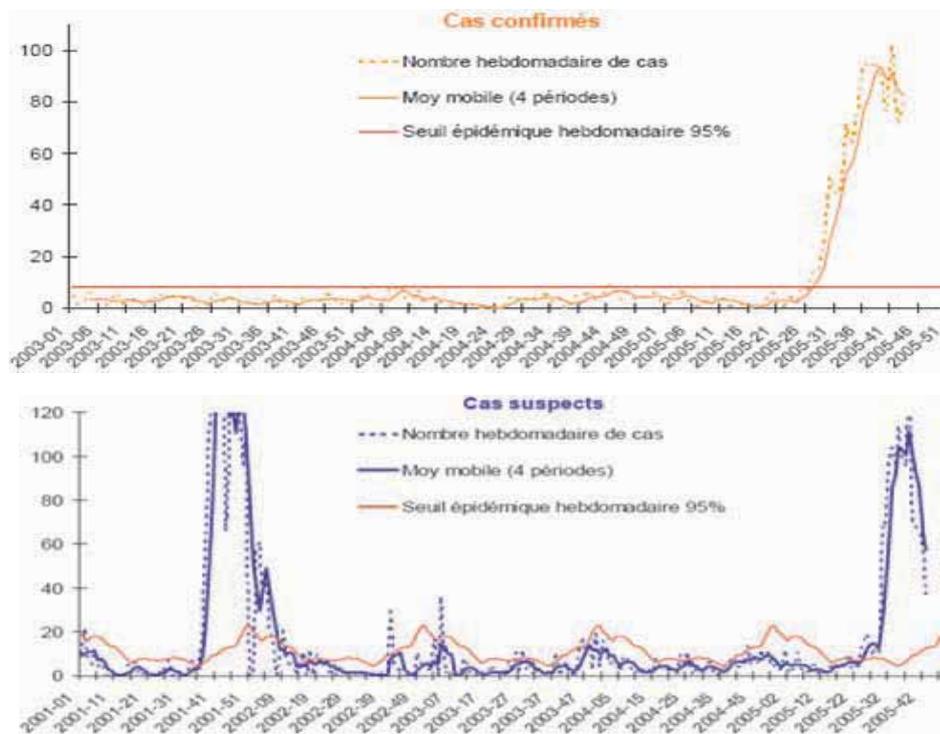


Source: CIRE AG, 2005.

## Guadeloupe, 2005

Une épidémie de dengue s'est déclarée en Guadeloupe parallèlement à celle de la Martinique. Après un début un peu retardé, au début du mois de juillet (semaine 27), l'épidémie a atteint son pic à la fin du mois de septembre et les nombres de cas confirmés et de cas suspects ont diminué depuis cette période (cf. figure 16). Entre le début du mois de juillet et la fin du mois d'octobre, 1 353 cas suspects et 1 114 cas confirmés ont été enregistrés par le système de surveillance.

**Figure 16. Nombre hebdomadaire de cas confirmés par un examen sérologique (haut) et de cas suspects déclarés par les médecins sentinelles de ville (bas)**



Au total, sur la même période, on estime à environ 7 000 le nombre de personnes ayant consulté un médecin de ville pour une suspicion de dengue. Le nombre total estimé de personnes ayant consulté un médecin de ville pour une suspicion de dengue a diminué de 440 à 245 entre la première et la dernière semaine d'octobre. Globalement, l'épidémie est liée à la circulation majoritaire du sérotype 4. Sur les 92 isollements de virus de la dengue, 89 correspondaient au sérotype 4; deux au sérotype 2 et un au sérotype 3. Entre le début du mois de juillet et la mi-novembre, 123 personnes, dont un tiers d'enfants, ont été hospitalisées pour une suspicion de dengue. Au total, 27 cas présentant au moins un critère de sévérité et six cas de dengue hémorragique (définition OMS) ont été recensés.

## Guyane, 2005

L'épidémie de dengue en Guyane a précédé l'épidémie de Martinique. Elle s'est déroulée en deux vagues successives sur une durée de plus de vingt mois (cf. figure 17). La première vague a été détectée par le Centre national de référence des arbovirus de l'Institut Pasteur de Guyane en juin 2004. Elle a conduit à un pic culminant à 26 cas hebdomadaires confirmés à la fin du mois d'octobre 2004 (semaine 43). La deuxième vague s'est étendue du début du mois de janvier à la mi-octobre 2005. Le second pic, plus important que le premier (46 cas hebdomadaires confirmés), a été atteint mi-mars 2005 (semaine 10). Cette deuxième vague épidémique a essentiellement concerné la population résidant dans l'île de Cayenne et dans une moindre mesure celle de Kourou. Mais à Kourou la population semble avoir été atteinte de manière plus précoce, le pic épidémique se situant mi-octobre 2004 (semaine 2005-43).

**Figure 17. Nombre hebdomadaire de cas biologiquement confirmés (moyennes mobiles sur quatre périodes) isolés par le Centre national de référence des arbovirus de Guyane de la semaine 2001-01 à la semaine 2005-44**



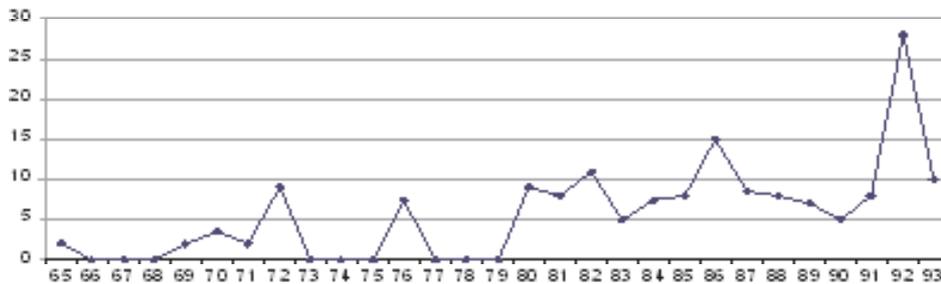
## Changement climatique et épidémies de dengue

Les variations climatiques et leur influence possible sur la transmission des virus sont évoquées pour expliquer la progression de cette virose, et, en particulier, celle de la fréquence de ses manifestations hémorragiques graves. Ainsi, en 1998, la poussée saisonnière de la dengue a été beaucoup plus active, à l'échelle mondiale, et certains pensent pouvoir attribuer cette situation à une modification climatique sous l'influence du phénomène El Niño. À partir de la situation de la Guyane, et plus largement de données régionales, peut-on vérifier ces constats ?

### Guyane, 1965-1993

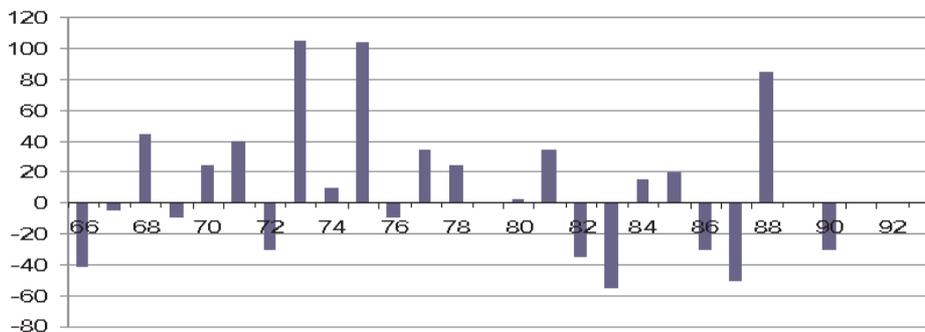
Les premiers cas de dengue furent rapportés en 1965 en Guyane (Fouque *et al.*, 1995). Le nombre de cas observés annuellement a été croissant depuis la confirmation des premiers cas en 1965 (*cf.* figure 18). La série temporelle du taux de variation de l'incidence de dengue suit une tendance ascendante et illustre une étroite relation entre El Niño et l'occurrence d'épidémie de dengue (Gagnon, 2001).

**Figure 18. Nombre annuel de cas cliniques pour 1 000 personnes et taux de variation annuel (le seuil épidémique est 0,5 de l'écart type au-dessus de la moyenne)**



Sur les six épisodes d'El Niño, intervenus dans la période 1965-1993, seul l'épisode de 1993 d'El Niño n'a pas été associé à une épidémie de dengue. De plus, les épidémies sont toutes intervenues lors de l'année 0 de chaque cycle El Niño. En 1991 démarra en juillet, année 0 d'un cycle, et continua l'année suivante. 3 000 cas de dengue furent diagnostiqués sur une population exposée de 115 000 personnes. Toutes ces épidémies peuvent être associées à des températures plus élevées que les moyennes saisonnières et à des pluies moins abondantes (*cf.* figure 19).

**Figure 19. Moyennes annuelles des anomalies standardisées de pluies à Cayenne (de mai à avril)**



À partir de 1971, toute la côte caribéenne de la Colombie a été touchée (WHO, 1976), mais aucun cas de dengue n'a été rapporté avant 1980 (Pinheiro et Corber, 1997). Au Surinam, voisin, les premiers cas ont été signalés en 1978 (Gratz et Knudsen, 1996), mais l'incidence de la dengue est, comme en Guyane, restée très basse durant la période 1978-1992, avec une moyenne annuelle de 17 cas seulement. Deux épidémies, seulement, ont été rapportées en 1986 et en 1991, en même temps que les épidémies de Guyane. L'incidence durant ces deux années a été très supérieure à la moyenne annuelle : respectivement 60 et 40 cas rapportés. Comme en Guyane ces deux épidémies sont intervenues en année 0 d'un cycle El Niño.

### Cuba et Venezuela, 1981, 1990, 1997

Malgré une circulation sporadique du virus de la dengue, depuis 1960, dans plusieurs pays de la région Antilles Guyane, il a fallu attendre 1981 pour enregistrer la première épidémie de DH. Les pics épidémiques correspondent à Cuba et au Venezuela, à des années ENSO comme en Guyane (*cf.* tableau 5). En mai 1981, une première épidémie se déclara à Cuba qui culmina en juillet-août. Les derniers cas furent enregistrés en octobre 1981. Un total de 344 203 cas de dengue et de DH/DHSC fut rapporté, 10 312 cas de niveau II à IV furent diagnostiqués en utilisant la classification par degré de sévérité des DH par l'OMS. En trois mois, 116 143 personnes furent hospitalisées et 158 décédèrent. La dengue fut éradiquée de Cuba par un vigoureux programme de lutte antivectorielle, mais en 1997, une nouvelle épidémie se déclara dans la province de Santiago. Un total de 2 946 cas de dengue fut rapporté dont 12 décès.

**Tableau 5. Épisodes majeurs ENSO : phases chaudes ou El Niño, phases froides ou La Niña**

El Niño	La Niña
1957-1958	1955-1956
1965-1966	1964
1972-1973	1970-1971
1976-1977	1973-1974
1982-1983	1975-1976
1986-1987	1988-1989
1991-1992	
1993	
1994-1995	
1997-1998	

La seconde épidémie majeure de DH/DHSC se déclara au Venezuela en 1990. Les premiers cas furent diagnostiqués en octobre, le pic épidémique intervint en janvier 1990, puis l'épidémie déclina brutalement (année El Niño). Du 2 décembre 1989 au 17 avril 1990, un total de 3 108 cas de DH fut rapporté, faisant 73 morts. Des cas de DH furent rapportés dans dix-sept des vingt états, le District fédéral, et un des deux Territoires fédéraux vénézuéliens. Les virus isolés durant l'épidémie appartenaient aux sérotypes 1, 2, et 4, mais la dengue 2 a été prédominante. La fin de l'épidémie a été, officiellement, déclarée à la mi-avril 1990,

mais elle est réapparue plus tard dans l'année. Des épidémies se sont déclarées, depuis, régulièrement au Venezuela. L'épidémie la plus importante survint en 1997 (année El Niño). 6 300 cas, dont 43 morts, furent rapportés.

### Colombie, 1987, 1993

Dans la plus grande partie de la Colombie, comme en Guyane et au Surinam, un fléchissement de la cellule de haute pression du Pacifique Sud, pendant les périodes El Niño, permet au Front de convergence intertropical de descendre d'avantage au Sud, occasionnant des années plus chaudes, des pluies moins abondantes, et des hauteurs de crues plus faibles. El Niño diminue le gradient de la température de surface de la mer entre la côte colombienne et les zones maritimes, normalement plus froide, du Pérou et de l'Équateur, affaiblissant les vents et l'humidité dans l'ouest colombien (Poveda et Mesa, 1995). Mais El Niño n'a pas une influence significative sur l'hydrologie du nord-est de la côte caribéenne et dans les deux départements situés dans les Andes (Quesada et Caviedes, 1992).

Il existe une variabilité spatio-temporelle de l'impact El Niño sur l'incidence de la dengue. Ainsi, l'épisode El Niño 1993 n'est pas associé comme le précédent (1987) à une recrudescence des cas de dengue. En contraste avec El Niño 1987, la hauteur des crues a augmenté lors de l'épisode 1993. Et quoique le nombre de cas de dengue s'accroisse sur la période 1996-1998, dans presque tous les départements colombiens, la majorité des cas de dengue viennent de régions où il existe une variabilité des pluies (et de l'hydrologie) contrôlées par l'ENSO.

## Santé publique et impact du changement climatique sur la dengue

La surveillance sanitaire et la prédiction des impacts du changement climatique sont aujourd'hui possibles grâce à l'apport de l'ingénierie sanitaire et environnementale. Pour développer un tel système, il est nécessaire de spécifier, à la fois, le modèle général de la transmission et l'architecture du système de surveillance. Dans cette partie, nous aborderons successivement ces deux points. La prédiction de la transmission de la dengue repose sur un travail de modélisation des dynamiques épidémiologiques intégrant les contrôles environnementaux et climatiques. Ces modèles doivent prendre en compte les paramètres, climatologiques, entomologiques, virologiques, sérologiques et démographiques. Les premiers modèles développés établissent clairement que les zones tempérées bordant la transmission vectorielle de la dengue augmentent pour une élévation de température d'environ 1 °C. Ils estiment que l'impact de l'élévation de température serait moindre dans les régions de circulation hyperendémique du virus, en raison d'un phénomène de saturation de la transmission, et que les

flux migratoires des populations humaines réceptives pour le virus seraient plus importants que les effets du climat. Les mécanismes pris en compte sont trop simplistes. Ils réduisent souvent le contrôle du climat à la température (Focks *et al.*, 1995). Le modèle de Patz *et al.* (1998) ne tient compte ni de l'impact de la pluviométrie, ni de l'impact de la température sur la densité vectorielle jugés impossibles à évaluer dans une étude globale. De plus, ces modèles ignorent le rôle potentiel du climat sur la génétique des virus et des vecteurs et surtout, celui de l'écologie humaine sur le niveau de transmission de la maladie. L'impact d'une modification climatique quelconque sur un système épidémiologique impliquant des vecteurs doit porter, *de manière indépendante*, sur chacun des trois composants biotiques fondamentaux constituant ce système :

- les vertébrés (qu'il s'agisse d'animaux ou de l'homme) : leur répartition, leur abondance leur éthologie, la dynamique et la structure de leurs populations;
- l'agent infectieux, en particulier par la sélection des populations les mieux adaptées aux conditions environnementales, qui pourront, par exemple, s'avérer plus ou moins virulentes;
- les vecteurs : leur répartition, leur abondance, leur éthologie, la dynamique et la structure de leurs populations;

ou *de manière coordonnée*, sur les relations que ces composants ont entre eux :

- contacts écologiques entre populations (par exemple entre les réservoirs et les vecteurs, entre certains vecteurs et la population humaine...);
- vitesse et intensité du développement du virus au sein de ses différents hôtes alternativement vertébrés (y compris les phénomènes immunitaires résultant de ce développement) et invertébrés.

## Spécifications générales d'un modèle d'impact sur la dengue

Pour ce qui est de la dengue, ses vecteurs ont su profiter du phénomène de l'urbanisation en s'adaptant à cet écosystème entièrement créé par l'homme et, en principe, pour l'homme (Deubel et Rodhain, 1999). C'est en particulier le cas du moustique *A. aegypti*, espèce domestique par excellence, disséminée par l'homme au sein du monde tropical. Dans ces conditions, quelle est l'importance réelle, au sein de ces écosystèmes urbains des facteurs climatiques, température et pluviométrie ?

### Impacts sur les vecteurs

a) Répartition géographique : un réchauffement global peut sans doute élargir les aires de distribution des moustiques vers des latitudes et des altitudes plus élevées et, éventuellement, celles de la maladie en particulier à travers les quatre aspects qui suivent.

- b) Longévité : l'élévation de température dans certaines limites tend à prolonger la survie des vecteurs, augmentant ainsi le nombre des piqûres, et la probabilité d'atteindre un âge infectant. En laboratoire, en effet, une température supérieure à 40 °C réduit la survie des moustiques.
- c) Densité vectorielle : il existe une corrélation entre la pluviométrie, la densité des vecteurs et l'incidence de la dengue. Cependant, des pluies torrentielles peuvent, à l'inverse, faire déborder les gîtes et entraîner la destruction des larves. Les modalités de stockage de l'eau et la présence de gîtes larvaires autour des habitations sont des facteurs peut-être plus importants que la pluviométrie elle-même.
- d) Durée d'incubation extrinsèque : le temps d'incubation requis pour que le moustique une fois infecté devienne infectant diminue avec l'élévation de la température, ce qui tend à augmenter les risques de transmission.
- e) Fréquence des repas : les températures élevées pourraient conduire les femelles adultes à se nourrir plus souvent pour assurer le développement de leurs œufs, ce qui tendrait à favoriser la transmission.

### Impacts sur les virus

Une population de virus existe sous la forme d'une variété de génotypes appelés quasi-espèces dont on n'observe que la résultante. Les virus composant cette population virale plus ou moins hétérogène, en évolution permanente grâce aux erreurs qu'introduit dans le génome leur réplicase au cours de leur réplication, sont sélectionnés à chaque passage sur un nouvel hôte, créant ainsi un nouvel équilibre de quasi-espèces. En effet, à chaque cycle d'un arbovirus sur un hôte vertébré ou sur un moustique, une partie seulement de la population virale sera sélectionnée. Le moustique *A. aegypti* nécessite une virémie élevée pour s'infecter, et ceci représenterait un facteur de sélection de souches à fort pouvoir réplicatif et donc potentiellement plus virulentes.

La température peut avoir un effet sur la transmission virale, en agissant directement sur la sélection du virus ou indirectement sur la sélection de vecteurs mieux adaptés aux conditions climatiques nouvelles. Des variants thermosensibles du virus de la dengue peuvent présenter une réplication ou une virulence modifiée. De même, des facteurs immunologiques et biochimiques de l'hôte peuvent induire la sélection de variants viraux plus virulents. L'introduction de virus dans un nouvel écosystème conduira à la sélection de variants génétiques et à l'apparition de mutants mieux adaptés aux conditions locales de transmission. On sait par exemple que les souches sud-américaines de virus de la fièvre jaune possèdent, dans leur génome, des mutations caractéristiques différentes de celles des souches africaines, qui sont apparues sans doute grâce aux pressions de sélection de leur nouvel environnement. Bien qu'aucun marqueur de ce type n'ait été identifié jusqu'à présent chez les virus de la dengue, il est raisonnable de penser que l'environnement joue aussi sur l'équilibre et sur la sélection de ces virus.

## Architecture d'un système de surveillance de la dengue

Le monitoring en temps réel des maladies et la prévision épidémiologique sont aujourd'hui possibles grâce au recours à des modèles mécanistes de transmission. La définition d'un système d'alerte précoce, suppose que l'on prenne en compte non seulement les impacts directs sur la transmission (vecteurs et virus), mais aussi les impacts indirects associés à l'évolution des populations humaines. Le changement climatique pourrait, en effet, favoriser une concentration des populations humaines (et donc des vecteurs), et indirectement une augmentation de la transmission du virus (et peut-être du degré de sévérité de la maladie). Pour réaliser des systèmes d'alerte sanitaire précoce, nous disposons aujourd'hui des améliorations de la qualité des produits : (1) d'observation de la Terre (télédétection à haute résolution) ; (2) de communication sur les boucles locales (téléphone sans fil...), et communication satellitale à faible coût dans un cadre internet normalisé.

Dans le cadre du consortium S2E.Dengue, associant l'Institut Pasteur, le CNES, l'IRD, Calystène et l'École vétérinaire de Lyon, un système d'information a, ainsi, été déployé en Guyane. Les applications développées dans le cadre du prototype permettent :

- a) le recueil de données cliniques, correspondant à une fiche de suspicion de dengue, lors d'une consultation médicale : dans un cabinet de médecin généraliste ; au service des urgences de l'hôpital ; ou dans un centre de santé ;
- b) le recueil de données biologiques, correspondant à une fiche de confirmation de la dengue, à l'occasion d'une prescription d'analyses, dans un laboratoire médical ;
- c) le recueil de données entomologiques, correspondant à la fiche de recueil du service départemental de démoustication, lors d'une intervention finalisée par une demande ou pas ;
- d) la centralisation des données sur le serveur S2E.Dengue ;
- e) la rétro-information et coordination des intervenants : édition et acheminement de messages aux médecins, aux laboratoires et aux services de démoustication ; édition et communication hebdomadaire de rapports automatisés comprenant : un suivi des cas suspects, un suivi des dengues sévères, un suivi des sérologies, et des indicateurs de surveillance sur un site internet ;
- f) la réalisation de recherches appliquées : calcul d'indicateurs permettant la production de document technique avec recherche de seuil d'alerte pour les épidémies de dengue.

Cette informatisation du système de surveillance sanitaire contribue à améliorer plus précisément les quatre points suivants :

- a) Détection en période interépidémique. Détection de toute apparition de cas suspects en surveillant :
  - le syndrome « grippal » au sens large dans le cadre du réseau de médecins sentinelles et hospitaliers ;

- les formules sanguines dans le cadre du réseau de laboratoires de ville;
- les gîtes larvaires et les données environnementales dans le cadre d'un réseau entomologie et environnement du conseil général.

b) Analyse et confirmation des premiers cas. Qualification du début d'une épidémie par le suivi :

- des cas de dengue sévères pris en charge par l'hôpital et inclus dans la liste des maladies à déclaration obligatoire;
- les sérotypes et prototypes circulant adressés aux laboratoires spécialisés (Institut Pasteur de Cayenne);
- les enquêtes domiciliaires du service de démoustication en lien avec les municipalités.

c) Surveillance spatiale des foyers et réactivité durant l'épidémie. Enregistrement, en période d'épidémie, des cas suspects comprenant :

- une déclaration géoréférencée par le réseau de médecins sentinelles;
- un prélèvement et une analyse sérologique dans le cadre du réseau de laboratoire de ville pris en charge par le ministère de la Santé;
- une analyse virologique prise en charge dans le cadre du CNR Dengue.

d) Rétro-information et coordination des intervenants. Production régulière d'informations permettant de :

- acheminer des prescriptions d'analyses vers les laboratoires, des confirmations biologiques vers le médecin, des instructions d'interventions domiciliaires à destination de l'agent de démoustication;
- suivre la prise en charge des patients, leur hospitalisation et les actions de lutte antivectorielle;
- identifier les zones de haute transmission (mobilité, densité, vecteurs et environnement), et en période épidémique, suivre l'évolution spatio-temporelle des sérotypes circulants et des foyers infectieux. Le logiciel propose : « une analyse hebdomadaire des données (suivi des cas suspects, suivi des dengues sévères, suivi des sérologies) », « une production d'indicateurs de surveillance et une édition de rapports automatisés ».

e) Recherche appliquée : connaissance des relations environnement-santé :

- dynamique des épidémies : facteurs prédictifs, facteurs de gravité, etc.;
- risques environnementaux associés aux maladies émergentes, qui sont fortement liés à des composantes géographiques.

La cartographie des risques a été implémentée dans un Système d'information géographique utilisant des données en provenance des satellites Spot-4 XS et P, Landsat TM, et Spot 5. La cartographie des dangers repose sur l'hypothèse que la densité des gîtes d'*Aedes* est faible en zone d'habitat collectif, forte en zone d'habitat mixte, spontanée et diffus, et intermédiaire en zone d'habitat individuel et dense. La carte de vulnérabilité augmente avec l'âge des populations, leur stabilité et la proximité de leurs habitations. Par ailleurs, le calcul prévisionnel de risque de transmission a été estimé à partir de l'estimation d'une capacité vectorielle prenant en compte les différents stades physiologiques des

vecteurs. Les retombées scientifiques de recherche et de modélisation des épidémies de dengue pourraient aussi s'appliquer à d'autres pathologies à transmission vectorielle, la fièvre jaune et les encéphalites dues au virus West Nile en particulier.

## Conclusions

On estime à 2,5 milliards le nombre de personnes exposées au risque de dengue, vivant dans plus de cent pays situés dans ces régions tropicales et subtropicales. L'Organisation mondiale de la santé (OMS) estime à environ 100 millions le nombre annuel d'individus atteints de dengue. Cette incidence, en progression durant les dernières décennies, entraîne l'hospitalisation de 500 000 cas de DH/DHSC, et il en résulte plus de 20 000 décès, particulièrement chez des enfants. Bien que l'on soit loin de comprendre les mécanismes déclenchant ou affectant les épisodes associés à El Niño, il semble que dans de nombreuses régions où le phénomène se produit, les variations climatiques peuvent avoir un impact sur la distribution et la fréquence de nombreuses arboviroses comme la dengue. La prise en compte des index climatologiques, et notamment ceux relatifs au phénomène El Niño, est essentielle pour suivre et prédire ces maladies transmises par les moustiques, et ainsi aider les autorités de santé publique à prendre les mesures préventives qui s'imposent. Il paraît toutefois clair qu'à côté des facteurs proprement climatiques, les conditions de vie des populations humaines conservent un poids déterminant. On peut, par exemple, penser qu'en Amérique tropicale, où les virus de la dengue furent autrefois introduits avec le commerce des esclaves, l'importante croissance de l'incidence de la dengue depuis une vingtaine d'années est surtout le résultat du relâchement des programmes de contrôle d'*Aedes aegypti* dans les années soixante-dix. Ceci nous rappelle que toute politique sanitaire doit raisonnablement être articulée à des systèmes de surveillance sanitaires et environnementaux performants.



## Émergence et urgence : étude de cas

Jean-Claude Manuguerra, *Institut Pasteur*

### Introduction

Les événements dramatiques survenus à l'automne 2001 aux États-Unis ont rappelé la réalité des risques du bioterrorisme. L'Institut Pasteur, l'un des principaux acteurs mondiaux dans l'étude des agents infectieux, a renforcé ses moyens d'intervention en liaison étroite avec les autorités de santé. Depuis lors, l'Institut Pasteur a poursuivi et amplifié ses recherches, sur des agents potentiellement utilisables pour provoquer une contamination de la population (charbon, peste, botulisme...) ainsi que ses structures de surveillance épidémiologique. Prêt à intervenir immédiatement en cas d'attaque pour participer à l'identification rapide de l'agent en cause, l'Institut Pasteur poursuit par ailleurs activement le développement d'outils de détection et de diagnostic ainsi que la mise au point d'antisérums et de vaccins. De plus, la Cellule d'intervention biologique d'urgence (CIBU) a été créée fin 2002, sous l'impulsion de la Direction générale de la santé (DGS) et de la direction de l'Institut Pasteur, pour répondre aux « urgences biologiques spécialisées ». Ces urgences sont déclenchées en cas de bioterrorisme, d'épidémies, d'accidents ou d'attentats utilisant des armes biologiques qui peuvent mettre en danger la santé publique.

Le besoin était fort d'organiser de manière efficace les ressources disponibles pour lutter contre de possibles attaques bioterroristes mais aussi pour intervenir dans l'émergence de maladies nouvelles. En effet, la nature est riche en potentiel d'émergence, virale en particulier, et la gestion du risque épidémique naturel est un bon exercice pour développer et maintenir l'efficacité de l'intervention dans le cadre du risque intentionnel. Dans les deux types de risques, les mots clés de la mise en place d'une structure d'intervention d'urgence versatile et efficace sont : opérationnalité, service permanent (24 heures sur 24 et 7 jours sur 7), compétence en microbiologie et interface avec les épidémiologistes.

L'émergence de nouveaux agents pathogènes tire ses causes fondamentales dans l'écologie générale qui touche à la fois aux variations du milieu physique et chimique et à la diversité des entités biologiques comme les virus et à leur relation avec leur milieu. Nous aborderons ce thème au travers de trois exemples d'émergences très récentes qui ont entraîné des mises en alertes des systèmes de santé nationaux, régionaux ou internationaux : l'influenza aviaire et la grippe aviaire chez l'homme, le virus Nipah et le virus du Nil occidental dit aussi virus West Nile.

## Introduction du virus de l'influenza aviaire hautement pathogène A (H5N1) dans la volaille : analyse du risque

La grippe chez l'homme est une maladie respiratoire aiguë causée par un virus grippal, dont il existe trois types A, B et C. Les virus de grippe A sévissent chez l'homme sous forme d'épidémies saisonnières et le type A est le seul divisé en sous-types en fonction de la nature de deux constituants de la surface des virions de ce type (l'hémagglutinine et la neuraminidase). L'apparition d'un nouveau sous-type chez l'homme peut causer une pandémie. Les virus de type A circulent aussi chez les animaux : le porc, le cheval et surtout les oiseaux qui constituent un groupe zoologique clé dans l'écologie de ce virus. Ils constituent, en effet, un véritable réservoir zoonotique de virus grippaux car on retrouve les seize espèces moléculaires d'hémagglutinines (H) et les neuf espèces de neuraminidases (N) chez les oiseaux, la combinaison HxNy constituant ainsi une multitude de sous-types. Le phénomène migratoire a un impact sur la circulation virale globale, notamment sur l'introduction *via* les oiseaux sédentaires et/ou domestiques de nouveaux sous-types chez les porcs, le cheval et l'homme.

Des épidémies saisonnières sont observées chaque année ou presque chez l'homme tandis que les pandémies sont des événements exceptionnels. Au cours du XX<sup>e</sup> siècle, trois pandémies de grippe survinrent en 1918, 1957 et 1968. Elles surviennent à l'occasion de l'émergence ou de la résurgence chez l'homme d'un nouveau sous-type de virus grippal de type A (H1N1, H2N2 et H3N2 par exemple). Par leur structure génomique, les virus sont capables de variations génétiques plus ou moins importantes qui conduisent, quelquefois, à des variations antigéniques majeures. Ainsi, les deux dernières pandémies en date furent le résultat d'un accident génétique brutal et considérable, le réassortiment qui provoqua la naissance d'un virus hybride grippal capable de circuler efficacement chez l'homme, mêlant des gènes issus du virus humain alors en circulation et d'un virus de canard, très probablement.

Jusqu'en 1997, aucun passage zoonotique de virus d'oiseaux à l'homme, associé à des troubles respiratoires majeurs, n'avait été observé. À l'époque, la grippe dite du poulet a fait dix-huit victimes dont six mortelles. L'abattage des volailles à Hong-Kong permit de stopper les cas de transmission zoonotique de ce virus A (H5N1) mais ne l'empêcha pas de continuer sa circulation au sein des oiseaux sauvages. Par le jeu de multiples réassortiments génétiques entre virus circulant dans l'avifaune asiatique, s'est formé un génotype, baptisé Z, qui s'est imposé de manière exceptionnelle et presque « totalitaire » en virus dominant. Ce génotype Z provoque l'épizootie d'ampleur inédite qui sévit en Asie, en Europe et en Afrique depuis le deuxième semestre de 2003. L'étendue géographique de l'épizootie à la fois chez les oiseaux sauvages et les oiseaux domestiques tout comme le spectre d'espèces d'oiseaux et de mammifères touchés et malades sont sans précédents.

Associés à l'épizootie qui exerce une forte pression infectieuse sur l'homme, près de 260 cas humains d'infection à virus A (H5N1) ont été rapportés dans le monde, surtout en Asie. Les quelques très rares passages entre humains se sont déroulés dans des conditions particulières de contacts très prolongés, rapprochés et sans protection individuelle. L'introduction de cet agent pathogène nouveau réussira peut-être un jour en provoquant une pandémie grippale. Pour en arriver là, le virus doit changer profondément.

L'irruption subite et intense de l'épizootie extensive de grippe aviaire provoquée par des virus d'influenza aviaire hautement pathogènes (HPAIV) de sous-type A (H5N1) et appartenant au génotype Z a posé de nombreuses questions, en particulier aux gestionnaires des risques et aux décideurs. La connaissance scientifique est ténue sur beaucoup d'aspects de l'écologie et des propriétés environnementales de l'HPAIVs, en particulier des virus H5N1. En plus d'être un problème immense de santé animale, avec un fort impact sur la nutrition humaine et de nombreuses conséquences socio-économiques, l'épizootie a débordé sur une question majeure de santé humaine. Les HPAIVs H5N1 actuels sont heureusement peu transmissibles des oiseaux domestiques à l'homme et requièrent des conditions spécifiques pour réaliser ce passage. En outre, la transmission de virus entre humains est rare et extrêmement inefficace. C'est dû à deux probables raisons principales : 1) chez l'homme, les virus HPAIVs H5N1 ne peuvent trouver leurs récepteurs préférés (les résidus d'acides sialiques terminaux engagés dans des liaisons a 2.3) que dans les régions respiratoires profondes (en particulier sur les cellules alvéolaires) ; 2) leur température optimale de répllication est supérieure à la température qui règne dans le tractus respiratoire humain supérieur. Ces faits expliquent sans doute pourquoi il est difficile pour le virus d'atteindre ses cibles appropriées chez l'homme au moment du processus de contamination et pourquoi le virus reste confiné profondément dans les poumons sans possibilité de sortie facile, nécessaire à la transmission de virus à un individu sain.

Dans le passé, les nouveaux sous-types de virus ont émergé dans la population humaine soit par réassortiments entre des virus de mammifères (homme, porc) et des virus aviaires comme cela s'est produit probablement vers 1957 et encore vers 1968, soit par accumulation de mutations ponctuelles comme cela s'est produit probablement pour le précurseur du virus de la grippe espagnole. Les virus de grippe sont présents sous forme de quasi-espèces, c'est-à-dire de populations de génomes viraux abritant des différences ponctuelles entre eux. La diversité virale augmente la probabilité qu'un groupe de génomes viraux minoritaires héberge un ensemble de mutations directement impliquées dans une capacité virale accrue de transmission interhumaine.

La diversité virale dépend à la fois des capacités intrinsèques de variation des virus et de la taille de la population virale. Les complexes polymérasés des virus de grippe commettent de nombreuses erreurs de synthèse produisant ainsi de fréquentes mutations ponctuelles. Quand un virus est introduit chez un nouvel hôte, son taux apparent de mutation semble généralement plus élevé que chez son hôte habituel, ceci d'un point de vue phylogénétique. C'est également vrai

pour les oiseaux quand un virus d'influenza aviaire saute d'une espèce de canard aux poulets ou aux dindes. Dans le passé, on a émis l'hypothèse selon laquelle les virus précurseurs préexisteraient chez l'hôte habituel au sein duquel ils acquerraient l'ensemble des mutations nécessaires par un mécanisme d'hypermutation. Ce mécanisme correspondrait à l'existence de complexes polymérase viraux à taux d'erreur inhabituellement élevé, suite à l'acquisition de *mutations mutatrices* affectant la fidélité de l'enzyme. Les études *in vitro* portant sur des virus de la grippe A (H1N1) porcins dits « *avian-like* » introduits dans la population du porc en Allemagne au début des années quatre-vingt suggèrent qu'il n'y aurait pas de *mutations mutatrices*. En réalité, la diversité virale accrue aurait été liée plus à la taille globale de la population de virus qu'à une capacité augmentée de mutation du virus. Appliquant ceci à la situation actuelle des virus H5N1, il est très probable que le facteur démographique de l'hôte animal, particulièrement en élevage, est un facteur central de la diversité virale. Par exemple, la population de volailles a augmenté de 1,1 milliard en 1980 à 4,9 milliards en 2002, rien qu'en Chine, permettant ainsi à très vastes populations de virus d'exister à un moment donné.

Cet exemple démontre l'importance de l'approche multidisciplinaire pour anticiper l'émergence et l'urgence qui lui est associée. Il est nécessaire d'associer à la virologie et à l'épidémiologie, l'ornithologie et la climatologie pour mieux comprendre les mouvements naturels des oiseaux lors des migrations ou des déplacements latéraux non migratoires ainsi que la zootechnie pour mieux appréhender les mouvements provoqués par l'homme (commerce licite et illicite). Les modèles mathématiques doivent permettre de rendre compte du cycle global, notamment de la persistance des virus chez les oiseaux et dans l'environnement.

## Encéphalites virales en Malaisie

L'encéphalite japonaise (EJ) est l'encéphalite virale la plus importante chez l'homme en Asie. Sous la forme de cas sporadiques, elle est endémique en Malaisie qui est située au cœur de l'Asie du Sud-Est ayant pour voisin la Thaïlande au nord et Singapour au sud. En septembre 1998, des cas groupés de patients souffrant d'encéphalite fébrile aiguë associée à une létalité élevée ont été observés dans la banlieue de la ville d'Ipoh dans l'État de Perak. Tous ces patients étaient liés à l'élevage de porcs. Le foyer d'encéphalite fébrile chez l'homme avait été précédé par une épizootie d'encéphalite et de maladies respiratoires chez les porcs dans la même zone. Tout d'abord, la maladie observée chez les porcs a été attribuée à la peste porcine classique tandis que la cause des décès chez l'homme semblait être due au virus de l'EJ. En effet, le cycle de l'EJ implique l'homme et le porc, ce dernier jouant le rôle d'espèce amplificatrice. Diverses mesures de contrôle fondées sur la lutte contre l'EJ ont été mises en place activement par le ministère de la Santé pour combattre l'épidémie dans la zone de Kinta et plus tard dans tout le pays (vaccination contre l'EJ et démoustication car c'est une arbovirose).

Quatre mois plus tard (décembre 1998), l'épidémie s'était étendue à Sikimat, dans un autre État. La diffusion de l'épidémie a été associée au mouvement des porcs depuis la zone de Kinta et d'une ferme à l'autre. Un mois plus tard, onze cas humains de maladie respiratoire et d'encéphalites dont un est décédé ont été rapportés parmi des ouvriers d'abattoir à Singapour ayant manipulé des porcs provenant des régions de Malaisie où sévissait l'épidémie.

Au début de mars 1999, un nouveau paramyxovirus, le virus (de) Nipah, a été isolé dans le liquide céphalo-rachidien d'un patient atteint d'encéphalite provenant du village de Sungai Nipah et a ensuite été identifié comme l'agent étiologique responsable de l'épidémie. L'épidémie à Singapour s'est achevée quand l'importation des porcs à partir de Malaisie a été interdite tandis que l'épidémie en Malaisie a cessé grâce à l'instauration de nouvelles mesures de lutte basées sur la découverte du nouveau virus et l'abattage massif de plus d'un million de porcs. Au total, 283 cas humains d'encéphalite aiguë, dont 109 sont morts, ont été enregistrés au cours de cette épidémie de septembre 1998 à décembre 1999.

Comme cela est le cas lors de l'émergence d'une nouvelle maladie humaine d'origine animale, la priorité lors des recherches destinées à permettre la prévention et la lutte contre la maladie est de déterminer le ou les réservoirs animaux ainsi que les éventuelles espèces intermédiaires amplificatrices. Dans le cas du virus Nipah, les recherches se sont orientées tant vers les animaux domestiques (chiens, chats, chèvres, poulets et poissons) que vers la faune sauvage (sanglier, rongeurs, oiseaux et chauves-souris) avec une attention toute particulière pour les chauves-souris frugivores dans la mesure où le virus Nipah est étroitement apparenté au virus australien Hendra découvert quelques années plus tôt dans la banlieue de Brisbane et dont le réservoir est constitué précisément par des espèces de chauves-souris frugivores.

Bien qu'il soit impossible de déterminer avec certitude les causes de l'émergence de ce virus, il n'en demeure pas moins que des événements et des facteurs peuvent être évoqués pour expliquer le passage du virus des chiroptères à l'homme. Il semble tout d'abord que le virus soit passé des chauves-souris frugivores aux porcs avant de passer à l'homme. Depuis vingt ans, la zone d'habitat des chauves-souris en Asie du Sud-Est ne cesse de se rétrécir en raison de la déforestation. La pratique de la déforestation par brûlage a provoqué un feu immense qui a duré des mois et a affecté une grande partie du sud-est asiatique. À ces feux s'est ajoutée une sécheresse consécutive à une sévère oscillation méridionale d'El Niño en 1997-1998. Tous ces phénomènes se sont conjugués et ont conduit à une pénurie d'arbres fruitiers qui a poussé les chauves-souris frugivores à rechercher leur nourriture dans les vergers dans la banlieue d'Ipoh. La configuration des porcheries dans les premières fermes touchées a rendu possible la transmission du nouveau virus du réservoir constitué par la chauve-souris aux porcs domestiques puis de ces derniers à la population humaine. Les données indiquent que cette double introduction se serait réalisée en 1997.

L'aire de répartition des chauves-souris susceptibles d'abriter le virus Nipah couvre plusieurs pays d'Asie du Sud ainsi qu'une bonne partie de l'océan Indien et déborde sur Madagascar et l'Australie. Ainsi, un virus extrêmement proche du virus Nipah a été retrouvé chez des chauves-souris au Cambodge en 2005. Le virus Hendra qui avait été découvert en 1994 est très proche du virus Nipah et a, lui aussi, des chauves-souris comme réservoir. Il a causé la mort de treize chevaux et d'un homme à Hendra dans la banlieue de Brisbane en Australie. Bien que les virus Nipah et Hendra n'aient causé que quelques épidémies locales, leurs propriétés biologiques pourraient infecter un spectre d'espèces hôtes et produire une maladie hautement mortelle chez l'homme. De ce fait, cette infection virale émergente est devenue une réelle question de santé publique.

## Infections à virus du Nil occidental chez l'homme et le cheval

Le virus du Nil occidental ou virus *West Nile* (WNV) en anglais, qui appartient au complexe sérologique du virus de l'encéphalite japonaise (EJ) et, comme lui, au genre *Flavivirus*, a été isolé, à partir du sang d'un patient fébrile, pour la première fois en 1947 en Ouganda dans le district de *West Nile*. Plus tard, en Égypte, des virus ont été isolés chez des enfants sans signe clinique. Depuis lors, et jusqu'en 1999, ce virus n'était retrouvé que dans le vieux monde avec une large distribution en Afrique, en Europe et en Asie. Le WNV a longtemps été considéré comme un agent d'arbovirose mineure. Le cycle de transmission du virus a été élucidé assez tôt par des études menées dans le district de Sindbis (Égypte) entre 1952 et 1954. Elles ont démontré que les moustiques étaient des vecteurs, que les oiseaux étaient des hôtes amplificateurs et que les hommes et les chevaux infectés représentaient des culs-de-sac épidémiologiques.

Les premières épidémies ont été rapportées en Israël dans les années cinquante. Très tôt, en 1962-1963, l'infection d'hommes et de chevaux a été décrite en France. Cependant, rares étaient les cas humains mortels. C'est au cours des dix dernières années que le WNV est devenu un problème majeur de santé publique humaine et vétérinaire suite à une succession d'épidémies d'encéphalites avec des cas mortels principalement dans le bassin méditerranéen (1994-2000) et en Europe orientale (1996-1999). En 1998, une mortalité importante liée à l'infection par le WNV a été rapportée en Israël au sein d'une population de cigognes migratrices et d'oies domestiques. La période où les cas humains ou équinés sont observés est celle des mois chauds où les moustiques sont très nombreux, généralement en juillet et août.

En 1996, l'incidence des cas d'encéphalites a été élevée lors d'une large épidémie en Roumanie. En 1998, le WNV a causé également une épidémie en Russie entraînant une proportion non négligeable de maladies « neurologiques ». Enfin en 1999, le WNV a émergé à New York causant une épidémie avec 62 cas observés

dont sept sont morts et une épizootie chez les chevaux avec 25 cas dont neuf décédés. L'épidémie a continué en 2003 avec un nombre total de cas humains atteignant près de 10 000 dont le quart à peu près a développé une maladie neurologique. 10 % d'entre eux sont décédés.

Depuis son introduction à New York à l'automne 1999, le virus a gagné une vaste partie de l'Amérique du Nord. Contrairement à des *flavivirus* majeurs comme le virus de la fièvre jaune ou encore celui de la dengue, le WNV a un spectre d'hôtes très large allant de nombreuses espèces d'arthropodes à de nombreuses espèces de vertébrés. Globalement, au cours de la décennie passée, les isolats de WNV ont été plus virulents et plus pathogènes qu'auparavant. Depuis 2000, l'extension géographique a même dépassé l'Amérique du Nord puisque le virus a été isolé en Amérique centrale (Mexique et Salvador) et dans les Caraïbes. En 2002, c'est le WNV qui a causé le plus grand nombre de cas d'encéphalites à *flavivirus* dans l'hémisphère occidental. Mais le WNV doit affronter la compétition avec un autre *flavivirus*, déjà présent en Amérique du Nord – le virus de l'encéphalite de Saint-Louis (VESL) – à la fois pour ses hôtes aviaires et pour les moustiques vecteurs.

Plusieurs hypothèses ont été avancées pour expliquer comment le WNV est arrivé aux États-Unis. L'hypothèse selon laquelle il serait arrivé avec un voyageur virémique de retour dans son pays de résidence est peu plausible. L'origine bioterroriste constitue aussi une hypothèse contestable car l'épidémie/épizootie de 1999 était centrée sur le Queens, un district peu symbolique de la ville de New York avec une transmission arbovirale patente (moustiques). Une hypothèse qui peut être retenue est l'introduction d'un animal virémique dont la piqûre par un moustique aurait permis de transmettre la maladie à l'homme. En effet de nombreux animaux exotiques, en particulier des oiseaux, sont importés aux États-Unis *via* New York.

Une autre hypothèse est que des oiseaux migrateurs infectés ont transporté avec eux le WNV à New York en empruntant soit la voie classique sud-nord soit une voie transversale est-ouest. La première voie est impossible car le WNV n'a été observé en Amérique centrale ou méridionale qu'un an après l'épisode de New York. Quant à la voie transversale, plus rare, elle est utilisée quelquefois par des pigeons voyageurs qui vont d'Europe en Amérique du Nord. Enfin, il est possible qu'un ou plusieurs moustiques infectés aient été transportés vers New York par un avion ayant décollé du Moyen-Orient. Depuis 2002, l'épidémiologie et la clinique des infections à WNV chez l'homme a pris un tournant assez radical avec l'augmentation très nette de l'incidence des infections neurologiques très sévères chez des individus d'âge plutôt variable, avec l'observation de cas de paralysie flasque aiguës, d'abord limitées aux personnes âgées puis rapportées chez des patients immunodéprimés ou non, ayant dans certains cas moins de 30 ans.

Il semble que l'évolution des virus de ce genre soit en grande partie déterminée par leur vecteur arthropode. Le potentiel d'évolution des *flavivirus* à moustiques, comme le WNV, est un élément de préoccupation pour l'avenir épidémiologique

des infections animales et humaines dues à ces virus. Avec l'accroissement de l'éventail de leurs vecteurs moustiques possibles, les *flavivirus* à moustiques ont accru leur diversité. Le WNV a été isolé sur 11 genres de moustiques parmi lesquels *Culex*, *Aedes* et anophèles. Seuls les moustiques qui répliquent le virus et le transportent vers leurs glandes salivaires sont des vecteurs compétents, les *Culex sp.* étant probablement les plus efficaces.

Comme le WNV continue de s'étendre dans l'hémisphère occidental, il est probable que sa circulation va y devenir permanente. Une question capitale est encore sans réponse : le WNV va-t-il devenir endémique ou épidémique aux États-Unis ? L'implantation réussie et rapide du WNV aux États-Unis laisse à penser qu'il a la possibilité d'y devenir épidémique avec des épidémies annuelles. Ces dernières augmenteront-elles avec la circulation de ce virus sur la côte ouest et s'étendront-elles à l'Amérique du Sud ? En Europe et en Asie, la circulation de ce virus va-t-elle également s'étendre ?

Devant ces questions et les premiers éléments de réponse, le besoin de connaissance sur la biologie de ses vecteurs en liaison avec les variations climatiques devient de plus en plus important. Dans ce contexte, la multidisciplinarité inclut l'entomologie médicale, la virologie, l'épidémiologie, les sciences liées au climat et les technologies spatiales de détection à distance (« *remote sensing* », en anglais).

## Conclusions

De nombreux exemples récents traités ici ou non comme l'épidémie de pneumopathie atypique ou syndrome respiratoire aigu sévère (Sras) ont démontré que l'émergence réelle de virus inconnus et nouveaux chez l'homme s'accompagne de crises sanitaires qui nécessitent une réponse forte et urgente. S'il est maintenant bien compris que l'émergence microbienne doit être un champ de recherche, avec cependant des approches et des moyens en dents de scie collés aux effets de mode liés à l'actualité, le champ de l'intervention d'urgence est aujourd'hui complètement disjoint de celui de la recherche. Certains pensent qu'urgence et recherche n'ont pas le même schéma temporel. C'est vrai en partie. C'est aussi faux en partie car la connaissance de l'écologie microbienne et des facteurs humains et climatiques en amont permet sinon d'anticiper l'émergence du moins d'y être un peu mieux préparé.

Si les domaines de la surveillance et de l'intervention sont déjà une partie de la réponse à l'agression microbienne, les champs de la recherche doivent permettre l'anticipation ou la mobilisation de ressources compétentes et efficaces le moment venu de l'émergence.

## Les conséquences sanitaires du changement climatique : synthèse médicale

**Dominique Belpomme**, *président de la Société européenne de santé environnementale*

Tous les organismes vivants sont consubstantiels du milieu dans lequel ils se trouvent. Ils sont des systèmes thermodynamiquement et cybernétiquement ouverts : sans adéquation complète avec le milieu cosmique – ce que nous appelons l'environnement – ils ne peuvent subsister et se développer. Rapportée à l'homme, cette loi fondamentale de la biologie implique que nous ne sommes que ce que l'environnement veut bien que nous soyons, et notre santé en est la résultante. Dans ces conditions, l'importance du changement climatique et son origine anthropique, telles que le confirme le quatrième rapport du Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat, le Giec, posent le problème crucial des conséquences sanitaires, et plus particulièrement médicales, que nous aurons à affronter au cours de ce siècle et des moyens que nous aurons à mettre en œuvre pour y faire face. Le réchauffement climatique et ses effets sanitaires sont déjà une réalité. En 2002, l'OMS estimait à 150 000 le nombre de morts liés au changement climatique, depuis ces trente dernières années. Prévenir vaudrait mieux que subir. C'est la raison de ce deuxième rapport de l'Onerc, dont le but est de dégager un certain nombre de données médico-scientifiques, face à de nombreuses incertitudes, afin de proposer aux décideurs politiques une ligne de conduite rationnelle, fondée sur des objectifs concrets destinés à circonscrire et à atténuer, si ce n'est à prévenir les effets sanitaires en question.

Sans doute doit-on rendre hommage, à la vision réaliste et à la détermination politique du président de l'Onerc, Paul Vergès, et au dynamisme assidu du directeur de cet Observatoire national, Marc Gillet, qui malgré des moyens limités, réalise un important travail d'expertise et de coordination scientifique au bénéfice de notre pays. Cependant, le présent rapport ne saurait être qu'un premier pas, tant l'expertise dans le domaine de la santé et de la médecine est complexe et de ce fait nécessite d'être transdisciplinaire.

### Les aspects méthodologiques

Les difficultés sont nombreuses. Si les effets sanitaires directs, liés à l'apparition de conditions extrêmes (stress thermiques, tempêtes, cyclones, ouragans,

sécheresses, inondations, etc.) sont relativement faciles à identifier et à rapporter à leur cause, il n'en est pas de même des effets sanitaires indirects, beaucoup moins visibles et plus pervers, et donc difficiles à prévenir et à juguler. Le fait que notre santé soit consubstantielle à de multiples écosystèmes naturels qui sont mal connus, et que le changement climatique puisse modifier chacun des éléments biotiques ou non biotiques de ces écosystèmes doit nous inciter à une extrême prudence dans l'interprétation des faits et la réalisation de prévisions. Ici, deux approches méthodologiques, en miroir l'une de l'autre, sont à considérer : celle de l'*écologie sanitaire*, qui consiste à analyser de prime abord la dégradation de l'environnement et tenter d'en estimer les conséquences sanitaires, et celle de la *santé environnementale* qui, partant des maladies, essaie d'en déterminer les causes à partir de l'étude des facteurs de risque environnementaux (Belpomme, 2007). Or, il apparaît clairement que dans l'un et l'autre cas, la grande difficulté est d'établir scientifiquement l'existence d'un lien de causalité. Les études épidémiologiques sont en effet ici largement insuffisantes, en ce qu'elles ne mettent en évidence au mieux qu'un lien associatif (toutes les corrélations d'émergences ne relèvent pas d'une causalité). D'où la nécessité de leur adjoindre de façon congruente, des études toxicologiques *in vitro* et *in vivo*, qui seules permettent d'établir en laboratoire un lien de causalité, et des études biologiques au sens large, c'est-à-dire non seulement écologiques, mais aussi éthologiques et en particulier entomologiques, seules susceptibles d'apporter l'indispensable cohérence au schéma écosystémique proposé, tout en sachant que toute modélisation est par définition réductrice et donc source d'erreurs. À cela s'ajoute le fait qu'en matière de prévision sanitaire et médicale, nous raisonnons sur ce qui est aujourd'hui, c'est-à-dire sur les agents infectieux et les écosystèmes tels que nous les connaissons, alors que nous ne savons pas ce qu'ils seront réellement demain, la question étant celle de savoir quels seront les nouveaux agents infectieux et vecteurs de transmission qui émergeront, et par conséquent quelles maladies les médecins auront à combattre : qui aurait pu prévoir l'apparition du Sida, du SRAS, des variants de la maladie de Creutzfeld-Jakob et de la vingtaine d'autres maladies infectieuses ayant émergé depuis ces trente dernières années ? Néanmoins, malgré les difficultés, plusieurs lignes de force sont à considérer.

## Les effets sanitaires directs

Les effets sanitaires directement liés au réchauffement climatique sont les plus certains et sans doute les plus graves, car ils mettent « directement » en péril les populations humaines concernées. L'adaptation physiologique de tout organisme vivant complexe – y compris, l'homme – n'est possible que dans certaines limites étroites. Au-delà ou en deçà de ces limites, la vie devient impossible. Sans protection efficace, les conditions extrêmes ne peuvent donc qu'entraîner la mort, non seulement de l'homme, par hypo ou hyperthermie, déshydratation, dénutrition, choc ou traumatisme, mais aussi la destruction de la flore et de la faune dont il est consubstantiel.

En outre, les causes anthropiques de dégradation de la biosphère forment un tout. Aux effets du réchauffement climatique proprement dit s'ajoutent les répercussions spécifiques – biologiques et sanitaires – de l'augmentation des ultraviolets solaires, liée à la destruction de la couche d'ozone *stratosphérique*, de même que s'ajoutent les effets toxiques des pollutions physico-chimiques causées par d'autres activités humaines. Tel est le cas de l'augmentation d'ozone *troposphérique* liée au trafic urbain, elle-même amplifiée par le réchauffement climatique. Les causes précises de mort des organismes vivants et de dégradation des écosystèmes sont donc en réalité multiples et souvent difficilement discernables. Mais quelle que soit l'ampleur de l'imprécision, il apparaît clairement qu'en vertu de la sélection darwinienne, ce sont les organismes et écosystèmes les plus fragiles qui sont (et seront) amenés à disparaître. Et il en est de l'homme et de l'espèce humaine comme de tout organisme. Du point de vue sanitaire et social, les populations les plus pauvres, les plus fragiles et vivant dans les régions les plus inhospitalières de la planète, celles les plus exposées au réchauffement climatique seront sans doute les premières victimes.

Tout le problème ici est donc de retarder le plus possible la progression de l'augmentation de la température moyenne de la Terre, en limitant l'aggravation de l'effet de serre, afin de permettre aux écosystèmes de s'adapter et aux hommes – y compris aux plus démunis d'entre eux – de se protéger.

## Les effets sanitaires indirects

Compte tenu des réserves méthodologiques précédentes, on peut distinguer trois types d'effets sanitaires liés directement ou indirectement au réchauffement climatique et dont la survenue est possible à l'échelon du monde, et plus particulièrement dans notre pays :

- les maladies liées à la raréfaction et à la pollution de l'eau;
- les maladies liées à la pollution de l'air;
- l'émergence ou la réémergence de maladies écosystémiques impliquant ou non une transmission vectorielle.

### Maladies liées à la raréfaction et à la pollution de l'eau

Le manque d'eau, lié à la sécheresse et à la désertification des régions les plus exposées, est un facteur d'infection microbienne. La possibilité de choléra, la fréquence accrue des salmonelloses, y compris la réapparition de la fièvre typhoïde ne peuvent pas être écartées. La possible contamination de la chaîne alimentaire (en particulier des viandes) est ici au premier plan. Bien que la qualité de notre système sanitaire puisse limiter très probablement ce risque, des précautions supplémentaires devront être prises.

## Maladies liées à la pollution de l'air

L'amplification de la pollution chimique de l'air intérieur (habitats et lieux publics ou professionnels) comme de l'air extérieur (surtout au niveau des villes) sous l'effet du réchauffement climatique, et par conséquent une majoration des effets toxiques aigus ou chroniques qui en dépendent, est à considérer. Cependant, c'est sans conteste les allergies respiratoires qu'il faut rendre prioritaires ici. C'est déjà ce qui est constaté aujourd'hui en Europe où, selon les données de la Commission européenne, un enfant sur sept est asthmatique, et plus particulièrement dans notre pays où environ 20 % de nos concitoyens, soit 10 à 12 millions d'entre eux, présentent des phénomènes allergiques. Pour expliquer l'augmentation d'incidence de ces phénomènes, deux thèses scientifiques s'affrontent, non exclusives l'une de l'autre : 1) une modification du terrain « atopique » des populations les rendant plus susceptibles aux allergies<sup>1</sup>, et 2) l'existence de causes environnementales, incluant l'augmentation des poussières atmosphériques (celles-ci véhiculent les allergènes) et l'apparition de pollinoses aériennes exacerbées. Concernant ce dernier point, comme le font remarquer J.-C. Cohen et J.-P. Besancenot, il y a deux hypothèses possibles, là aussi non exclusives l'une de l'autre : la première hypothèse est celle de l'augmentation du nombre de grains de pollens émis dans l'atmosphère en raison, d'une part, d'une pollinisation précoce et prolongée liée à l'augmentation de température (hivers plus doux, printemps plus chauds) et, d'autre part, d'une pollinisation plus importante, consécutive à l'excès dans l'atmosphère de gaz carbonique (sous l'effet du CO<sub>2</sub>, les plantes émettent une plus grande quantité de pollen) ; la seconde hypothèse est celle d'une augmentation de l'effet allergisant des grains de pollen, sous l'effet de la pollution chimique atmosphérique associée, les polluants chimiques pouvant favoriser la libération des protéines allergisantes à partir des grains de pollen.

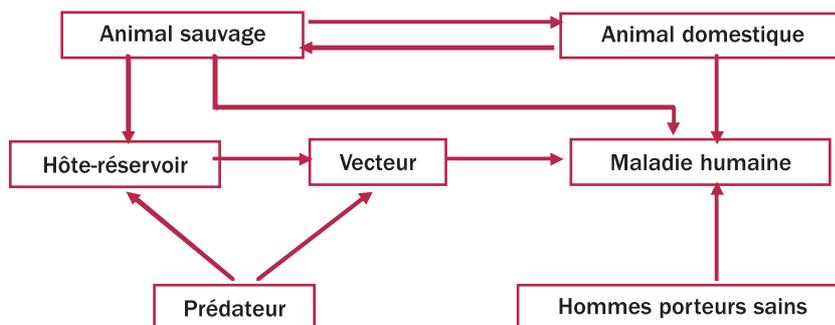
Quelles que soient les hypothèses retenues, il est clair que les modifications atopiques ne peuvent à elles seules expliquer l'accroissement d'incidence des allergies respiratoires, et par conséquent que des causes environnementales ont émergé, au sein desquelles le réchauffement climatique a très probablement une part importante. À tel point que l'OMS estime que 50 % de la population mondiale pourrait être atteinte d'allergie à la fin du siècle!

## Maladies écosystémiques

C'est ici que réside la plus grande inconnue en raison de la très grande complexité des écosystèmes en cause. Comme l'indique la figure ci-dessous, animaux domestiques ou sauvages, hôtes réservoirs, vecteurs, prédateurs, hommes malades ou porteurs sains de germes appartiennent à autant d'écosystèmes. Caractériser les écosystèmes, étudier leur fonctionnement et établir leurs

1. L'*atopie* est l'aptitude constitutionnelle ou héréditaire à présenter des manifestations allergiques. Elle peut-être liée à la production anormale d'immunoglobulines particulières, les anticorps IgE, anciennement appelées « réagines ».

différentes articulations pour comprendre comment leur dégradation peut être à l'origine des maladies infectieuses est une tâche difficile, que trop peu de chercheurs ont entreprise.



Dans une optique prévisionnelle, il y a cependant trois lignes de réflexion :

- la plupart des maladies infectieuses humaines, avant de se transmettre d'homme à homme, proviennent de zoonoses. C'est donc d'abord et avant tout les zoonoses qu'il faut considérer, les plus anciennement connues comme celles en voie d'émergence, et plus particulièrement celles capables de se révéler sous la forme d'épizooties extensives ;
- au sein des écosystèmes, les vecteurs de transmission (voir figure ci-dessus) constituent l'impact privilégié du réchauffement climatique. Cela conduit à rendre prioritaires la lutte contre les maladies infectieuses à transmission vectorielle, sans pour autant négliger celles dont la transmission de l'animal à l'homme est directe (par le milieu inerte), ou même d'homme à homme ;
- à la perte de biodiversité induite par le changement climatique, s'ajoutent deux autres facteurs à considérer pour expliquer le déclenchement des maladies infectieuses : la dégradation des écosystèmes résultant des activités humaines (pollution chimique, destruction d'habitats animaux) et l'induction de déficits immunitaires au sein des populations animales exposées. Or, ici, ce sont les animaux domestiques les premiers concernés en raison des conditions d'élevage (espaces contingentés, nourriture artificielle, dopage chimique). Ainsi, c'est en réalité la congruence possible de ces trois facteurs qu'il faut considérer pour interpréter la possible modification de virulence de certains micro-organismes, en particulier les mutations de certains virus.

#### • *Maladies à transmission vectorielle*

En tenant compte de l'analyse de F. Rodhain et du fait qu'à l'augmentation de température peuvent s'ajouter des conditions d'humidité, on peut distinguer quatre types de modifications des vecteurs de transmission (essentiellement les arthropodes) sous l'influence du changement climatique :

- une augmentation de taille de la population par allongement de la longévité et/ou raccourcissement du cycle de développement du vecteur ;
- une extension de niche, consistant en un déplacement altitudinal et latitudinal ;

- une augmentation de la virulence et donc du pouvoir de contamination par différents mécanismes, dont un accroissement de la résistance aux pesticides;
- enfin, un possible accroissement des phénomènes de résurgence et de réémergence infectieuse en raison d'une transmission verticale de l'agent infectieux.

En outre, sans doute doit-on considérer prioritairement les vecteurs les plus sensibles au froid (et qui, du fait du réchauffement climatique, sont les premiers à proliférer), de même que ceux dont les phénomènes de résistance aux conditions thermiques extrêmes et aux pesticides sont les plus évidents.

Tenant compte de ces différentes données écosystémiques et des observations actuelles concernant l'émergence et la réémergence des maladies, et en ayant pour principe absolu de distinguer soigneusement les maladies apparemment liées au climat de celles qui n'y sont pas, il est possible sous couvert d'inventaire et de détermination probabiliste d'estimer et de hiérarchiser les risques d'extension de ces maladies dans le monde, et plus particulièrement dans notre pays, en métropole comme dans les départements et territoires d'outre-mer. Quatre groupes ou types de maladies ont été considérés par les groupes de travail de l'Artac<sup>1</sup>.

L'extension des **arboviroses** est un risque prioritaire. La dengue est en recrudescence mondiale. Selon l'OMS, 2,5 milliards d'individus seraient exposés au risque, en région tropicale ou subtropicale, dans un total de cent pays, alors que 100 millions d'entre eux seraient contaminés, aboutissant chaque année à environ 500 000 hospitalisations et à 20 000 morts, dont de nombreux enfants. La dengue hémorragique, surtout si elle s'accompagne de choc, est la plus grave, entraînant le plus souvent la mort. La dengue n'est pas présente en métropole, mais dans les DOM-TOM, sur l'île de La Réunion, en Martinique, en Guadeloupe, en Guyane. Son vecteur, *Aedes albopictus* est ubiquitaire. D'autres vecteurs semblables dont *Aedes aegypti* sont possibles. Des arguments existent indiquant des liens possibles avec un réchauffement climatique. Ainsi dans les pays concernés, les recrudescences épidémiques apparaissent-elles lors des années El Niño. Il n'y a donc pas de raison majeure à ce que la dengue ne puisse pas être introduite en Europe, en particulier en métropole, sous l'effet d'un changement climatique et cela d'autant plus qu'*Aedes albopictus* y est décelé. De la dengue on rapproche d'autres arboviroses, telles que la maladie de Chikungunya, ayant récemment sévi sur l'île de La Réunion, et présente de façon sporadique en métropole, la fièvre *West Nile*, également présente de façon sporadique en métropole, et même la fièvre jaune, la fièvre de la vallée du Rift, l'encéphalite japonaise, qui bien que non présentes dans notre pays sont loin d'avoir été éradiquées dans le monde. Il est clair que les arboviroses déjà présentes en métropole ne pourront que s'y développer sous l'effet du réchauffement climatique, et cela d'autant plus s'il s'accompagne de conditions d'humidité propices.

1. En 2006, l'Association pour la recherche thérapeutique anticancéreuse (Artac) a coordonné trois groupes de travail dont un relatif aux interactions entre changements climatiques et santé. Ces ateliers ont abouti à la rédaction du Mémoire de l'appel de Paris. Voir [www.artac.info](http://www.artac.info)

Le **paludisme** est un deuxième type de maladie à transmission vectorielle pouvant potentiellement s'amplifier, sous l'influence du réchauffement climatique. Un premier constat est que la maladie n'est toujours pas jugulée à l'échelon mondial. Au contraire elle s'étend... Le deuxième point est qu'elle a existé en Europe, en particulier en métropole sous forme endémique (les anophèles y étaient présents) et que son éradication n'est que relativement récente. La possibilité d'une réapparition du paludisme endémique en Europe, sous l'effet du réchauffement climatique est discutée. Certains experts pensent que le risque est très faible, voir nul. Nous pensons qu'en réalité un tel risque ne peut être écarté au moins dans les régions humides du pays, compte tenu de la croissance des phénomènes de résistance de l'anophèle aux pesticides et du *plasmodium* aux antipaludéens.

Les **leishmanioses** constituent un troisième risque potentiel. La maladie est présente en Europe, en particulier dans le sud de notre pays et par ailleurs les *phlébotomes* qui en sont les vecteurs, sont très sensibles aux modifications climatiques. Cependant des moyens de lutte existent. Enfin, le risque de développement des **leptospiroses** est certainement à considérer. La maladie est déjà présente dans notre pays et lors de la canicule de 2003, sa recrudescence semble avoir été observée en métropole au moins dans un département. Cependant, la mise en place de campagnes de dératisation devrait permettre une lutte efficace contre la maladie.

- *Maladie à transmission non vectorielle*

Si les maladies à transmission vectorielle sont certainement à envisager prioritairement, on ne peut négliger pour autant celles qui n'y sont pas. Les impacts du changement climatique concernent en effet non seulement la modification des milieux inertes – l'eau, l'air, les sols – et par conséquent l'agriculture – donc l'alimentation –, mais aussi les comportements animaux et humains (cela est connu depuis la théorie des climats de Montesquieu!), qui dans un cas comme dans l'autre peuvent être à l'origine ou favoriser l'émergence de maladies infectieuses ou non. Or dans ce domaine, les incertitudes sont telles qu'il est impossible de tenter la moindre prévision. À cela s'ajoute le fait que sous l'effet du changement climatique, en cas de conditions d'insalubrité ou de dénutrition associées, certaines maladies, telle la tuberculose, pourront réémerger ou s'étendre, et que par ailleurs des associations synergiques entre différentes maladies peuvent avoir lieu. Ainsi par exemple apparaît-il clairement que la survenue de certains cancers d'origine infectieuse, tels que le **lymphome de Burkitt**, n'est pas seulement liée à un virus particulier (ici le virus d'Epstein-Barr), mais à plusieurs cofacteurs directement ou indirectement liés au climat (tels certains arbovirus et le paludisme, en ce qui concerne le lymphome de Burkitt) (Van den Bosch, 2004).

Ainsi du point de vue sanitaire, tout se tient. Si au sein d'une multitude de facteurs de risque, le climat apparaît être l'un des plus déterminants, l'anticipation des effets sur la santé de tout changement radical, même s'il est progressif, comporte en réalité une très grande part d'incertitude.

## Les moyens d'actions

Les difficultés précédentes rendent compte de l'impossibilité de prévoir avec précision les maladies auxquelles la médecine de demain devra faire face. Cependant il nous faut dès maintenant agir. En matière de santé, l'action maîtresse est la prévention, lorsque les facteurs de risque sont connus et la précaution, lorsqu'ils ne le sont pas. Réduire toute pollution à sa source et plus spécifiquement, lutter efficacement contre l'effet de serre sont la priorité des priorités, car tout en dépend, y compris la santé des populations. La prise de conscience récente des pouvoirs publics et politiques en faveur de la lutte contre la dégradation de notre environnement, dont témoignent la Convention-cadre des Nations unies sur le changement climatique (CCNUCC), le quatrième rapport du Giec (en cours d'élaboration), le Livre vert de la Commission européenne sur l'adaptation (2007) et en ce qui concerne notre pays, les actions de l'Onerc et plus récemment la Conférence de Paris des 2 et 3 février 2007 proposant une gouvernance mondiale en matière de politique environnementale, vont dans le bon sens. Mais toutes ces actions ne sauraient être suffisantes, si l'ensemble des pays de la planète – et le nôtre en premier lieu – ne réalisaient pas concrètement les objectifs envisagés.

S'il tient à ne pas faire partie des victimes, tout en conservant sa vocation universaliste, notre pays doit être à l'avant-garde de l'Europe, et même du monde, en matière de politique environnementale, et pour cela en particulier s'inspirer de l'expérience acquise par l'île de La Réunion, qui de façon exemplaire développe une telle politique dans les domaines concernant l'énergie, le respect des écosystèmes naturels et la santé. Gérer au mieux et dans l'urgence la survenue des crises sanitaires en tenant compte de l'expérience acquise est essentiel. Mettre en place des réseaux sentinelles de détection précoce des maladies, en améliorant la surveillance épidémiologique au plan national et international l'est tout autant. Il faut aussi, dès maintenant, engager des recherches ciblées sur les grands thèmes évoqués précédemment, et pour cela, développer des recherches en écologie sanitaire et médecine environnementale, non seulement en renforçant l'épidémiologie et la toxicologie, mais aussi en revalorisant l'enseignement et la recherche dans les domaines des sciences naturelles, en particulier dans celui de l'entomologie. Il faut enfin former de nouveaux chercheurs à ces disciplines, éduquer le public à la gestion des risques autant qu'à la survenue des crises, et surtout convaincre les décideurs institutionnels et politiques, que sans eux, sans leur volonté affirmée d'agir concrètement et efficacement, en réalité rien ne pourra être fait.

# Les systèmes de surveillance et d'alerte sanitaires





# Changement climatique, réseau de surveillance et veille des maladies infectieuses sur le plan national

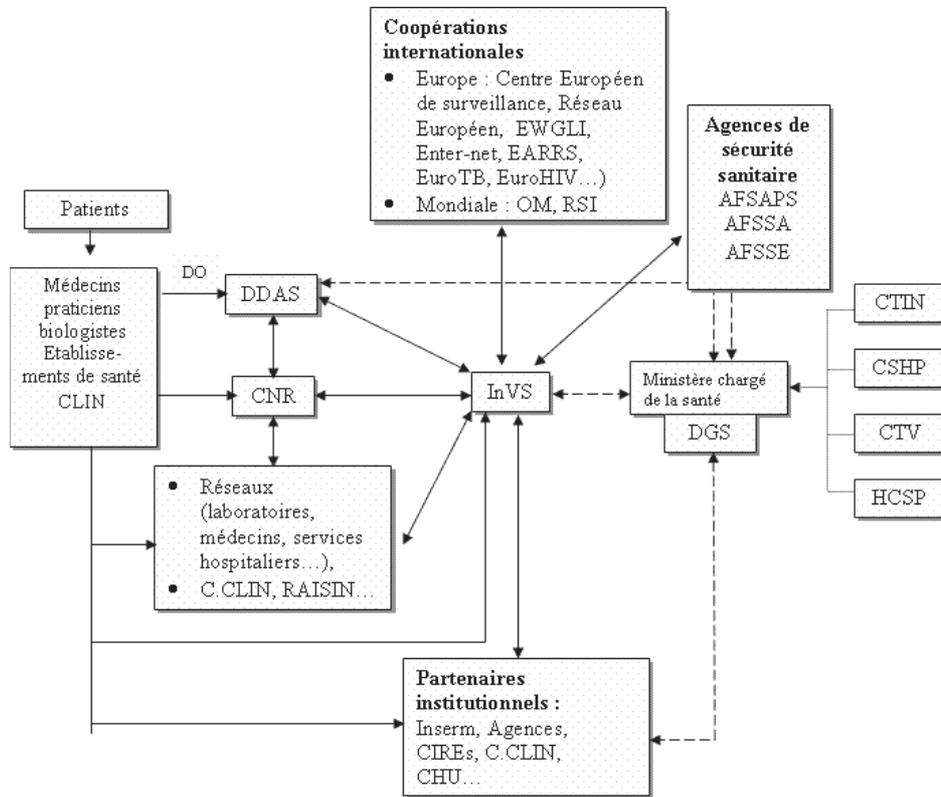
Jean-Claude Desenclos, *InVS*

## Introduction

Les maladies infectieuses sont chaque année en France la cause initiale de plus de 30 000 décès et constituent, à ce titre, une préoccupation de santé publique qui demeure importante. Leurs modes de survenue sont très variés (cas sporadiques, épidémie par transmission de personne à personne ou de source commune, pandémie, infections communautaires ou nosocomiales...); certaines peuvent émerger (augmentation de l'incidence dans l'ensemble ou des sous-groupes de la population) ou connaître une évolution de leurs caractéristiques (augmentation d'un sous-type d'un agent, gravité, pathogénie, résistance aux anti-infectieux...) ou apparaître de nouveau et diffuser plus ou moins largement (Sras), voire se pérenniser (infection à VIH). Dans ce contexte très dynamique, la surveillance épidémiologique des maladies infectieuses représente un préalable indispensable à l'élaboration, l'évaluation et l'adaptation des politiques de contrôle, de lutte et de prévention. Elle doit aussi s'adapter en permanence à la dynamique des maladies infectieuses.

L'ensemble du dispositif de surveillance (*cf.* figure 20) des maladies infectieuses doit permettre à la fois l'amélioration des connaissances épidémiologiques nécessaires à la mise en œuvre des programmes de lutte et de prévention, le suivi des tendances des maladies dans le temps, l'évaluation des actions de prévention mais également permettre la détection précoce de tout phénomène épidémique ou considéré comme pouvant représenter un danger pour la santé publique. La détection et le signalement de ces phénomènes, sous quelque forme que ce soit, constituent la mise en alerte du système surveillance et de santé publique. Dans un second temps, l'analyse du signal d'alerte doit permettre de préciser rapidement si un risque pour la santé publique existe et quelles sont les mesures à mettre en œuvre, de manière immédiate (limiter la survenue de cas ultérieurs) ou différée (après qu'une investigation épidémiologique approfondie ait permis d'identifier la source du phénomène).

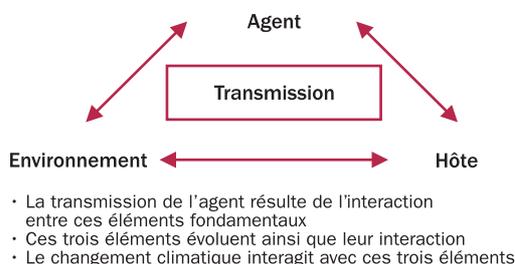
**Figure 20. Représentation institutionnelle du système français de surveillance des maladies infectieuses**



Pour comprendre la dynamique des infections et leur capacité à évoluer et « émerger » sous une forme nouvelle, inhabituelle ou là où on ne l'attend pas, il convient de les analyser dans une dimension globale à savoir non seulement l'agent infectieux mais aussi l'environnement (social et politique inclus), l'hôte qu'il soit animal ou humain et surtout les interactions entre ces trois éléments fondamentaux (cf. figure 21). C'est dans ce contexte qu'il faut intégrer le changement climatique comme un des déterminants de l'évolution des maladies infectieuses. On sait déjà que le climat est un déterminant de l'épidémiologie des maladies infectieuses expliquant ainsi leurs recrudescences saisonnières, estivales (salmonelloses par exemple...) ou hivernales (bronchiolites, grippe, gastro-entérites virales...) ou leur distribution géographique (paludisme, dengue...), voire l'évolution de la distribution géographique (fièvre de la vallée du Rift). Dans un contexte d'évolution climatique qui se fait sur une longue durée, on peut s'attendre à moyen et long terme à des modifications de la distribution spatio-temporelle de certaines maladies infectieuses pour lesquelles le climat est un déterminant fort du cycle épidémiologique (infections vectorielles, interaction homme animal, infections liées à l'eau...). Ces modifications peuvent se matérialiser de diverses manières : modification à long terme des tendances

à la hausse voire à la baisse; élargissement de zones d'endémies d'infections du sud vers le nord de l'Europe (infection à West-Nile, leishmaniose...); implantation d'infections du fait de conditions devenues favorables, par exemple par implantation d'un vecteur compétent (*Aedes albopictus* et possibilité d'introduction et d'implantation du chikungunya dans le sud de l'Europe); conditions plus favorables à certaines maladies infectieuses déjà présentes et se matérialisant par des épidémies plus fréquentes (salmonellose, leptospirose...); conditions favorables à certains agents infectieux présents dans l'environnement qui deviendraient alors transmissibles à l'homme (vibrio halophiles marins...).

**Figure 21. Les trois éléments fondamentaux de la dynamique des maladies infectieuses**



Afin de documenter ces éventuelles modifications, les détecter au plus tôt et les anticiper, il est nécessaire de disposer d'outils de surveillance. Dans la suite de ce document, nous passons en revue l'organisation de la surveillance des maladies infectieuses en France et discutons l'implication du changement climatique sur leur organisation.

## Définition de la surveillance

La surveillance est définie par le dictionnaire Larousse® comme « l'action d'observer attentivement pour contrôler ». C'est ainsi que s'exerçait, lors des siècles derniers la surveillance des individus placés en quarantaine afin de contrôler les maladies comme la peste ou la variole. Au début des années cinquante, le concept a évolué sous l'impulsion d'A.D. Langmuir des « Centers for Disease Control and Prevention » américains et on est passé de la surveillance des individus à la surveillance de la dynamique des maladies dans la population. La définition de la surveillance est alors devenue le « processus continu et systématique de collecte, de compilation, et d'analyse de données de santé ainsi que leur diffusion à tous ceux qui ont contribué à la collecte et à tous ceux qui ont besoin d'être informés ». La surveillance est très opérationnelle et en lien direct avec l'action et la décision, ce qui implique nécessairement que les actions de surveillance s'intéressent en priorité à des problèmes de santé pouvant faire l'objet d'un traitement, d'une prévention ou plus généralement d'une action de santé publique, notamment d'initiative publique.

## Les objectifs de la surveillance

La surveillance épidémiologique en poursuit trois :

- la connaissance d'un phénomène infectieux dans un but d'action : dynamique spatio-temporelle des maladies infectieuses et leurs tendances, évolution de leurs caractéristiques cliniques épidémiologiques et microbiologiques. Les informations ainsi générées permettent de prioriser les actions et de préciser voire définir les objectifs de contrôle et de prévention ;
- l'évaluation des politiques et stratégies de contrôle et de prévention des maladies infectieuses repose en partie sur les données issues de la surveillance, notamment pour ce qui est de l'évaluation de leur impact ;
- l'alerte par la détection précoce de l'émergence de nouvelles pathologies infectieuses, et de la survenue de phénomènes épidémiques ou pouvant représenter une menace pour la santé.

Par les observations qu'elle permet de faire sur la dynamique des maladies dans la population, la surveillance permet de suggérer des hypothèses qui pourront être testées par des études analytiques. C'est dire l'interaction naturelle de la surveillance avec la recherche.

Un système de surveillance s'inscrivant par définition dans la durée et les ressources étant limitées, toute maladie infectieuse ne peut être surveillée. Il est alors nécessaire de prioriser les phénomènes à surveiller sur la base de leur importance (incidence, sévérité de la maladie, mortalité, complications, létalité, poids socio-économique), de leur potentiel évolutif, notamment épidémique, de l'existence de mesures de contrôle et de prévention et aussi la perception sociale et politique de la maladie.

## La surveillance des maladies infectieuses en France

La surveillance des maladies infectieuses repose sur un nombre important de partenaires et d'intervenants qui forment un réseau national de santé publique au sein duquel les cliniciens et biologistes sont en première ligne.

Le dispositif de surveillance des maladies infectieuses en France est basé sur quatre principaux outils : la déclaration obligatoire (DO), les centres nationaux de référence (CNR), les réseaux de professionnels volontaires et les enquêtes répétées. Ces systèmes sont coordonnés au niveau national par l'Institut de veille sanitaire (<http://www.InVS.sante.fr>) dans le cadre des missions que lui confère la loi du 1<sup>er</sup> juillet 1998. Il a pour mission de surveiller l'état de santé de la population, d'alerter les pouvoirs publics sur les menaces de santé publique, et d'étudier les déterminants des modifications de tendances de l'état de santé. Il contribue à la mission de surveillance de la France au niveau européen.

## La déclaration obligatoire

La déclaration obligatoire (DO) est une modalité de surveillance qui s'impose à tous (médecins, chefs de laboratoires et au malade touché) et qui traduit une volonté forte de l'autorité sanitaire d'intervenir pour protéger la santé des populations ou disposer d'informations sur un problème de santé publique jugé important. Les maladies infectieuses à DO (tableau) sont de deux types :

- celles pour lesquelles on dispose de mesures de santé publique efficaces permettant d'en limiter la diffusion (infection à méningocoque, légionellose, toxi-infections alimentaires, botulisme, infections provoquées par un agent pouvant être utilisés à des fins terroristes...) et qui doivent faire l'objet d'un signalement urgent à l'autorité sanitaire locale, le médecin inspecteur de santé publique (Misp) de la Direction départementale des affaires sanitaires et sociales (DDASS) ;
- et celles qui ne nécessitent pas cette action de maîtrise urgente pour en limiter la diffusion, mais dont la connaissance des caractéristiques épidémiologiques est nécessaire à la conduite de la politique de prévention (infection à VIH, hépatite B, tétanos).

La DO est un système passif. Elle est initiée par le médecin qui a pris en charge le malade ou le biologiste qui a établi le diagnostic biologique qui doit transmettre l'information au Misp qui valide les informations avant de les transmettre à l'Institut de veille sanitaire.

On distingue deux éléments distincts dans la DO : le signalement et la notification. Le signalement concerne les infections nécessitant une action urgente. Il se fait par tout moyen (téléphone, fax) et dans les meilleurs délais au MISP de la DDASS et inclut des éléments d'identification du patient nécessaires à la conduite des actions à mettre en œuvre immédiatement (prophylaxie, vaccination, investigation d'une toxi-infection alimentaire collective (Tiac)...). Une fois les actions prises le Misp détruit les informations permettant d'identifier le patient.

La notification concerne la transmission des informations épidémiologiques nécessaires au suivi des tendances. Elle est différente pour le VIH et l'hépatite B par rapport aux autres maladies à DO. Pour le VIH et l'hépatite B aiguë, qui ne font pas l'objet de signalement, c'est le biologiste qui initie la notification en renseignant le premier feuillet de la fiche de DO avec le code d'anonymat et en envoie ensuite, avec les résultats du test, une copie au médecin prescripteur et au Misp de la DDASS du département de diagnostic. Le médecin prescripteur renseigne alors la fiche de notification (données cliniques et épidémiologiques), informe le patient du caractère obligatoire de la déclaration et adresse la fiche au Misp de la DDASS qui en assure le couplement avec la copie du laboratoire, valide les informations et transmet les fiches à l'Institut de veille sanitaire où elles sont validées, saisies avec re-anonymisation, et analysées. Pour le VIH, un volet de surveillance virologique volontaire a été ajouté au système. Le biologiste envoie alors au CNR du VIH quelques gouttes de sérum sur buvard pour évaluer le caractère récent de l'infection (< 6 mois) et le sérotype.

Pour les autres maladies à DO, le déclarant renseigne la fiche de collecte d'information épidémiologique sur le cas (informations démographiques et épidémiologiques) et l'adresse au Misp de la DDASS avec le prénom et l'initiale du nom et la date de naissance du patient. Le Misp procède alors à l'anonymisation de la fiche à l'aide du même logiciel que le biologiste et la transmet avec ce dernier et sans autres caractères identifiant à l'Institut de veille sanitaire qui après l'avoir validée la saisit dans une base de données après une deuxième anonymisation, procède à l'analyse nationale et assure la rétro-information et, selon le cas, informe ou alerte le ministère de la Santé en cas de modification de tendance.

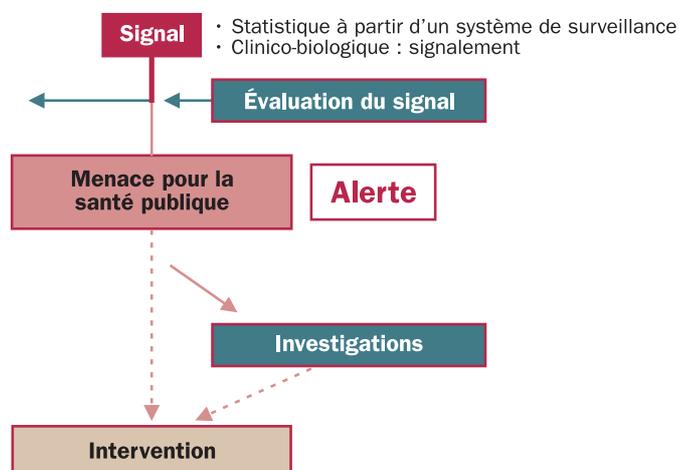
Le signalement des infections nosocomiales est venu compléter la DO en 2001. Ce signalement obligatoire a été instauré par la loi de 1998 et le décret du 26 juillet 2001 qui en précise les conditions d'applications. Il fait obligation aux établissements de soins de signaler les cas d'infections nosocomiales « rares ou particuliers » aux centres de coordination de la lutte contre les infections nosocomiales (C.CLIN) et aux DDASS. Les DDASS transmettent les informations relatives à ces signalements à l'Institut de veille sanitaire qui en fait la synthèse nationale. Il s'agit d'un dispositif d'alerte pour détecter et maîtriser les infections nosocomiales en apportant, si nécessaire, une assistance aux établissements. Plutôt que de définir une liste positive des événements à signaler, il a été fait appel à des critères de signalement qui correspondent à l'objectif d'alerte, d'action et de maîtrise du risque. Ainsi, les cas d'infection nosocomiale à signaler doivent correspondre à l'un des critères suivants :

- infections nosocomiales ayant un caractère rare ou particulier, par rapport aux données épidémiologiques locales, régionales ou nationales (cas groupés, épidémie), du fait de l'agent pathogène en cause (nouveau phénotype de résistance...), de la localisation de l'infection (infection invasive), de l'utilisation d'un dispositif médical (infection sur prothèse) ou de procédures ou pratiques pouvant exposer ou avoir exposé d'autres personnes au même risque ;
- décès lié à une infection nosocomiale ;
- infections nosocomiales suspectes d'être causées par un germe présent dans l'eau ou dans l'air environnant (légiellose, aspergillose...);
- et maladies à DO.

Pour les épisodes d'infection nosocomiale répondant à l'un de ces critères, l'établissement le signale simultanément à la DDASS et au C.CLIN à l'aide d'une fiche standardisée qui précise le ou les critères de signalement, le nombre, le type et les caractéristiques (site, micro-organisme responsable...), les mesures de contrôle prises, le fait que l'épisode soit maîtrisé ou pas et l'éventuel besoin d'une expertise extérieure. Le C.CLIN assiste l'établissement pour les investigations complémentaires si besoin et à l'élaboration de recommandations à sa demande ou à celle de la DDASS. La DDASS vérifie l'application des mesures de contrôle recommandées. Elle transmet à l'Institut de veille sanitaire les fiches de signalement où elles font l'objet d'une validation et sont ensuite saisies dans une base de données. L'Institut de veille sanitaire interagit régulièrement avec les C.CLIN, fait le lien avec la matérieo-vigilance de l'AFSSAPS en tant que de besoin, analyse la base de données nationale, assure la rétro-information et apporte un soutien à l'investigation en cas d'épidémies importantes.

Le signalement de phénomènes de santé a par ailleurs été élargi par la loi d'août 2004 qui oblige les professionnels de santé à signaler en urgence au préfet les phénomènes de santé pouvant représenter un danger grave pour la santé publique et exige que celui-ci en informe immédiatement l'InVS. Par ailleurs, le nouveau Règlement sanitaire international (RSI) adopté par l'assemblée mondiale de la santé de l'OMS en 2005 est basé sur le signalement à l'OMS par les autorités sanitaires nationales d'événements répondant à quatre critères (sévérité, événement inattendu, risque de dissémination internationale et interférence avec la circulation des personnes et des biens). Une procédure de signalement électronique sécurisée du type de celle adoptée par l'OMS existe entre les pays de l'Union européenne depuis 1998. Elle permet un échange précoce d'information validée entre instituts de surveillance et ministères de la Santé nationaux sur les menaces de santé publique pouvant affecter plus d'un pays de l'Union. Le signalement (au sein de la DO, pour les infections nosocomiales et pour tout autre événement de santé pouvant représenter une menace pour la santé) est un outil très utile qui vient compléter les outils de surveillance classique. Il doit être appréhendé comme une source de signaux qui nécessitent une évaluation initiale avant de les qualifier d'alerte (s'agit-il d'une de menace réellement), de les investiguer de manière plus approfondie (disposer des éléments nécessaires sur le phénomène pour proposer des mesures de maîtrise) et de mettre en place les mesures adaptées (cf. figure 22).

**Figure 22. Du signal à l'alerte et l'action**



## La mortalité et les causes médicales de décès

Depuis 1968, le Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès (CépiDc) de l'Inserm (anciennement SC8) est chargé d'élaborer annuellement la statistique nationale des causes médicales de décès en collaboration avec

l'Insee. Cette statistique est établie à partir des informations recueillies dans le certificat et le bulletin de décès. La mise en œuvre d'une certification électronique des décès à partir des médecins permettra à terme de disposer des données de mortalité par causes spécifiques de manière beaucoup plus réactive, quasiment en temps réel. Le suivi réactif de la mortalité toutes causes par âge et région est cependant déjà possible à partir des remontées électroniques des mairies vers l'Insee avec un délai d'une à deux semaines. Ces données qui sont centralisées au niveau de l'InVS permettent de détecter et d'évaluer en temps presque réel l'impact d'une menace de santé publique sur la mortalité en comparant avec les années précédentes. Ce type de système est particulièrement utile pour des phénomènes tels que les canicules, les épidémies importantes (Chikungunya à La Réunion) ou en cas de pandémie grippale.

### Les centres nationaux de référence (CNR)

Les CNR sont au nombre de 46 et sont coordonnés par l'InVS. Ils ont été institués en 1972 en France par le ministère chargé de la Santé dans le cadre de la lutte contre les maladies transmissibles. Ces centres sont habituellement des laboratoires hospitaliers ou de recherche d'excellent niveau scientifique. Ils ont une mission d'expertise des agents infectieux concernés (détection, caractérisation, typage des souches et étude de la sensibilité aux anti-infectieux et biocide) et contribuent, à des degrés divers selon la caractéristique de l'agent infectieux, à la surveillance et à l'alerte. La mission de surveillance concerne principalement la détection de cas groupés d'infections liées à un même type ou sous-type bactérien (listériose, salmonellose, méningocoque...) ou de cas isolés d'une maladie rare (poliomyélite, diphtérie...).

### Les réseaux de professionnels volontaires (laboratoires, services hospitaliers, médecins...)

Pour la surveillance des maladies infectieuses qui ne sont pas à DO ou pour lesquelles il n'existe pas ce CNR, des réseaux de surveillance basés sur des échantillons de professionnels de santé volontaires (médecins, biologistes), publics et privés, ont été mis en place en fonction des besoins et des priorités. Ils permettent d'obtenir des données sur les tendances évolutives et les principales caractéristiques épidémiologiques de ces maladies, et pour certains peuvent aussi contribuer à l'alerte. Ces réseaux de surveillance nationaux sont mis en œuvre par l'InVS ou des structures publiques de recherche ou de santé publique (Inserm, structures hospitalières...). Ces réseaux peuvent s'intéresser à une ou plusieurs maladies. Il existe aussi des fédérations de réseaux (réseaux de réseaux). La composition et le fonctionnement de chaque réseau dépendent du micro-organisme ou du syndrome cible de la surveillance, des objectifs fixés et des informations minima à recueillir. Pour certains, les informations recueillies

sont succinctes et disponibles auprès du biologiste : ce sont les réseaux de surveillance des chlamydioses (RENACHLA), des gonococcies (RENAGO), des infections invasives à *Haemophilus influenzae*, *Listeria monocytogenes*, méningocoque, pneumocoque, streptocoques A et B (EPIBAC) et des tests de dépistage anti-VHC (RENAVHC). Pour d'autres, chaque cas notifié par le biologiste fait l'objet d'une demande de complément d'informations auprès du clinicien ayant pris en charge le cas : c'est le cas du réseau de surveillance des infections rubéoleuses en cours de grossesse (RENARUB). Plusieurs réseaux reposent sur la participation de services hospitaliers : il s'agit du réseau de surveillance de la coqueluche (RENACQ) qui est composé de services de pédiatrie, du réseau de surveillance du syndrome hémolytique et urémique (RENASHU) qui implique les services de néphrologie pédiatrique et du réseau des pôles de références de l'hépatite C pour la surveillance des caractéristiques des hépatites C nouvellement prises en charge. Enfin, le réseau de surveillance peut être basé sur une approche syndromique à partir d'un échantillon de services d'urgence, tel que le réseau OSCOUR de l'InVS qui permet une surveillance très réactive au jour le jour (gastro-entérite chez l'enfant, bronchiolite... <http://InVS.sante>) ou de médecins généralistes, tel que le réseau Sentinelles (<http://rhone.b3e.jussieu.fr/senti/>). Ce système permet, grâce à l'outil télématique et des techniques de détection temporo-spatiale appropriées un suivi hebdomadaire de la diffusion temporo-spatiale de syndromes infectieux fréquents (diarrhée aiguë, syndromes grippaux, varicelle...). Le réseau des GROG (<http://www.grog.org/>), qui est basé sur un réseau de médecins généralistes et de pédiatres surveille les syndromes grippaux et les bronchiolites et contribue à la surveillance virologique indispensable à l'adaptation du vaccin aux souches circulantes par l'envoi de prélèvements respiratoires aux CNR des virus *Influenzae*.

Certains réseaux de surveillance peuvent être complexes du fait de la nature de la maladie surveillée. Il s'agit par exemple du réseau national de surveillance de la maladie de Creutzfeldt-Jakob (MCJ) et des maladies apparentées associant de multiples partenaires (neurologues, neuropathologistes, biologistes ou institutionnels...) qui signalent les suspicions de cas à l'Inserm U 360 qui engage un suivi de chaque cas, permettant de le classer par type (sporadique, nouveau variant, iatrogène...) et par degré de certitude (cas confirmé et probable). Le réseau met à jour chaque mois la statistique du nombre de décès par MCJ survenus en France depuis 1992 et le nombre de cas probables de variants de la MCJ non décédés.

## Le réseau d'alerte d'investigation et de surveillance des infections nosocomiales (Raisin)

La surveillance des infections nosocomiales s'est organisée depuis 1992 à partir de cinq centres interrégionaux de coordination de la lutte contre les infections nosocomiales (C.CLIN). Ces cinq centres sont situés à Paris (C.CLIN Paris-Nord),

Strasbourg (C.CLIN Est), Lyon (C.CLIN Sud-Est), Bordeaux (C.CLIN Sud-Ouest) et Rennes (C.CLIN Est). Ils animent les réseaux de surveillance de leur inter-région. En cohérence avec les priorités de la lutte contre les infections nosocomiales, cinq surveillances ont été mises en œuvre : les infections du site opératoire ; les infections en réanimation ; les infections à bactéries multirésistantes ; les bactériémies nosocomiales ; les accidents d'exposition au sang. La création, en 2001, du Réseau d'alerte d'investigation et de surveillance des infections nosocomiales réunissant les cinq C.CLIN et l'InVS a permis d'harmoniser les protocoles de surveillance (protocole minimum commun à chaque interrégion) afin de disposer de bases de données nationales (infection du site opératoire, bactériémies, accident d'exposition au sang). D'autres activités de surveillance sont coordonnées par l'InVS et mises en œuvre au sein du RAISIN telles que les enquêtes de prévalence répétées (1995 et 2001). La participation des hôpitaux ou services aux cinq réseaux de surveillance est volontaire et périodique (au moins trois mois par an). La méthodologie est propre à chaque réseau de surveillance. Toutes les méthodologies comportent le protocole de recueil des données, la définition des cas, le recueil de facteur de risque d'infection spécifique (par exemple le score du NNISS, National Nosocomial Infection Surveillance, pour les infections du site opératoire, la durée d'exposition à un dispositif invasif en réanimation...). Les services ou hôpitaux utilisent les outils fournis par les C.CLIN qui analysent les données et restituent les résultats au moins une fois par an aux participants.

### Surveillance au sein de populations particulières

Plusieurs systèmes de surveillance collectent des informations en continu sur certaines maladies infectieuses, certains marqueurs biologiques d'infections ou indicateurs au sein de populations particulières. Il s'agit de la surveillance des infections à VIH et VHC acquises professionnellement par les soignants, le suivi des activités de dépistage des centres de dépistage anonyme et gratuit (CDAG), la surveillance des marqueurs d'infections virales chez les candidats au don de sang, la surveillance des indicateurs de réduction des risques chez les usagers de drogue par voie veineuse (SIAMOIS).

### Les enquêtes répétées

Des enquêtes répétées dans le temps en population générale ou dans des populations définies, permettent de suivre l'évolution de la prévalence de certaines infections (enquête nationale de prévalence des infections nosocomiales dans les établissements de soins réalisée en 1995 et 2001, certaines infections périnatales au sein de l'enquête périnatalité, enquête de séroprévalence anti-VHC...), de la couverture vaccinale (enquête à partir des certificats de santé du 24<sup>e</sup> mois, en classe de 6<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup>), du statut immunitaire (enquête de séro-épidémiologie vaccinale) et des comportements de prévention chez les homosexuels (enquête presse gay, baromètre gay) et les usagers de drogue par voie veineuse.

## Les réseaux de réseaux

Il s'agit de réseaux de surveillance s'intéressant à une même problématique et qui se fédèrent autour d'objectifs communs. Ce regroupement de réseaux qui n'ont pas nécessairement une couverture nationale, a pour corollaire la définition de règles de fonctionnement et de critères méthodologiques minimaux. Ces critères minimaux doivent permettre la mise en commun des données collectées dans chacun des réseaux qui ont quelquefois des objectifs spécifiques qui peuvent varier. L'Observatoire national de l'épidémiologie de la résistance bactérienne aux antibiotiques qui est une structure associative fédérant des réseaux de laboratoires s'intéressant particulièrement à la résistance aux antibiotiques en est un exemple. Les observatoires régionaux de la résistance du pneumocoque aux antibiotiques entre aussi dans cette catégorie. Ils regroupent 21 observatoires régionaux composés de laboratoires hospitaliers et privés coordonnés au niveau régional et collaborent avec le Centre national de référence du pneumocoque et l'InVS pour évaluer l'évolution de la progression de la résistance aux antibiotiques du pneumocoque et l'impact du programme de vaccination contre le pneumocoque.

### L'utilisation de bases de données constituées pour d'autres raisons que la surveillance

Les bases des données constituées pour d'autres raisons que la surveillance sont régulièrement utilisées pour la surveillance. Il s'agit des bases de données médico-administratives (celles du Programme de médicalisation des systèmes d'information – PMSI –, des prescriptions médicales de la CNAMTS, des causes de décès...) ou de bases de données d'organismes privés (ventes de médicaments, de vaccins, prescriptions médicales...). L'utilisation de ces bases de données dans une perspective de surveillance d'une maladie est possible après évaluation de sa pertinence pour cet objectif.

### La surveillance de la consommation des antibiotiques

La progression de la résistance aux antibiotiques résulte de la pression de sélection liée à l'usage des antibiotiques et à la transmission de bactéries résistantes. Afin de mesurer le niveau de la pression de sélection et d'évaluer l'impact des programmes de bon usage des antibiotiques, il est nécessaire de disposer des données de consommation d'antibiotique par famille d'antibiotiques et selon l'âge en ville et à l'hôpital. Pour la ville, ces données sont produites par l'AFSSAPS et la Caisse nationale d'assurance maladie des travailleurs salariés (CNAMTS). Pour l'hôpital, il est nécessaire de recourir à des enquêtes.

## Conclusions

La surveillance des maladies infectieuses est essentielle pour définir, mettre en œuvre et évaluer les politiques de contrôle et de prévention de ces maladies. Elle doit aussi permettre à tout moment d'identifier et caractériser dans les meilleurs délais les nouvelles menaces infectieuses. Basée sur des systèmes réglementaires et volontaires et le signalement réactif d'événements inhabituels pouvant représenter une menace pour la santé publique, elle nécessite une participation active des cliniciens, biologistes, services hospitaliers et structures d'expertises, et une coordination nationale assurée par l'Institut de veille sanitaire et régionale, ou à défaut interrégionale assurée par les cellules interrégionales d'épidémiologie pour les infections communautaires et les C.CLIN pour les infections nosocomiales. Le retour rapide d'information est essentiel à son utilité en santé publique et à son bon fonctionnement. Enfin, la surveillance des maladies infectieuses doit de plus en plus intégrer la dimension internationale que ce soit à l'échelon européen (création du Centre européen de contrôle des maladies à Stockholm en 2005) et mondial (révision du Règlement sanitaire international sous l'égide de l'Organisation mondiale de la santé).

Le climat a un impact certain sur la dynamique et la répartition géographique des maladies infectieuses (phénomènes saisonniers, zones d'endémie...). Le changement climatique, selon son importance et sa rapidité, pourra intervenir dans la dynamique des maladies infectieuses : modification des tendances à moyen et long terme, extension des zones d'endémie, déclenchement d'épidémies, d'émergence. Pour y faire face les systèmes de surveillance devront pouvoir documenter les tendances sur de longue période et permettre la détection et l'anticipation des épidémies. Des travaux de recherche et de modélisation sont aussi nécessaires pour analyser les conséquences du changement climatique que l'on peut envisager selon différents scénarios. Une analyse des données épidémiologiques, en lien avec les données météorologiques et climatiques, en est une étape indispensable.

### Liste des maladies à déclaration obligatoire en France, 2005

Charbon\*, Botulisme\*, Brucellose\*, Choléra\*, Chikungunya\*, Dengue\*, Diphtérie\*, Fièvres hémorragiques\*, Fièvre jaune\*, Fièvre typhoïde\*, Hépatite A\*, Hépatite B\*\*, Infections nosocomiales répondant à certains critères\*, Infection VIH\*\*, Légionellose\*, Listériose\*, Infection à méningocoque\*, Paludisme autochtone et d'aéroport\*, Peste\*, Polio\*, Rage\*, Rougeole\*, Suspicion de Creutzfeldt-Jakob\*, Tétanos\*\*, Tiac\*, Tuberculose\*, Typhus\*, Tularémie\*, Variole\*.

\* Maladies avec action de santé publique autour du cas et suivi des tendances.

\*\*Suivi des tendances uniquement.

# Changement climatique, urgence et intervention rapide

Jean-Louis San Marco, *hôpital de La Timone*

## Introduction

Une crise est une rupture dans une situation stable jusque-là. Elle peut évidemment survenir dans tous les domaines, avec un niveau de risque extrêmement variable. Mais c'est aussi et surtout une surprise, cela à des degrés divers. C'est cet élément de surprise qui explique pour une large part la difficulté de sa gestion. Celle-ci va essentiellement consister à réduire autant que possible le degré de surprise, le niveau de rupture étant par définition hors d'atteinte. Préparer une gestion de crise doit permettre de faciliter la réaction des structures en charge de ce problème, la rapidité de réaction et l'adéquation au problème étant les deux clés de l'efficacité de la réaction. On peut espérer avoir d'autant plus d'efficacité que la gestion de crise aura été plus préparée ou au moins envisagée.

C'est d'abord un état d'esprit qui doit prévaloir : éveil, interrogation sur les risques potentiels, sur le niveau de ces risques, sur les divers moyens d'y faire face ; recensement des acteurs et des alliés potentiels dans chaque circonstance, préparation enfin des médias, moins au problème lui-même, par définition inconnu, qu'à la notion de veille et de réactivité. Nous diviserons cette gestion de crise en trois étapes. Et nous opposerons pour chacune d'entre elles les principes de sa réalisation à la réalité rencontrée le plus souvent sur le terrain : très en amont d'abord, à distance de la crise, puis au moment de sa survenue et enfin lors de l'analyse postcritique lorsqu'on cherche à préparer au mieux un prochain épisode du même type (en réduisant autant que faire se peut l'effet de surprise du premier épisode).

## La préparation à distance de la survenue de la crise, encore seulement éventuelle

### Les principes

Il s'agit essentiellement d'un état d'esprit à instaurer, à maintenir et à faire partager. Il faut insister sur la grande difficulté à maintenir cette veille. C'est difficile car chacun d'entre nous, presque en permanence, a des urgences à gérer

qui nous paraissent toutes légitimes. Il est donc particulièrement difficile de se mobiliser, *a fortiori* de mobiliser l'attention des autres, sur un problème qui par définition n'existe pas au moment où on l'évoque. Il est pourtant indispensable, si on veut faire face efficacement à une crise éventuelle de se tenir en éveil, d'imaginer des scénarios possibles, en fonction de ce qui s'est passé ailleurs, de se préparer à l'improbable.

Il faut pourtant éviter de devenir l'obsessionnel d'un problème, au mépris de tous les autres et souligner seulement qu'on ne peut agir efficacement, devant une situation inattendue, que si on s'est préparé à cela. « Le hasard ne favorise que les esprits préparés » a dit Pasteur. C'est donc moins à un problème précis qu'il faut se préparer qu'à la survenue d'un épisode inattendu et à savoir rapidement en déceler les dangers potentiels.

On n'aboutira pas à grand-chose par un discours millénariste annonçant à grands cris une catastrophe inéluctable : la première occasion ratée, dans le cas du climat et de ses dangers, un été pourri ou un hiver doux... démobilisera définitivement ceux qui n'avaient comme seule envie que de ne pas se mobiliser.

Il faut surtout que la situation envisagée, si improbable qu'elle semble, ne paraisse pas totalement étrangère et sans représentation possible pour les responsables « veille bibliographique », surveillance de ce qui survient ailleurs dans les divers domaines envisagés, permettront de rendre le risque envisageable. On pourra alors recenser les moyens nécessaires, les comparer aux moyens éventuellement disponibles. Recenser les alliés ou ceux qui sont susceptibles de l'être, prendre contact avec les médias, afin de préparer la communication pendant la crise.

Mais ce qui reste fondamental est le maintien d'un éveil au risque et d'un état d'esprit volontariste. Se convaincre et convaincre ses interlocuteurs que la crise peut survenir et que l'on peut, si on y est prêt, en réduire les conséquences.

### La réalité

Il s'agit là d'un discours souvent un peu creux : seuls les militaires, les pompiers et certaines grosses entreprises privées se livrent régulièrement à ce type de *brainstorming*. L'énorme majorité de notre société vit la plupart du temps dans une quiétude dont on se convainc facilement qu'elle est appelée à durer.

Le nombre de gens que l'on croyait concernés et auxquels on fait appel est souvent plus faible qu'on ne l'imaginait. Mais surtout, moins qu'un manque d'information, on est frappé par le mélange d'indifférence et d'hostilité que l'on rencontre. Ce qui permet de séparer ceux qui ne sont pas impliqués, et dont l'ignorance est légitime, de ceux qui le sont et ne veulent rien partager. Quand tout n'a pas été millimétré, préparé et réparé par des réunions dont chacune semble difficilement supportable sur le moment, mais dont on découvre tout

l'intérêt à cette occasion, on ressent un vertige devant l'incapacité à trouver, en temps utile, la personne qui puisse établir le lien nécessaire.

On tombe souvent sur des gens non concernés par le problème, dont le nombre tient pour une part à l'ignorance naturelle de chacun d'entre nous de la complexité des circuits administratifs. Mais aussi de temps en temps sur quelque important, concerné mais horrifié qu'un malotru qui ne dépend pas de la même administration que lui puisse se mêler de ce qui ne le regarde pas et tente d'envahir son territoire. Le fonctionnement en tuyaux d'orgues de l'ensemble de la société française apparaît ici dans toute sa clarté. La preuve la plus indiscutable est représentée par la rétention d'informations qui vient briser, ou au moins ralentir, une chaîne de relais alors que l'on pensait, bien à tort, qu'elle était correctement lancée.

*A contrario*, la grande majorité des responsables administratifs ont souligné, à partir de 2004, le plaisir qu'ils avaient eu à travailler enfin de manière transversale après la canicule de 2003, l'efficacité qu'ils avaient constatée de ces visions croisées, outre la nouveauté qu'elles représentaient. Et puis il y a, enfin, les obstacles triviaux qui font qu'une catastrophe ne survient jamais au bon moment ; canicule survenant plus tôt qu'elle ne devrait, ou en pleine période de restriction de personnel et d'absence de responsables, grand froid choisissant pour s'installer la trêve des confiseurs, épisode inquiétant de toute nature survenant dans les premières heures d'un long week-end ou bien au milieu de la nuit quand le sommeil prive chacun d'une bonne part de ses capacités et qu'on ne sait pas clairement et indiscutablement qui alerter.

La scotomisation devant certaines circonstances dramatiques existe pourtant bien. Il n'est que de rappeler l'absence de prise de conscience de notre société de la surmortalité hivernale, répétée chaque année depuis au moins trente ans dans tous les pays européens, pour comprendre l'étendue du problème qui se pose.

## Faire face à la crise

### Les principes

Deux notions doivent être soulignées. La première est qu'il faut maintenir la même attitude d'éveil. La pire des choses serait le syndrome du « Désert de Tartares » : on a veillé jusqu'à la veille de la catastrophe et on s'est démobilisé en raison d'autres sollicitations plus urgentes. Ceci peut être facilité, outre l'attente vaine jusque-là, par le fait que la crise ne prend jamais la voie que l'on attendait. Et permet donc à ceux qui ne voulaient pas voir de ne pas voir une fois de plus.

Par exemple, une canicule prendra l'aspect privilégié d'un épisode de grande sécheresse avec un retentissement dramatique sur la production agricole. Ou bien sera masquée par des feux de forêts tragiques, des interruptions dans la production d'électricité dues aux difficultés d'une centrale nucléaire dont on est contraint de suspendre la production car on ne dispose plus d'assez d'eau assez fraîche pour maintenir son fonctionnement. Ou, enfin, un conflit à propos du produit d'un étang d'ostréculture déclaré impropre à la consommation en raison de la sécheresse... Un épisode de grand froid pourra quant à lui être masqué par une poussée épidémique inquiétante...

Il faut alors savoir faire face à un afflux d'informations qui ne sont pas toutes cohérentes et qui ne se présentent jamais de la façon logique et cohérente que l'on attendait.

C'est pourtant là qu'il faut mobiliser les alliances préalablement établies. Organiser la prise en charge du problème, des victimes, mobilisation des acteurs, recherche d'alliances nouvelles, de renforts... Mettre sur pied le règlement d'un aspect intercurrent imprévu. Organiser des points presse réguliers qui ont un double objectif : rendre compte à la population de l'évolution de la situation et, en même temps, obtenir la participation de cette dernière à l'effort collectif demandé.

### La réalité

La première notion à garder présente à l'esprit est que la crise ne prend jamais l'aspect attendu et qu'elle ne survient jamais au bon moment : une alerte portant sur la forte mortalité observée dans les élevages de poulets de la région, sur la sécheresse qui pénalise l'élevage de bovins, la baisse des réserves hydriques qui fragilise la production électrique, comme cela a été le cas en juillet 2003... sans référence humaine dans un premier temps. Un coup de froid qui survient en mai, un épisode caniculaire l'été bien sûr mais en plein week-end du 15 août, quand il n'y a personne à son poste. Il faut s'attendre et se préparer au syndrome de la ligne Maginot.

Sans revenir au « nuage de Tchernobyl arrêté aux frontières », rappelons les propos rassurants tenus en août 2003 sur l'impossible risque zéro, sur l'hystérie de certains devant des manifestations auxquelles nous ne pouvions rien..., sur le soit disant « effet de moisson » qui ne faisait qu'avancer de quelques semaines les décès normalement attendus et n'avait donc seulement qu'un effet apparent sur la mortalité qui restait naturelle !

Mais il y a pire encore. Il est sans doute représenté par ceux qui ont réfléchi au problème mais ont retenu une mauvaise solution : en 1905 lors du tremblement de terre de San Francisco, la plupart des dégâts observés dans la ville ont été imputables aux initiatives du général chargé de protéger la population, et en mai 1940 faut-il rappeler que le général Gamelin ne croyait pas au rôle des chars dans la bataille !

## Le bilan postcritique

### Les principes

La première notion à souligner est la nécessité de l'établissement de ce bilan. On peut avoir facilement tendance à oublier ce qui s'est passé et à se laisser aller à un lâche soulagement. Ouf, on s'en est mieux sorti qu'on pouvait le craindre... On y est poussé par ceux qui n'ont été convaincus que de façon partielle et trop tardive. Et surtout on est vite repris par nos urgences habituelles qu'on retrouve presque avec soulagement. La tentation est donc de passer à autre chose! Ceci est d'autant plus aisé que se présente souvent un autre épisode critique qui tend à faire rapidement oublier le précédent : crise des banlieues après le chikungunya ou la grippe aviaire par exemple...

Et il semble indispensable, dans tous les cas, de tenter de préciser parmi ce qui a été mis sur pied, ce qui a marché, ce qui a été efficace, ce qui l'a moins été et par ailleurs les erreurs qui ont été commises, et les échecs, dans la prévision, la gestion, la communication et la mobilisation de la population. Si on ne veut pas perdre tout le « bénéfique » de la crise traversée, dans le but de préparer au mieux la crise suivante, c'est une étape indispensable.

Enfin, il importe de publier dans la presse scientifique l'historique et l'analyse critique de l'épisode, pour permettre à la communauté tout entière de reconnaître l'existence de l'épisode critique, afin de permettre à tous de se préparer dans l'avenir à un nouvel épisode de ce type.

Enfin, en dernier point, il faut mettre sur pied le programme de gestion de la prochaine crise, qui aura grâce à cela perdu une partie de son caractère de surprise déstabilisante, en se rappelant que la prochaine crise, à nouveau, prendra un visage nouveau, jusqu'au jour où la énième répétition sera facilement prévue et donc reconnue, si bien qu'on ne pourra presque plus parler de crise. Ce qui fait la crise c'est la surprise et le degré d'impréparation qui en découle, consubstantiel à cette notion de surprise. Ce n'est, au mieux, que la deuxième fois que la gestion de la crise cessera d'avoir cet aspect improvisé pour rentrer dans le droit commun. Mais il faut souvent plusieurs épisodes du même type pour qu'émerge la conscience du danger comme de sa protection possible. Nous avons ici décrit la situation idéale.

### La réalité est parfois moins rose

En dehors du cas idéal, celle où la crise a été reconnue, la réalité est parfois moins rose. La crise n'est pas toujours considérée comme pouvant se renouveler, on la considère seulement comme un accident exceptionnel et donc sans lendemain possible. C'est malheureusement presque la règle lorsque la crise paraît totalement « exotique » et donc sans lendemain envisageable, ou pire comme tellement banalement « habituelle » qu'elle en devient « normale » et ne

nécessite donc aucune mesure particulière pour tenter de réduire ce qui doit survenir « normalement ».

La surmortalité liée à la canicule de 1947 a été complètement négligée sur le moment et n'a pas éveillé la moindre attention. Elle a sans doute représenté plusieurs milliers de morts. En 1976, chacun se souvient de la sécheresse et de ses conséquences sur l'agriculture de notre pays. Et on avait noté incidemment la surmortalité observée dans le centre de la France lors de cette grande sécheresse au lourd impact sur la production agricole. L'Inserm avait d'ailleurs produit un prérapport et annoncé une étude plus complète, laquelle n'est jamais venue. Il a fallu le drame de 2003 pour que l'on rapproche de la sécheresse et de son impact économique les 6 000 morts supplémentaires survenus alors et oubliés depuis.

Concernant les autres épisodes de canicule survenus avant 2003, il faut parler d'une scotomisation plus ou moins complète de ces événements. Sans revenir aux épisodes de 1947 ou de 1976, lors de la canicule de 1983, seuls les 300 morts de Marseille ont attiré l'attention parmi les 4 500 morts signalés plus tard. Il a fallu la canicule de 2003 pour qu'ils soient répertoriés à retardement. Le même phénomène est observé au-delà de nos frontières, les 18 000 morts enregistrés en Italie lors de la canicule d'août 2003 n'ont été signalés qu'avec plus d'un an de retard et, pour ce même épisode, il n'existe pas encore à la fin de 2006 de données disponibles en Allemagne! Ce pays ne peut pourtant pas avoir été épargné, seul au milieu de tous ses voisins, lourdement touchés et ayant subi des conditions météorologiques du même type. On cite souvent en exemple le cas de Chicago. Alors que la première canicule enregistrée en 1995 n'avait pas déclenché d'action efficace, la leçon avait été retenue et la canicule de 1999 a entraîné une surmortalité réduite de moitié par rapport à ce que l'on aurait pu craindre dans des conditions identiques à celles de 1995. Mais il faut rappeler que près de 2 000 morts avaient été enregistrés en 1980 lors d'une canicule qui avait touché Saint-Louis et le Missouri, à 400 kilomètres au sud de Chicago, sans déclencher la moindre alerte dans l'Illinois!

Mais il y a pire. Dans le nombre de victimes comme dans l'ignorance dans laquelle ils sont tenus. La mortalité hivernale, qui est très régulièrement supérieure à celle observée lors des dernières crises estivales, reste dramatiquement méconnue. Elle est de ce fait non gérée et donc non améliorée. Ce qui reste vrai même lorsque, comme ce fut le cas en 1985, un hiver particulièrement rigoureux entraîne 9 500 morts supplémentaires qui restent à ce jour totalement ignorés... Nous restons aujourd'hui, à propos de la surmortalité hivernale, dans une méconnaissance totale du phénomène, dont les proportions sont pourtant dramatiques. Chaque année on meurt plus en France l'hiver que l'été, même en 2003 et sans doute encore en 2006. Mais personne n'a parlé des 9 500 morts supplémentaires de l'hiver rigoureux de 1985, et l'augmentation énorme de la mortalité observée pendant les quatre mois les plus froids, chaque année, dans quatorze pays d'Europe occidentale, reste méconnue. Elle est pourtant loin d'être négligeable, l'augmentation par rapport au reste de l'année allant jusqu'à 28 % au Portugal, 21 % en Irlande, en Espagne et en Grande-Bretagne contre « seulement »

13 % en France et 10 % en Finlande... (Healy, 2003). Dans ce cas le déni reste plus fort que le taux de surmortalité et on attend toujours la première prise de conscience du phénomène, avant d'envisager de le réduire.

Cette présentation permet de comprendre pourquoi, lors de la survenue du premier épisode d'un nouveau type de crise, l'impréparation est la règle, les résultats catastrophiques et que la tentation du déni, sous toutes ses formes, est la règle. Mais elle permet de voir l'importance effrayante que peut prendre le déni : la surmortalité hivernale est encore inconnue chez nous, tellement « naturelle » qu'on la considère comme acquise !

## Conclusions

On peut essayer de proposer quelques ébauches de conclusions. Il existe deux types de scénarios particulièrement contrastés correspondant à la première confrontation d'une société avec une situation de crise. Le plus fréquemment rencontré est un aveuglement généralisé qui va de la scotomisation totale à une réduction massive de l'impact. Canicules en France de 1947, de 1976 et de 1983 pour sa plus grande part. Conséquences de la canicule de 2003 annoncées en Italie en 2004 et pas encore connues en Allemagne. Surmortalité hivernale massive et habituelle encore ignorée dans tous les pays concernés malgré les premières publications indiscutables ! C'est intellectuellement insupportable mais socialement confortable. Il n'y a lieu de ne rien faire contre une menace à laquelle on dénie le droit d'exister.

Le deuxième scénario peut difficilement être considéré comme plus favorable tant ses conséquences sont dramatiques. Il est pourtant porteur de plus d'espoir, même s'il est toujours vécu péniblement. La première confrontation qui entraîne une prise de conscience débouche chaque fois sur des résultats désastreux. Parce que c'est la première fois qu'on tente d'agir, que ce soit ou non la première fois que survient ce type de crise, on ne sait pas comment faire. Le saurait-on qu'on ne serait pas plus efficace car dans une communication de crise comme dans tout autre type de communication il faut qu'à un émetteur compétent corresponde un récepteur apte à recevoir le message.

En ce qui concerne la canicule, on peut réciter lugubrement : Marseille 1983, Athènes 1987, Chicago 1995, France entière 2003... Cette première prise de conscience ne peut jamais déboucher sur une action efficace. Même si les responsables comprennent ce qui se passe, l'absence de toute préparation de la population exposée rend toute action préventive rigoureusement inefficace. L'espoir vient de ce que la deuxième confrontation sera toujours mieux gérée, les messages plus efficaces, car ils auront été précédés d'une action de formation et d'information qui les rendra plus opératoires. Il est pourtant bien difficile d'affirmer que les conséquences en sont moins dramatiques que celles des hivers européens dont on sait qu'ils tuent depuis au moins trente ans, et

qu'ils vont continuer de tuer tranquillement, tant que la conscience collective de ce drame n'aura pas émergé, si douloureusement qu'elle doive le faire. Ce qui fait la crise c'est la surprise. On peut tenter d'en nier les conséquences en forçant sur l'aspect surprenant et extérieur. Alors que la meilleure façon d'agir est de forcer chacun à prendre conscience, douloureusement, de la crise et de ses conséquences, pour réduire l'importance de ces dernières lors du prochain épisode. Ce n'est pas facile mais c'est notre devoir.

Pour éclairer la réflexion, voici quelques exemples de crise potentielle et possible !

- Un sujet revenant d'Extrême-Orient présente un tableau de variole. Il est présent sur le territoire depuis une semaine quand vous êtes prévenu.
- Des campeurs en mobile home venant de l'ex-Yougoslavie ont abandonné une vieille malle. Les enfants ont joué avec ce qu'elle contenait. En particulier, ils ont joué au docteur avec des seringues. Ils finissent par en parler quand le « malade » soigné tombe vraiment malade.
- Un sujet est contaminé par la variole. Il faudra :
  - isoler, rechercher l'origine de la contamination ;
  - mobiliser des sujets dont l'âge fait qu'ils ont été vaccinés ;
  - isoler tous les sujets contacts ;
  - préparer une campagne de vaccination ;
  - se préparer aux accidents de la vaccination.
- Un sujet retour de Centre-Afrique présente un tableau évoquant une fièvre hémorragique.
- Dans l'hôpital de votre ville, est hospitalisé un patient dont les médecins pensent qu'il présente une tuberculose multirésistante.
- On vous apporte une source scellée contenant ce qui ressemble fort à une barre d'uranium enrichi à usage militaire abandonnée sur un parking et que des enfants ont essayé de briser avant de vous l'apporter.
- Une explosion dans une usine voisine a provoqué, au-dessus de la ville, la formation d'un nuage rouge sombre, très irritant pour les yeux et les voies respiratoires.
- Une vague de grand froid est attendue dans les jours qui viennent.
- Sur une plage proche de votre ville, des enfants ont trouvé une caisse contenant de drôles de papiers de toutes les couleurs. Les premiers en ont porté un à leur bouche pour goûter et « sont devenus vachement bien ! »
- Après une « rave partie » organisée sur une commune voisine, de jeunes enfants ont trouvé une grande boîte de petits comprimés blancs. Ils les adorent parce que quand ils les avalent ils se trouvent « drôles ».

- Du fait de la sécheresse et du besoin de maintenir la production électrique, on a maintenu le fonctionnement de la centrale nucléaire de X. Elle risque d'exploser sous l'effet conjugué de la forte demande et de la réduction des capacités de refroidissement. Vous êtes sous le vent. Vous avez entendu parler de la distribution de comprimés d'iode mais n'en disposez pas. La première personne jointe à la DDASS vous déclare que comme vous êtes dans la zone de distribution vous devez en avoir reçus et que vous ne pouvez donc plus en réclamer. La seconde vous déclare que si vous n'en avez pas c'est que vous n'en avez pas besoin.



# Changement climatique et réseau sentinelle

*Antoine Flahault, Inserm*

## Introduction

Quel lien y a-t-il entre le climat et la survenue d'épidémies ? Certes, la grippe survient l'hiver et les épidémies d'arboviroses comme la dengue, la fièvre de la vallée du Rift ou le chikungunya se déclenchent lorsque les moustiques qui les transmettent pullulent, c'est-à-dire pendant la saison des pluies, mais pourquoi certains hivers connaissent de fortes épidémies avec une mortalité en excès importante, et que certaines années les tropiques connaissent des épidémies majeures tandis que d'autres sont l'objet de recrudescences qui passent presque inaperçues ? Comment évaluer l'impact du climat et des changements climatiques sur les épidémies ? Nous exposerons d'abord les principes qui régissent la surveillance en temps réel des épidémies, par les réseaux sentinelles, ces outils devenus incontournables pour l'alerte précoce mais aussi le suivi des épidémies de maladies transmissibles, puis nous citerons quelques travaux récents ayant traité des liens entre épidémies et climat, et enfin nous discuterons de l'importance de réaliser une bonne observation épidémiologique et de ses prérequis méthodologiques.

## La surveillance sentinelle, pour la détection précoce et l'alerte et pour la constitution de longues séries épidémiologiques

Les exemples récents d'épidémies survenues sur le territoire français le montrent presque invariablement : les alertes précoces, le suivi des tendances épidémiques en temps réel, et l'estimation de la taille épidémique reposent principalement, voire exclusivement, sur les données fournies par un groupe de médecins généralistes libéraux plus ou moins représentatifs de leur profession, que l'on appelle les médecins sentinelles. C'est le cas depuis 1984 en métropole, pour la surveillance de la grippe, des gastro-entérites (depuis 1991), et

d'une douzaine d'autres indicateurs de santé. Désormais, ce fut le cas pour les épidémies de dengue en Martinique en 1997, 2001 et 2005, et plus récemment en Guyane en 2006. Ce fut encore le cas à La Réunion pour l'épidémie de chikungunya, avec la confirmation, par une étude de séroprévalence conduite en janvier et février 2006, de la grande précision des extrapolations fournies par les médecins du réseau Sentinelles local (géré par la Direction régionale des affaires sanitaires et sociales – Drass – et la CIRE/InVS). Le système de soins reposant sur des bases moins développées à Mayotte, avec une faible place encore dévolue à la médecine libérale, la veille sanitaire n'a pas fonctionné à partir d'un réseau de médecins sentinelles, et d'ailleurs la précision des estimations épidémiologiques s'en est trouvée lourdement affectée, puisque l'enquête de séroprévalence menée en cours d'épidémie en avril et mai 2006 a permis de redresser les estimations, avec 25 % de la population révélée infectée par le virus à cette période alors que les statistiques fournies par la veille sanitaire – sans médecins sentinelles – avançaient une incidence cumulée de moins de 5 %. Un système opérant pour la veille sanitaire se doit d'être pérenne, c'est-à-dire un outil de recueil d'information fonctionnant sur un mode permanent et continu, afin de constituer des séries chronologiques qui seront utiles pour l'observation d'éventuelles tendances (cf. figure 23, haut et bas), voire pour le rapprochement de ces séries avec d'autres informations collectées souvent pour d'autres raisons, dans d'autres champs disciplinaires, comme les séries climatiques ou météorologiques.

**Figure 23 (haut). Sentinelles®, 1 200 médecins généralistes répartis sur toute la France métropolitaine et connectés entre eux par internet**

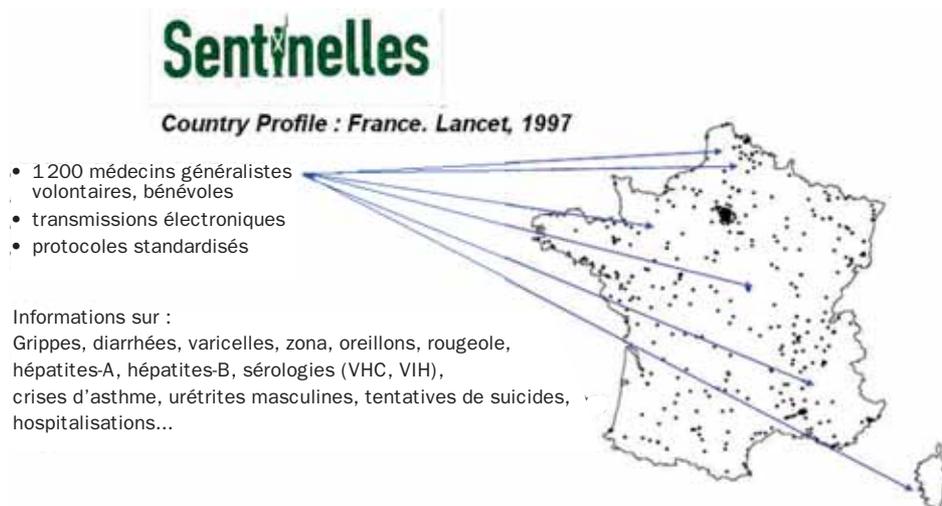
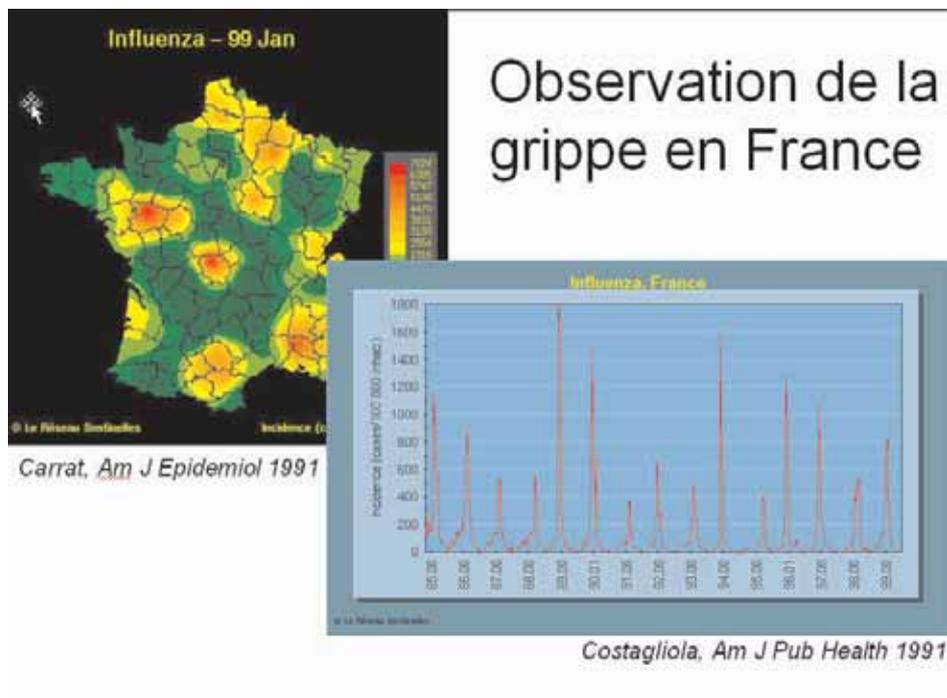


Figure 23 (bas). Sentinelles®, les plus grandes bases de données mondiales sur les gripes cliniques et les gastro-entérites aiguës



## Le rapprochement des données climatiques et épidémiologiques pour générer des hypothèses

### Le chikungunya en 2004-2006 du Kenya à l'océan Indien

Les travaux conduits par des équipes nord-américaines au Kenya et en Grande Comore ont permis de rendre compte qu'une forte sécheresse et de fortes chaleurs étaient survenues au Kenya, notamment sur la partie côtière du pays dans les mois qui ont précédé l'écllosion de l'épidémie de chikungunya (en juin 2004, avec des taux de séroprévalence de plus de 75 % mesurés à Lamu et Mombassa). Il manque aujourd'hui de longues séries, alors que cette pathologie a été identifiée il y a plus de cinquante ans en Afrique, pour savoir si cette sécheresse de 2004 a possiblement contribué au déclenchement de l'épidémie de forte ampleur dans l'ensemble de la région, qui s'est étendue à l'océan Indien dès le début de l'année 2005. L'épidémiologie moléculaire, conduite par ces équipes et confirmée depuis, démontre qu'il s'agissait de la circulation de la même souche en Afrique de l'Est à la fin 2004 et dans les îles de l'océan Indien dont notamment La Réunion et Mayotte à partir de 2005.

### La fièvre de la vallée du Rift au Kenya, en 1990-2000

La disponibilité de longues séries de données épidémiologiques (1950-2000), comme c'est le cas au Kenya par exemple avec une autre arbovirose, la fièvre de la vallée du Rift, a permis à des chercheurs nord-américains de plusieurs disciplines de les croiser avec les séries climatiques et les index d'anomalies de végétation établis par images satellitaires. Ainsi, de fortes corrélations existent entre la survenue d'épidémies de fièvre de la vallée du Rift au Kenya et l'oscillation climatique du Pacifique Sud appelée *El Niño Southern Oscillation* (Enso) (oscillation chaude El Niño), dont on sait qu'elle a des répercussions sur le climat d'un grand nombre de régions du globe, dont le Kenya. Cette corrélation a une traduction visible sur les images satellitaires, puisque lorsque des anomalies d'hyper-humidité végétale sont constatées sur le Kenya pendant trois mois consécutifs et qu'une oscillation de type El Niño est enregistrée simultanément dans le Pacifique Sud, les auteurs prédisent avec une bonne fiabilité un risque épidémique élevé. On dispose ainsi, pour cette pathologie et dans cette région, d'un instrument de veille sanitaire utile pour éclairer la décision publique et l'anticipation, par exemple en matière de démoustication ou de prévention, voire pour cibler la mise en place de recherche sur le sujet, par exemple d'essais vaccinaux ou thérapeutiques. Cet instrument ne repose plus désormais sur la collecte de données épidémiologiques, mais uniquement sur la veille d'images satellitaires du même type que celles fournies par le satellite Spot en Europe.

### La grippe en France et aux USA (1984-2005)

La disponibilité en France d'une longue série de données accumulées par le réseau Sentinelles de l'Inserm et accessible en ligne (<http://www.sentiweb.fr>) nous a permis de croiser les données épidémiologiques de grippe avec l'indicateur climatique Enso et de constater que les fortes épidémies de grippe en France, tant en termes de morbidité (taille de l'épidémie) que de mortalité (nombre de décès en excès) étaient corrélées avec la présence d'oscillations froides La Niña dans le Pacifique Sud lorsqu'elles étaient enregistrées au cours de l'automne précédent. Ces résultats ont été confirmés également sur les données de mortalité nord-américaines (cf. figure 24). Nous utilisons désormais en routine un modèle de prévision de la taille des épidémies de grippe en France, basé sur l'anticipation de la souche circulant de manière prédominante élaborée à partir de la connaissance de la souche grippale ayant circulé durant l'hiver austral précédent dans l'hémisphère sud, et de la projection des climatologues sur la valeur de l'oscillation Enso. Le tableau 6 montre l'écart entre les tailles prédites par le modèle et les tailles observées par le réseau Sentinelles en France métropolitaine. On a pu constater ainsi que 67 % de la variabilité épidémique de la grippe en France dépendait de ces deux critères : la souche (ou les souches) circulante(s) et la valeur de l'indicateur climatique Enso.

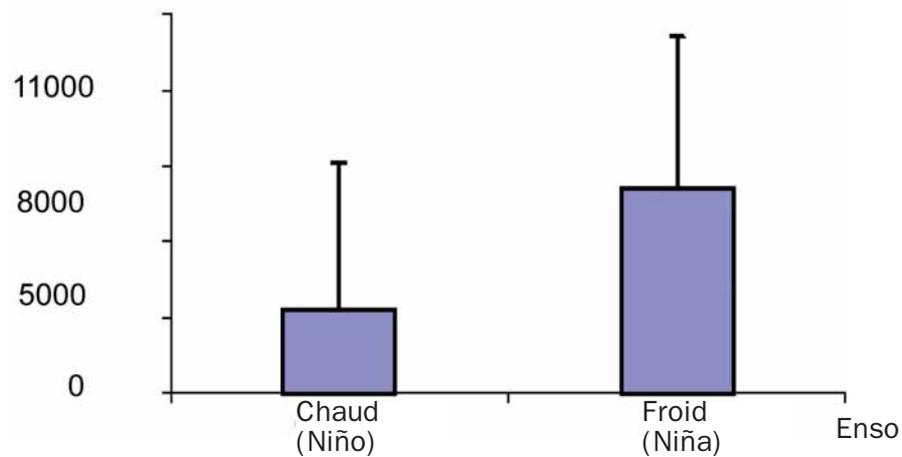
**Tableau 6. En France, on prédit en septembre en routine la taille de l'épidémie de grippe à venir, avec plus ou moins de fiabilité (taille observée)**

Hiver	Taille prédite [IC 95%]	Taille observée	Souche circulante (Fr)
1985-86	3.6M [2.8-4.4]	3.9M	A/H3N2
1986-87	2.2M [0.5-3.9]	1.4M	A/H1N1
1987-88	2.2M [1.2-3.2]	1.4M	A/H3N2
1988-89	4.2M [2.5-5.9]	4.9M	B, A/H1N1
1989-90	3.5M [2.7-4.3]	4.9M	A/H3N2
1990-91	1.3M [0.0-2.9]	0.7M	B
1991-92	2.2M [1.0-3.3]	2.1M	A/H3N2
1992-93	1.2M [0.0-2.7]	1.8M	A/H3N2
1993-94	2.7M [1.9-3.5]	3.2M	A/H3N2
1994-95	2.1M [0.9-3.3]	1.1M	A/H3N2
1995-96	3.3M [2.0-4.5]	2.9M	A/H1N1
1996-97	3.7M [2.8-4.5]	3.1M	A/H3N2
1997-98	1.5M [0.0-2.9]	2.4M	A/H3N2
1998-99	4.1M [3.1-5.1]	3.1M	A/H3N2
1999-2000	4.2M [3.2-5.3]	3.5M	A/H3N2
2000-2001	2.5M [1.5-3.5]	1.5M	A/H1N1
2001-2002	2.3M [1.2-3.4]	2.2M	B, A/H3N2
2002-2003	1.7M [0.6-2.8]	1.5M	B, A/H3N2
2003-2004	3.2 [2.4-4.0]	2.9 M	A/H3N2
2004-2005??	2.3 [1.3-3.2]	??	B, A/H3N2??

**Figure 24. L'impact des épidémies de grippe en termes de mortalité est associé aux USA à des phénomènes La Niña**

Enso et grippe aux États-Unis

Pneumonie et grippe  
(Excès de mortalité)



## Les gastro-entérites en France (1991-2005)

La série constituée avec les gastro-entérites en France, seule disponible en Europe, est encore trop limitée dans le temps pour permettre le même type de rapprochement avec l'indicateur climatique. Il se dessine néanmoins des tendances, en particulier avec l'indice climatique nord-atlantique NAO qu'il reste à confirmer, lorsque l'on aura une vingtaine d'années de recul, vers 2011.

## L'importance de constituer des séries épidémiologiques de grande qualité

*Le libre accès* aux données épidémiologiques est loin d'être la règle malgré la large diffusion d'internet dans le monde. Par exemple, les données hebdomadaires recueillies par les Centers for Disease Control and Prevention (CDC) concernant la mortalité par grippe et pneumonie dans un ensemble de 121 villes nord-américaines sont régulièrement publiées dans le *Morbidity and Mortality Weekly Record* (MMWR, en anglais), organe de diffusion des informations de l'organisme d'Atlanta, libre d'accès et gratuit en ligne, mais les fichiers correspondant à ces données ne sont pas disponibles, y compris malgré la demande formulée par des organismes de recherche publique français. De la même façon, de nombreuses données, y compris celles de La Réunion concernant le chikungunya qui ont été publiées chaque semaine par l'InVS, ne sont toujours pas disponibles rapidement pour les chercheurs qui voudraient les utiliser sans autorisation. Ils doivent en faire la demande préalable et notre expérience montre qu'il a fallu attendre plusieurs semaines pour les obtenir, et que nous ne disposons toujours pas de l'accès en ligne à leur mise à jour. Les raisons invoquées par les détenteurs de ces informations accessibles avec restriction sont multiples : il en va de la confidentialité présumée (alors que ce sont des données épidémiologiques agrégées non individuelles et concernant des pathologies fréquentes qui ne relèvent en aucun cas de la législation sur les données nominatives ni indirectement nominatives), ou de l'interrogation qu'ont les organismes vis-à-vis de l'utilisation faite à propos de ces données et des risques associés à la transparence de l'information, y compris les risques économiques, touristiques, et médiatiques pour leur pays. Ces préventions, aussi compréhensibles qu'elles soient, sont sources de retards et de ralentissements des développements scientifiques pour une meilleure anticipation, évaluation et prévision des risques épidémiques. Le risque de la confrontation et du débat scientifique se heurte à des considérations de politique et de communication particulièrement sensibles au moment des crises sanitaires.

*La qualité des données* est souvent difficile à évaluer dans les recueils épidémiologiques. Rares sont les systèmes dont la qualité est garantie par des normes internationales. La norme ISO 9001/V2000 par exemple pourrait être la règle dans le domaine, mais l'absence de clients clairement définis, l'absence

de moyens lourds pour observer le vivant (à la différence des moyens colossaux des observatoires de la Terre ou de l'Univers), la rareté aussi de la concurrence dans le domaine, font que les systèmes d'informations épidémiologiques ne se sont généralement pas astreints ni n'ont été contraints à fonctionner avec une qualité attestée par des prérequis reconnus. C'est à terme un problème préjudiciable pour toutes les recherches qui utilisent les séries épidémiologiques, soit pour les modèles d'anticipation, de détections précoces et d'évaluation du risque, soit pour les croisements statistiques avec d'autres séries de données (climatiques, environnementales, économiques, ou sociodémographiques). Les réseaux sentinelles fonctionnent par définition à partir d'échantillons de médecins le plus souvent libéraux. Ils ne sont pas rémunérés pour le travail qu'ils fournissent dans l'immense majorité des cas. Quelle est donc leur motivation à participer à ces activités sur lesquelles cependant toute la politique sanitaire sera construite? Quel est leur degré de participation? Comment leur absence de participation est-elle prise en compte? Combien sont-ils à participer et sur quelle portion du territoire? Quelle imprécision découle de tout cela? En quoi ces « pionniers » de l'épidémiologie sont-ils représentatifs de leur profession? Rarement ces questions sont seulement abordées par les opérateurs de ces systèmes actuellement dans le monde. Cette situation est inimaginable dans d'autres domaines, comme celui de la météorologie par exemple.

### La conservation des données

L'utilisateur aujourd'hui, mais plus encore dans vingt ou cinquante ans, n'aura aucune assurance que les données qu'il utilisera auront été recueillies selon de bonnes pratiques épidémiologiques. Il n'est d'ailleurs pas certain que bon nombre des données recueillies aujourd'hui seront encore disponibles dans vingt ou cinquante ans, et si elles le sont, le format et le support de stockage seront-ils seulement encore lisibles? Faute de plans de sauvegarde de ces données, faute de réflexion, voire même de réglementation à ce sujet, la non-disponibilité actuelle de ces données, renforce les craintes que l'on peut avoir sur leur accès ultérieur. Ce sont des sujets qui ont mobilisé les communautés scientifiques dans d'autres secteurs de recherche, mais qui n'ont jamais ou trop rarement été abordés en épidémiologie. Or, on l'a vu dans l'exemple de la fièvre de la vallée du Rift au Kenya, et dans une moindre mesure dans l'exemple de la grippe en France ou aux USA, les longues séries sont nécessaires pour tester des hypothèses concernant l'impact du climat, plus encore des changements climatiques sur la santé, et notamment le rôle éventuel de ces facteurs environnementaux dans le déclenchement des épidémies.

### La pertinence médicale et scientifique des données

Elle est souvent limitée par les faibles investissements consentis pour ces systèmes. Par exemple, le réseau Sentinelles métropolitain cité à plusieurs reprises par les médias scientifiques internationaux, n'est pas doté de confirmation

virologique des pathologies qu'il surveille. Ainsi aucune épidémie de grippe surveillée par ce système n'est jamais documentée virologiquement, ni de gastro-entérites! Peut-on seulement imaginer qu'en météorologie, la pluviométrie soit estimée intuitivement par le pourvoyeur d'information de la ville d'où il l'a transmet et non pas mesurée quantitativement? Un pourvoyeur qui, de plus, serait bénévole et volontaire dans cette tâche, donc parfois absent ou distrait. Et pourtant, les politiques sanitaires dans le domaine des maladies émergentes reposent sur ce type de fonctionnement, et nulle part au monde, le fonctionnement n'est clairement meilleur que celui que nous décrivons. On comprend que l'on est encore loin de la mise en place d'une météorologie sanitaire dans quelque région du monde, voire du bouclier sanitaire que le Premier ministre appelait de ses vœux lors de son voyage à La Réunion en mai 2006. Le chantier est vaste, avant d'obtenir des données épidémiologiques pérennes, de grande qualité, de forte pertinence et de haute précision, archivées en toute sécurité et confidentialité, accessibles à tous ceux qui le souhaitent, en temps réel, en tout point de la planète.

## Conclusions

L'observation du vivant en est, on l'a vu, à ses balbutiements. Les épidémiologistes ont la responsabilité de convaincre le reste de la communauté scientifique, les pouvoirs publics, et le citoyen qu'il est grand temps d'investir enfin lourdement dans de grands observatoires permettant une observation fine et exhaustive du vivant, dans ses nombreuses composantes, humaines (avec ses dimensions physiques, mais aussi sociales, culturelles, économiques), animales, entomologiques, microbiologiques, et environnementales. Il est de notre responsabilité de constituer des banques de données fiables et protégées des assauts du temps et de l'oubli, lorsque dans vingt, cinquante ans, ou dans plusieurs siècles, des chercheurs voudront étudier les évolutions épidémiologiques, se pencheront sur l'impact des changements climatiques, de l'environnement, de la déforestation, ou de l'urbanisation sur la santé des hommes. Il est temps aussi d'envisager une approche fortement interdisciplinaire pour songer à croiser des séries de données qui n'ont pas l'habitude de se croiser, comme celles acquises sur Terre par les épidémiologistes ou les environnementalistes, et celles acquises dans l'espace, par les satellites sur la température de surface de la mer, ou pour nourrir les systèmes d'information géographique des zones étudiées. Les conséquences économiques, sociales, et mêmes politiques des maladies émergentes et réémergentes sont si lourdes et devenues si fréquentes de nos jours, que nous devons réussir à convaincre qu'avec des investissements massifs dans le domaine, et la venue de compétences multiples sur le sujet, nous disposerons enfin de systèmes ouverts et transparents permettant de mieux anticiper, détecter, évaluer et prévoir les épidémies dans un avenir proche.

## Satellite, santé publique et gestion des risques

**Antonio Güell, Murielle Lafaye, Pascal Faucher et Nathalie Ribeiro**, *Centre national d'études spatiales*

### Introduction

Depuis une dizaine d'années, la santé bénéficie, d'une part, des innovations en matière de technologies de l'information et de la communication et, d'autre part, de celles en matière de satellites. C'est ainsi que le Cnes a engagé en 1998, en étroite collaboration avec les professionnels de santé, une réflexion portant sur l'apport des systèmes spatiaux, les satellites en particulier, à la santé publique, plus particulièrement à la télémédecine et à la gestion des crises (en particulier à la télémédecine des catastrophes). Trois thèmes sont considérés comme prioritaires :

- **La téléconsultation sur site isolé**

En utilisant une valise de télémédecine portable afin de faciliter l'accès des populations isolées à des moyens de diagnostic de qualité. L'isolement est soit lié à la géographie du site où se trouve le patient (désert, forêt, montagne...), soit en relation avec une catastrophe naturelle ou industrielle dont une des conséquences est la destruction de toute liaison filaire, ou bien encore le patient est isolé car il se trouve à bord d'un élément mobile (avion, bateau).

- **La télé-épidémiologie**

Grâce à la fusion de données satellitaires (observation de la Terre, météorologie, positionnement, scientifiques...) et de données au sol (médicales, entomologiques, vétérinaires, socio-économiques), il est permis d'évaluer l'évolution géographique des maladies transmissibles à l'homme et/ou aux animaux, liées à des modifications environnementales et climatologiques en particulier.

- **La gestion des risques**

De par l'utilisation des trois familles de satellites (télécommunication, observation et positionnement), on peut gérer au mieux la phase de latence de toute catastrophe. C'est ainsi qu'est né le concept Emergesat dont le premier exemplaire devait être opérationnel dans le courant de l'été 2006.

## La téléconsultation sur site isolé : la valise de télé-médecine

En matière de téléconsultation, il convient, en premier lieu, de définir la notion de site isolé : on peut en considérer de deux types :

- soit les sites isolés dits statiques car isolés de par des conditions géographiques spécifiques : forêts, déserts, montagnes, régions polaires, îles, zones géographiquement enclavées... ou encore des sites isolés en termes de télécommunications à la suite d'une catastrophe naturelle (tremblements de terre, tsunamis...) ou industrielle (AZF à Toulouse) ;
- soit encore le patient est isolé car il se trouve à bord d'un élément mobile (avion, bateau, expédition terrestre civile, militaire ou humanitaire).

C'est ainsi qu'un certain nombre de réseaux de téléconsultation, utilisant les systèmes spatiaux de télécommunication, ont été récemment implantés dans les domaines des maladies tropicales, de la dermatologie, de la médecine d'urgence, de la cardiologie et de l'obstétrique..., à savoir :

- depuis fin 1998, un réseau de téléconsultation à distance entre les bases isolées de l'Antarctique et l'hôpital Sainte-Anne du Service de santé des armées à Toulon est opérationnel ; électrocardiogrammes au repos ou tests d'effort, données de dermatologie, radiographies, imagerie ultrasonore sont ainsi envoyés soit pour diagnostic, soit pour expertise secondaire ;
- à la demande de Médecins du Monde et sur financement du ministère de la Recherche, un réseau de dépistage et de diagnostic précoce du cancer du col utérin fonctionne en routine depuis 1999 entre les centres de dépistage du Cambodge et les hôpitaux de Reims et de Dijon. Les lames des biopsies sont préparées par des officiers de santé et sont transmises pour analyses en France *via* le satellite Inmarsat : aujourd'hui ce réseau est pérenne ;
- en Guyane, une expérimentation de télé-médecine s'est déroulée de décembre 2001 à mai 2002 dans le cadre d'une convention entre le centre hospitalier Andrée Rosemont de Cayenne et le Centre national d'études spatiales avec l'étroite collaboration du Groupement d'intérêt économique Medes (participation du Cnes pour les affaires médicales) et le support financier du ministère de la Santé. Trois spécialités (parasitologie, dermatologie et cardiologie) ont fait l'objet d'envois d'images et d'exams numérisés grâce aux stations portables de télé-médecine mises au point par le Cnes et Medes. Ces données étaient transmises *via* téléphone satellite à partir de quatre sites isolés de la forêt amazonienne dont deux de ces sites étaient équipés de téléphones Inmarsat et deux autres de systèmes Vsat. Le diagnostic était fait par les spécialistes du centre hospitalier de Cayenne.

Les résultats de cette phase expérimentale ont conduit à la pérennisation des installations sur ces quatre sites initiaux et à l'extension à l'ensemble des centres de santé du département de cette approche de télé-médecine satellitaire, et ce sur financement du ministère de la Santé et de fonds européens Feder.

Le modèle guyanais, en matière de télémédecine *via* satellite, est cité comme modèle par le ministère de la Santé car il permet de mieux poser l'indication des évacuations sanitaires aéroportées ou hélicoptérées permettant ainsi de réaliser des économies d'échelle :

- à la demande des médecins urgentistes de l'île de La Réunion et au vu des résultats extrêmement positifs observés en Guyane, quatre valises de télémédecine ont été implantées dans le cirque de Mafate qui est un site extrêmement isolé (accès uniquement après 7 à 9 heures de marche) afin de mieux poser dans ce cas aussi l'indication des évacuations sanitaires par hélicoptère dont le coût est évalué à 2000 euros de l'heure ; elles sont opérationnelles depuis le mois de juillet 2004 ;
- dans le domaine de la protection maternelle et infantile, une approche similaire dans le cadre de l'évaluation des grossesses à risques a été validée au Sénégal sous la responsabilité des autorités sanitaires locales en 2002. C'est ainsi que des échographies dynamiques pourront être réalisées dans les villages isolés, et interprétées à Dakar évitant ainsi des transferts trop longs pour des patientes à risques. Pour des raisons de politique interne au Sénégal cette approche a été interrompue.

Dans le domaine aéronautique, la sécurité et le confort des voyageurs à bord des longs courriers demeurent une préoccupation majeure des compagnies aériennes. C'est pour cette raison que le Cnes, sa filiale Medes et le Samu 75 ont été sollicités par Airbus Industrie pour concevoir et valider un système de diagnostic à distance à partir du siège du passager. Ce système a été validé à l'occasion des vols d'essai de l'A340-600 qui ont eu lieu entre 2002 et 2003. Cette approche a été acceptée par la société Airbus en vue d'équiper le futur A380.

La pérennisation de cette opération sera logiquement assurée par les compagnies aériennes : un certain nombre d'entre elles ont déjà manifesté un vif intérêt auprès de l'avionneur. Sur un plan prospectif en matière de téléconsultation, un certain nombre de dossiers sont en cours d'instruction :

- d'une part, à la demande du ministère de la Santé, une évaluation est en cours en vue d'équiper l'ensemble des départements et territoires d'outre-mer isolés (Polynésie, Nouvelle-Calédonie, Wallis et Futuna...) et les pays dont la politique de santé est de la responsabilité de l'État français (Madagascar, Mayotte, Seychelles, Rodrigue...) de systèmes de télémédecine satellitaire ;
- et d'autre part, les aspects de médecine d'urgence à bord des ambulances et dans le cadre des catastrophes naturelles et industrielles sont en cours de validation à l'échelon européen à la suite du projet Deltass de l'Agence spatiale européenne (Esa).

Enfin, il nous paraît important de souligner que l'approche télémédecine *via* satellite a permis la création de plusieurs PME en région parisienne et en Midi-Pyrénées.

## La télé-épidémiologie

La télé-épidémiologie consiste à évaluer, en terme d'évolution géographique, un certain nombre d'épidémies qui touchent les êtres humains, les animaux ou les deux, et qui sont vectorisées par des éléments sensibles aux modifications d'environnement et plus particulièrement l'environnement climatique. C'est ainsi que sont développés des modèles mathématiques prédictifs qui tiennent compte à la fois des données d'imagerie satellitaire, par exemple Spot (indices de végétation), Météosat (vents, caractéristiques des masses nuageuses), Topex – Poséidon et Envisat (température des océans, hauteur des vagues, colorimétrie...), associées à des données de clinique humaine et animale (symptômes cliniques, séro-diagnostics...) pour une épidémie donnée ainsi qu'à des données hydrologiques sol (quantification des mares, niveaux d'eau dans les rivières et barrages...).

Un certain nombre d'approches de ce type ont été initialisées au cours de ces cinq dernières années.

- Cette approche originale a été validée au Sénégal pour le suivi de l'épidémie de fièvre de la vallée du Rift, elle a abouti à la description d'un modèle prédictif basé sur le rôle de la dynamique de vidange des mares d'eau après la saison des pluies et les conséquences de cette dynamique sur la ponte des œufs du vecteur responsable de cette fièvre hémorragique. À la suite des résultats positifs en matière de prévention, le gouvernement sénégalais a décidé, sur fonds propres et avec le soutien du Medes, de généraliser cette approche à l'ensemble des zoonoses auxquelles sont confrontés la population et le bétail.
- Depuis, mi-2003, un réseau de télé-épidémiologie a été mis en place en Guyane dans le cadre du suivi de la dengue hémorragique. Ce réseau associe les compétences de l'Institut Pasteur, de l'IRD, de Medes, de l'École vétérinaire de Lyon et de l'hôpital de Cayenne ; il a pour objectif d'évaluer les zones dans lesquelles le moustique vecteur de la dengue va se développer en fonction du niveau et du type d'urbanisation. Là encore, les données satellitaires associées aux données épidémiologiques plus classiques permettent une prévention plus efficace.
- Dans le cadre du réseau Terre Espace du ministère de la Recherche, un réseau sentinelle pilote de surveillance des maladies infectieuses environnemento-dépendantes a été déployé au Burkina-Faso et au Niger ; le rôle de certains paramètres environnementaux (en particulier les nuages de poussière, le vent...) sur le déclenchement et l'évolution des méningites à méningocoque constitue l'objectif principal de l'étude.
- Dans le cadre du suivi des épidémies de choléra sur le pourtour du bassin méditerranéen, un consortium, associant l'Inra, Médias-France, l'IRD et financé par le ministère de l'Environnement, a été créé de façon à évaluer, grâce à la modélisation mathématique intégrant des données d'océanographie spatiale, le risque de survenue d'épidémies de choléra dont la réémergence est en étroite relation

avec les modifications du zooplancton des zones côtières de la Méditerranée et de l'Adriatique.

- Enfin, les réservoirs animaux (notamment aviaires) et les écosystèmes naturels (notamment les zones deltaïques) sont fréquemment mis en avant pour expliquer l'émergence ou la réémergence des maladies infectieuses (par exemple : les syndromes grippaux). Le Cnes et ses filiales, avec la participation de Médias-France, Medes et CLS-Argos, en partenariat avec l'Institut Pasteur, l'Inra et l'École vétérinaire de Lyon, proposent dans le cadre du consortium *Surveillance spatiale des épidémies* (S2E), d'élargir la surveillance sanitaire des maladies émergentes aux paramètres environnementaux et climatiques.

### Projets en cours

- *Le projet BIRD*

Le projet BIRD (action thématique concertée Inserm) se propose spécifiquement de développer des indicateurs spatiaux relatifs au monitoring :

- des réservoirs aviaires ;
- et des environnements avec lesquels ils sont en interaction : *biologiques*, par les biotopes impliqués (moustiques vecteurs, faune sauvage...) et *physiques*, par le climat (température, précipitation, vent...).

L'objectif de ce projet est de développer des modèles de prévision des risques sanitaires liés à l'environnement (ici aux migrations aviaires) et de promouvoir des systèmes de surveillance épidémiologiques permettant une alerte précoce (produits relatifs à la localisation et à l'observation de la Terre).

- *Le projet BIBO*

L'objectif est d'étudier la circulation des virus des fièvres aviaires (encéphalite japonaise en Asie, West Nile en Europe, et fièvres à *Influenzae* en Europe et Afrique), et de mettre en évidence les mécanismes physiques de transmissions/mutations et les facteurs de risques associés aux épidémies/pandémies.

Il s'agit d'apprécier l'évolution spatio-temporelle et la diversité génétique des virus (sur sites sélectionnés en Asie, Europe et Afrique) chez les oiseaux sédentaires, domestiques et sauvages y compris les oiseaux migrateurs (sur plus de vingt-cinq espèces répertoriées en Europe).

En effet, les transmissions/mutations chez les « oiseaux réservoirs » pourraient aboutir à l'émergence, chez l'homme, d'un nouveau virus de type HxNx. Une surveillance fine (à partir de l'espace et *in situ*), des facteurs climatiques et environnementaux dans des sites bien ciblés, devrait permettre de mettre en évidence les paramètres susceptibles de contribuer aux transmissions/mutations des virus (types *Orthomyxoviridae*, *Flaviviridae*...) aux épidémies précitées.

- *Données spatiales*

Concernant ce type de données, il est proposé :

- d'établir un catalogue multidisciplinaire (climat, environnement, virologie, entomologie, ornithologie...) de métadonnées : METABIRD;
- de développer un portail BIBO pour faciliter l'accès à l'information et la connaissance;
- de faciliter une étude systématique des conditions climatiques et environnementales grâce à l'exploitation de données satellitaires d'observation de la Terre, d'océanographie, de météorologie (globaux, régionaux et locaux, *in situ* et télédétection) : humides/secs, chauds/froids, végétation, étendues en eau, états thermiques des océans (contribution télédétection de CLS) dans des sites et régions océaniques présélectionnés : CEBIRD I;
- de définir des écosystèmes et climats types (ainsi que leur variabilité) permettant de fournir une estimation des facteurs de risques d'épidémies, et ce à partir de produits de télédétection : CEBIRD II;
- analyse des hétérogénéités dues à la structure spatiale du paysage, de l'hydrologie, du climat, des populations d'hôtes;
- analyse des indicateurs climatiques et environnementaux associés à la transmission des virus entre oiseaux sédentaires et migrateurs, et donc aux risques liés à l'introduction des virus chez l'humain et animaux.

Ces quatre activités devraient permettre de lier les conditions favorables à la prévalence des virus au sein des différentes espèces, et d'identifier à l'avance la capacité de transmission et mutation des virus (SAP ou Systèmes d'alerte précoce).

Concernant les aspects collecte et transmission de données le système d'information du projet « BIBO » intégrera les fonctionnalités suivantes :

- recueil sur le terrain et échanges de données environnementales, vétérinaires, biologiques et cliniques humaines grâce au déploiement de réseaux sentinelles intégrant des bornes Argos ou des PDA ou encore des tablettes graphiques et associant des téléphones satellitaires;
- intégration des données environnementales obtenues par des moyens spatiaux d'observation de la Terre et de télédétection;
- intégration des données de localisation en particulier les flux migratoires (Galileo, GPS);
- intégration de modèles prédictifs de risque, de dynamique de propagation des épidémies;
- interface avec des bases de données.

Le système d'information sera développé pour s'adapter aux pratiques existantes des utilisateurs et pour s'intégrer aux systèmes d'informations existants chez les partenaires. Sur le plan technique, il intégrera les nouvelles technologies pour offrir des terminaux robustes, légers et communicants et un système d'échanges de données, type réseaux sentinelles, sécurisé et utilisant des solutions standardisées.

## La gestion des crises : le container Emergesat

Suite à la catastrophe du tsunami le 26 décembre 2004, le Chef de l'État a préconisé la création d'une force internationale d'intervention humanitaire rapide. Madame Nicole Guedj, à l'époque secrétaire d'État aux Droits des victimes, a initialisé une réflexion sur le principe d'un conteneur humanitaire communicant qui serait un outil de gestion des crises humanitaires mis à la disposition de cette force.

Un groupe de travail s'est formé sous la direction du Cnes réunissant l'industriel Alcatel Alenia Space, la protection civile représentée par l'association Remifor, et d'autres entreprises (Medes, Irit) et experts français pour développer cet outil d'intervention humanitaire, baptisé Emergesat.

Emergesat est un outil fédérateur, humanitaire, proposé par la France, ouvert aux partenariats et à la coopération, conçu pour être au service de tous, partout dans le monde.

L'outil a pour vocation d'être utilisé dans les situations de crises majeures caractérisées par des événements extrêmes, récurrents et violents, dus à :

- des catastrophes naturelles principalement (tsunami, ouragan, tremblement de terre) ;
- des catastrophes industrielles ;
- des actes terroristes.

Ces événements extrêmes :

- peuvent survenir en tout point du globe, à tout instant ;
- engendrent bien souvent des situations d'urgence humanitaire ;
- mettent souvent hors d'usage les moyens de communication terrestre ;
- génèrent une phase d'improvisation ou de latence ;
- rendent difficile l'intervention coordonnée des équipes de secours.

Les quatre phases évolutives des actions organisées pendant une crise se déclinent de la manière suivante, à partir du jour de la catastrophe T0 :

- avant T0 : prévention, expertise initiale, les organisations structurées sont prêtes à intervenir, l'efficacité est nominale ;
- T0 à + 2 jours : renseignement immédiat et évaluation rapide des besoins, l'efficacité chute ;
- T2 + 15 jours : prompt secours, intervention, l'efficacité augmente ;
- T15 + 60 jours : assistance humanitaire, les secours s'organisent, l'efficacité se stabilise ;
- T60 + N mois : réhabilitation des zones, reconstruction.

Quand les moyens de communication terrestres sont hors d'usage suite à une catastrophe majeure, les satellites – eux – continuent de surveiller la Terre et restent opérationnels.

Les satellites garantissent une capacité :

- de redondance ;
- d’ubiquité (omniprésence ou faculté d’être présent partout en même temps) ;
- et de résilience (faculté de résister aux chocs), qui n’est pas disponible au sol à ce jour.

Par leur qualité de surveillance globale et continue de la planète, les satellites peuvent prévoir les dangers potentiels. Ensuite, ils permettent de connecter les personnels de secours au sol et de les suivre en opération. Les satellites réunissent les communautés, les familles isolées par une catastrophe. Ils permettent au monde de témoigner de l’ampleur des désastres pour une prise de conscience accrue.

À des événements extrêmes, il convient aujourd’hui d’apporter des solutions exceptionnelles. La polyvalence apportée par les techniques spatiales, leurs qualités considérables, permettent de répondre aux exigences des missions d’urgences humanitaires. C’est la raison pour laquelle les satellites de télécommunication, d’observation de la Terre et de localisation/navigation, mobilisables à tout instant et en tout point du globe, peuvent efficacement contribuer à l’action humanitaire.

a) Les objectifs du système Emergesat sont de mettre à la disposition de l’ensemble des acteurs de crise :

- une information globale sur la situation de crise ;
- une aide à la coordination et au suivi des interventions ;
- et des services d’assistance humanitaire.

L’enjeu principal est de déporter efficacement de l’intelligence et de la communication sur un théâtre d’opération pour assister les secours. Le système peut être rapidement transporté puis déployé sur site au cœur de la catastrophe par avion de ligne, hélicoptère ou camion. Il doit permettre de rétablir un réseau de communication sur zone grâce à l’apport des technologies satellite et terrestre.

b) Les utilisateurs du système peuvent être classés dans l’une des catégories suivantes :

- organisations gouvernementales (OG) : elles se déclinent en fonction des pays en différentes appellations, Direction de la défense et de la sécurité civile, Agence nationale de secours...
- organisations non gouvernementales (ONG) : généralement des structures associatives ou des fondations, à but non lucratif, indépendantes des organismes étatiques ;
- organismes internationaux (OI) : agences internationales, organismes institutionnels européens ou internationaux ;
- collectivités territoriales : à travers leurs initiatives de soutien aux actions et programmes et leurs actions de coopération décentralisées bilatérales ;
- organismes déconcentrés de l’État : organismes de secours en particulier de niveau zonal, régional ou départemental en fonction des pays.

L'outil Emergesat permet :

- D'avoir des communications avec les bases arrières, ou connecter le terrain au réseau mondial par liaison satellite bidirectionnelle. Les équipes d'intervention positionnées sur zone ont besoin de communiquer avec leur base arrière et plus généralement avec le reste du monde. L'outil comprend un système de télécommunications bidirectionnelles par satellite. Il est opérationnel dans le monde entier grâce à un ensemble de satellites compatibles.
- D'avoir des connexions à haut-débit. L'échange d'informations volumineuses, précises (images et vidéos haute résolution) et interactives (associant simultanément l'audio, la vidéo et le partage d'informations) est un réel avantage sur le terrain. La mise à disposition du haut-débit sur un théâtre d'opérations est une valeur ajoutée qui doit permettre de faciliter les communications et échanges de données. Le système doit comprendre un système de télécommunications par satellite haut débit pouvant offrir au moins 10 Mbps en liaison descendante et 1 Mbps en liaison montante, et normalisé, comme le DVB-RCS par exemple.
- D'accéder à une continuité des services télécom. La continuité des services de télécommunication par satellite est cruciale dans la gestion de crise humanitaire. Il en va de la sécurité des personnes. Concernant le système, les liaisons seront garanties 7 jours/7, 24 heures/24, et le cas échéant, avoir une garantie de rétablissement inférieure à une heure ou moins.
- D'utiliser des moyens de communication multimédia. Il est essentiel de faciliter la coordination des équipes sur le terrain de crise, de permettre une meilleure collecte des données et leur partage rapide, une communication plus efficace entre les sites sur le terrain et du terrain vers le reste du monde. Pour cela, le système comprend un ensemble d'applications de communication multimédia, comme par exemple :
  - la voix sur IP (VoIP) et la vidéoconférence pour coordonner à distance ;
  - le travail collaboratif avec partage d'applications pour rendre compte de la crise ;
  - un Système d'information géographique (SIG) pour localiser les moyens projetés.
- De connecter des terminaux à internet et de disposer d'une coordination horizontale. L'une des difficultés majeures à surmonter dans la gestion de crise est le manque de coordination horizontale entre les acteurs. La coordination horizontale est primordiale pour réussir une intervention efficace. Elle permet de :
  - avoir une même connaissance globale de la catastrophe ;
  - partager l'information entre l'ensemble des acteurs ;
  - coordonner et suivre les équipes d'intervention sur le terrain.

Le contexte de travail est celui de la gestion de crise en partenariat. La capacité du système à animer le dialogue, à créer des réseaux de partenariats, à exploiter les connaissances dans le but d'avoir une action commune efficace est indispensable à la gestion des crises majeures. Le système proposé ici peut

être considéré comme un nouvel outil de gestion horizontale qui a sa place tout entière aux côtés des outils traditionnels. Un tel outil a pour vocation de servir et aider une organisation coordinatrice dont les procédures sont spécifiquement dédiées à la gestion de crise en partenariat. Dans le contexte des crises humanitaires, l'Ocha (United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs) est la structure qui organise l'assistance internationale en cas de catastrophe majeure.

Les exigences de gestion horizontale requièrent une plus grande attention aux responsabilités multiples. Les méthodes de gestion traditionnelles qui appuient les responsabilités verticales sont solidement établies et doivent être préservées. Le but n'est pas de remplacer les structures verticales actuelles par des structures horizontales. Les modèles et mécanismes de gestion horizontale doivent compléter, et non remplacer, les responsabilités verticales.

c) Principes de gestion du système favorisant la coordination horizontale :

- pilotage partagé ;
- réciprocité. Le système permet l'échange d'information entre tous les acteurs en mode requêtes et offres. Le principe de réciprocité (donner/recevoir) permet d'éviter l'excessive verticalité des systèmes d'information. Par exemple, une fonction de type « requêtes et offres » permettra d'accroître la coordination horizontale ;
- économie ;
- équité. L'utilisation du système est proportionnelle aux besoins. Par exemple, la bande passante satellite devra être partagée en fonction des besoins utilisateurs ;
- autonomie des acteurs. Chaque acteur garde son autonomie (en termes de terminaux par exemple) ;
- visibilité des acteurs. L'accès utilisateur à travers un portail assure la transparence des accès locaux ou distants ;
- de disposer d'assistance humanitaire.

Les disciplines impliquées dans la gestion d'une crise dépendent de la nature de la crise. C'est pourquoi un système de gestion de crise à vocation universelle doit être multidisciplinaire et configurable. L'assistance humanitaire exige le recours à des services de communication et d'aide à la décision dans les principales disciplines suivantes, classées par cible ci-après.

- aide aux victimes ;
- coordination de l'assistance médicale d'urgence ;
- coordination de l'assistance médicale post-crise ;
- surveillance des épidémies post-crisis ;
- gestion des disparus et des décès ;
- besoin de recenser les décès et estimer le nombre de disparus, aide aux populations ;
- besoin de coordination de la distribution des aides (alimentaires, eau potable, médicaments, tentes, vêtements...) ;
- besoin de production d'eau potable (traitement des eaux usées) ;
- besoin d'information des populations sur la situation de crise ;

- besoin d'aide à la recherche des disparus ;
- besoin de moyens de communication pour prévenir les proches, aide aux autorités locales ;
- besoin d'identification rapide des réparations urgentes en génie civil.

## Conclusions

Ces trois exemples que sont la téléconsultation sur sites isolés, la télé-épidémiologie et la gestion des crises avec le concept Emergesat prouvent bien qu'en utilisant des moyens déjà existants qu'il s'agisse de satellites, de modules médicaux, d'infrastructures sol..., on peut d'une part améliorer la qualité des soins surtout dans des conditions environnementales précaires (accès à des soins de qualité pour tous, désenclavement des zones isolées...) et aboutir à des économies d'échelle non négligeables en matière de santé publique.

On peut également, en développant des réseaux sol de collecte et de transmission de données associés à l'utilisation de l'imagerie spatiale jouer un rôle extrêmement important en matière de prévention des maladies transmissibles liées à des modifications de l'environnement. On peut, enfin, considérer que la mise en place de ces différents réseaux de surveillance épidémiologique peut constituer une première étape de ce que pourrait être un réseau européen d'alerte précoce en matière de santé comme cela a été suggéré par la Commission européenne et voté par le Parlement européen.

Enfin, le concept Emergesat permettra aux dires des futurs utilisateurs de mieux coordonner et mieux gérer les situations de catastrophe naturelle ou industrielle :

- en permettant de rétablir grâce à la voie satellitaire des télécommunications fiables entre les différents gestionnaires d'une crise ;
- en évaluant grâce à l'imagerie spatiale l'étendue des dégâts ;
- enfin, en rendant plus efficace grâce aux satellites de positionnement les équipes de secours.



## Les enseignements à tirer de l'épidémie du chikungunya

Catherine Gaud, *hôpital Félix Guyon*

### Introduction

Depuis mars 2005, l'île de La Réunion est le théâtre d'une épidémie de chikungunya sans précédent. Terre française et région ultra-périphérique européenne, située dans l'océan Indien, La Réunion, riche de 775 000 habitants, connaît un niveau de développement élevé, même si des handicaps importants existent par rapport à la métropole : taux de chômage élevé (environ 30 %), jeunesse de sa population (indice de fécondité 2,45), importante proportion d'illettrés (120 000 environ), éloignement géographique avec l'Europe (environ 10 000 km).

Cependant, La Réunion, outre le modèle de tolérance et de diversité culturelle qu'elle offre, est une île très dynamique, avec un taux de croissance du BIP supérieur à celui de la métropole (+6,5 % par an), et bénéficie d'infrastructures routières, sanitaires, culturelles, universitaires de haut niveau. Le développement de l'île est d'ailleurs en pleine expansion, avec le futur Tram-Train, l'implantation d'un cyclotron, la création du CHR-U, la construction de la Maison des civilisations et de l'unité réunionnaise.

L'île bénéficie d'une qualité d'accès aux soins de niveau européen, avec un équipement hospitalier performant (plusieurs scanners, IRM, laboratoire P3, services de grands brûlés, de neurochirurgie, de médecine nucléaire...) et de médecins généralistes et spécialistes très compétents. Elle est connue dans la région pour sa « sécurité sanitaire ». En effet, La Réunion est entourée d'îles proches, dont les niveaux de vie et de développement sont inférieurs aux siens. Si Maurice et les Seychelles ont un niveau intermédiaire, il n'en est pas de même pour Madagascar et les Comores, qui font partie des pays les plus pauvres de la planète et, bien sûr, pour les pays de l'Afrique australe ravagés par le Sida, le paludisme et la tuberculose. Si l'espérance de vie est de 75 ans en moyenne à La Réunion, elle est de 56 ans à Madagascar. On peut donc dire que La Réunion est une région d'Europe à part entière mais inexorablement située sous les tropiques. Nos ancêtres vivaient dans l'île sous le poids de cette réalité : le prix payé à chaque cyclone était lourd en vies humaines avant les prévisions météorologiques, les maisons « en dur » et les consignes de sécurité à respecter en cas d'alerte ; le paludisme faisait des ravages (même si, depuis, La Réunion a été un des seuls pays au monde capable de l'éradiquer en une

petite trentaine d'années de lutte antivectorielle), la mortalité infantile atteignait des sommets.

Puis l'installation dans un certain confort de vie amené par les inventions modernes, l'amélioration de la prise en charge sanitaire, l'urbanisation ont petit à petit « endormi » notre vigilance et nous avons été frappés de ce que j'appellerai une amnésie collective. Nous avons oublié notre situation géographique, notre latitude, notre climatologie. Nous avons la sécurité sanitaire que nous vantions à nos touristes, nous avons su vaincre le paludisme, la lèpre, maîtriser mieux qu'en métropole l'épidémie de Sida, et nous avons oublié notre environnement, nos températures tropicales dépassant allégrement les 30 °C au cours de l'été austral, les pluies torrentielles qui les accompagnent, notre écosystème et ses moustiques. Une des preuves en est l'effectif famélique, au début de l'épidémie de chikungunya, de l'ancien brillant service de prophylaxie antivectorielle de La Réunion, qui avait si exemplairement triomphé de l'anophèle et du paludisme. Celui-ci ne comptait plus qu'une d'une trentaine de personnes, la plupart proches de la retraite.

Lorsqu'à la fin de l'année 2004, l'OMS signale une épidémie de chikungunya aux Comores, La Réunion est loin d'imaginer ce qui l'attend. Les médias français sont tout occupés à discourir d'une autre épidémie à laquelle le pays se prépare : celle de la grippe aviaire, et continueront d'ailleurs longtemps à traiter de cette épidémie hypothétique, pendant qu'une vraie épidémie très active, se déroulait sur le sol français : celle du chikungunya à La Réunion. En mars 2005, les premiers cas y sont signalés.

## Le vecteur

Le virus chikungunya est un arbovirus, du genre alphavirus, transmis par des moustiques du genre *Aedes*. On connaît environ 500 arbovirus dans le monde, dont une centaine est pathogène pour l'homme. Le terme chikungunya désigne, en Swahili, le fait de marcher courbé tant les localisations articulaires de la maladie sont douloureuses et invalidantes. L'armée américaine s'est intéressée à ce virus, il y a quelques années, comme arme de guerre bactériologique pour stopper l'avancée des armées ennemies. Elle a d'ailleurs développé un vaccin vivant atténué, très immunogène, qui est en cours de requalification actuellement, afin de protéger ses militaires contre ce virus. Ce virus à ARN est sensible à la dessiccation et est inactivé par une température supérieure à 60 °C.

Le vecteur est, à La Réunion, dans l'état actuel des connaissances, *Aedes albopictus*, ainsi nommé car il est rayé de blanc sur le corps et les pattes. Dans le monde, d'autres moustiques sont incriminés comme vecteur : surtout *Aedes aegypti* et plus rarement les *Culex* et anophèles. *Aedes albopictus* est présent dans le monde entier, notamment aux États-Unis, où il est devenu le vecteur du West Nile, mais aussi dans le Var et dans la plaine du Pô. Ce moustique est

très résistant et fait preuve d'une grande adaptabilité. Sa grande résistance lui a permis de supplanter *Aedes aegypti*, beaucoup plus fragile, dans plusieurs pays dont la Chine ou, plus près de nous, les Seychelles. Ses œufs, très résistants, peuvent survivre toute la saison sèche et donner naissance à des larves et des adultes dès les premières pluies de la saison humide suivante. Ils peuvent être transportés sur des kilomètres par le vent (à La Réunion les alizés sont forts en hiver, c'est-à-dire pendant la saison sèche), mais aussi à travers le monde sur des supports divers (des pneus, du bois ont été incriminés dans la littérature). Ce moustique est essentiellement urbain, mais sans exclusive, ses horaires d'activité maximale sont le matin après le lever du soleil et le soir avant le coucher de celui-ci. Il est à la fois zoophile et anthropophile. Ses hôtes intermédiaires sont les grands singes en Afrique, mais ils pourraient piquer et infecter les lémuriens, nombreux à Madagascar, aux Comores et à Mayotte et les vétérinaires réunionnais s'interrogent sur des chiens qui présentent des symptômes proches de ceux des humains!

Les femelles pondent leurs œufs dans l'eau douce. 80 % de ces gîtes seraient péridomestiques à La Réunion et leur élimination relèverait de la lutte communautaire, peu développée dans notre île, contrairement à ce qui se passe aux Comores par exemple. Cependant les femelles, qui font un repas de sang tous les cinq jours pour pouvoir pondre leurs œufs et qui vivent entre quatre et huit semaines, peuvent aussi pondre en gîtes naturels : trous de rocher, d'écorce, ravines, feuillage, ce qui complique les moyens de lutte.

*Aedes albopictus* est présent toute l'année dans l'océan Indien, mais en beaucoup plus grand nombre, au cours de l'été austral. Il est aussi très abondant sur les côtes sud des États-Unis, dans la plaine du Pô et en quantité non négligeable dans le Midi de la France métropolitaine. Il est capable de supporter des températures relativement fraîches, ce qui fait craindre, notamment à l'occasion d'un réchauffement climatique, la transmission possible du chikungunya, mais aussi de la dengue qu'il peut également transmettre, dans ces régions. Celles-ci, totalement indemnes de ces viroses jusqu'à présent, pourraient connaître des épidémies de gravité similaire à celle qu'a connue notre île, dont la population n'avait jamais rencontré le virus.

## L'épidémie à La Réunion

De la fin de l'année 2004 à mars 2005, les Comores ont connu une épidémie de chikungunya dont l'origine africaine est probable. Cette épidémie a été signalée rapidement par l'OMS. Pratiquement au même moment, l'Inde, et notamment la région de Bangalore avec laquelle notre île, riche d'une population entre autres d'origine indienne, a des liens privilégiés, connaissait une importante épidémie avec 75 000 cas rapportés.

La Réunion a été atteinte en mars 2005. Contrairement à l'Afrique où le virus est endémique, celui-ci atteignait une population vierge, qui ne l'avait jamais rencontré. En Afrique, le virus existant à l'état endémique depuis des années, les adultes n'ont pas de symptômes de la maladie, étant probablement immunisés dès leur jeune âge, et ce sont les enfants qui sont touchés. Le niveau sanitaire de ces pays ne permet pas l'accès à un diagnostic de cette affection que la population considère comme bénigne, puisque non mortelle et guérissant spontanément.

Quelques centaines de cas ont été rapportés à La Réunion, entre mars 2005 et le début de l'hiver austral, mais il était commun de penser et de faire savoir que l'épidémie serait éteinte par l'hiver. À cette époque aucun cas grave, et *a fortiori* mortel, n'avait été signalé. La littérature, assez pauvre sur le sujet, ne relatait d'ailleurs aucune mortalité, mais évoquait des formes poly-articulaires chroniques, allant jusqu'à trois ans post-infection. C'était une maladie des pays pauvres, qui n'avait pas intéressé grand monde, en dehors de l'armée américaine pour des raisons non humanitaires. Le vecteur lui-même était mal connu, particulièrement à La Réunion.

On connaît la suite... Plus de 270 000 personnes atteintes à ce jour, avec un pic épidémique à 46 000 nouveaux cas mi-février, plus de 250 décès (la plupart chez des personnes âgées ou débilitées, mais quelques-uns chez des enfants, de jeunes adultes sains), des cas de transmission materno-fœtale, de multiples complications graves; une île « sidérée » par l'épidémie, une population stupéfaite et inquiète au point que certaines femmes enceintes, certains enfants ont quitté La Réunion, au plus fort de l'épidémie, pour se mettre à l'abri; des généralistes dans un premier temps, puis des hospitaliers débordés (mais faisant face) et, tout à coup, cette réalité : notre pays moderne, industrialisé, occidental, riche était toujours situé en zone tropicale et pliait à tous les niveaux (sanitaire, social, économique, psychologique) devant des êtres infiniment petits : les moustiques, qui en transportaient d'autres encore plus redoutables : les virus. Le climat avait permis qu'une maladie du tiers-monde nous atteigne et était venu nous rappeler l'impact de notre environnement sur notre santé. Notre économie touristique est en très grande difficulté et nous vivons dans la crainte de la récurrence d'une grosse épidémie lors du prochain été, le nombre de nouveaux cas ayant considérablement baissé avec l'arrivée de l'hiver, mais pas suffisamment pour être à l'abri.

Parallèlement, les pays voisins : Maurice, les Seychelles, Madagascar ont été touchés, avec de surcroît, une épidémie de dengue à Tamatave et à Nosy-Be.

## Les manifestations cliniques

Après une période d'incubation, durant entre trois et huit jours en moyenne, le début est brutal, marqué par une forte fièvre accompagnée de douleurs poly-articulaires le plus souvent intenses (touchant surtout les poignets, les chevilles

et les articulations des doigts), de douleurs dorsales et, dans environ la moitié des cas, d'une éruption cutanée prédominant au tronc ou d'un œdème du visage. Ces signes perdurent quelques jours et l'évolution est le plus souvent favorable, sans séquelles en une dizaine de jours.

Cependant, à La Réunion, de nombreux patients décrivent une persistance des douleurs articulaires, souvent de façon fluctuante d'un jour à l'autre, pendant plusieurs mois. De même des formes graves, avec des localisations particulières, ont été observées : encéphalites, syndromes de Guillain-Barré, myocardites, péricardites, hépatites aiguës avec nécessité de greffes de foie pour certaines, atteintes cutanées sévères (dont la relation avec le Chik est incertaine). Au total, l'incidence de ces formes graves est faible : moins de 2 pour 1000.

L'épidémie réunionnaise a également donné lieu aux premiers cas rapportés de transmission materno-fœtale. Celle-ci se produit lorsque la mère attrape la maladie autour de la période de l'accouchement : la quasi-totalité des nouveau-nés est alors contaminée. Une quarantaine d'infections materno-fœtales sont documentées : elles entraînent surtout des complications neurologiques. Un seul décès a été signalé. La plupart des enfants ont guéri, mais leur avenir cognitif est incertain et ces bébés du Chik sont, et seront, sous surveillance pendant leurs premières années de vie, entre autres à l'âge des apprentissages scolaires.

On peut s'interroger sur la découverte de ces formes graves, de celle de cas de transmission materno-fœtale, jamais rapportées jusqu'à l'épidémie réunionnaise : formes passées inaperçues dans les pays pauvres, submergés par d'autres problèmes, non-intérêt antérieur des scientifiques pour cette affection, mutation virale aggravant la virulence ? Probablement un peu de chaque. On sait maintenant que le virus a muté au cours de l'épidémie et que c'est à partir de ce moment que la grande majorité des formes sévères a été observée.

Enfin, des formes chroniques se manifestant par des douleurs articulaires très sévères perdurant depuis la phase aiguë, parfois depuis plus d'un an, sont en cours d'exploration. Elles pourraient être d'origine auto-immune comme dans les connectivités.

Il n'existe aucun traitement connu efficace à ce jour. La nivaquine est remarquablement efficace *in vitro*, en inhibant la réplication virale. Des essais cliniques sont en cours concernant l'efficacité *in vivo* de cette molécule chez la personne nouvellement atteinte et, préventivement, sur des personnes de son proche entourage. Des traitements contre la douleur sont prescrits pour diminuer celle-ci, mais ils n'ont rien de spécifique.

## Conclusions

L'épidémie de chikungunya à La Réunion est forte d'enseignements. Elle nous rappelle en premier lieu, la dépendance étroite de l'homme et de son environnement et la fragilité du bon équilibre entre eux. L'influence du climat sur la santé,

qui en l'occurrence a un lien étroit avec la prolifération du vecteur, apparaît brutalement évidente : l'épidémie fluctue en fonction des saisons et de l'hygrométrie. Elle nous rappelle aussi notre vulnérabilité constante vis-à-vis du monde dans lequel nous vivons : le danger ne vient pas forcément de ce qui est visible ou prévisible, mais surtout de ce que l'on ignore.

Certes, l'ignorance est grande dans le domaine du chikungunya, avec de nombreuses inconnues épidémiologiques, cliniques, thérapeutiques, physiopathologiques. Mais cette ignorance est pire encore si l'on mesure les milliers de virus identifiés dans le monde (et tous ceux forcément plus nombreux que l'on ne connaît pas encore). Il en est de même pour les vecteurs qui peuvent les transmettre (les milliers d'espèces de moustiques mais aussi tous les autres insectes, vecteurs potentiels). D'une façon générale, la modestie de notre savoir (en santé notamment) apparaît abyssale. L'épidémie de Sida, nous avait déjà appris à quel point il faut être humble en médecine, et combien la vérité d'hier n'est pas celle d'aujourd'hui, qui n'est pas non plus celle de demain. La certitude nous conduit à bien des erreurs dont la suffisance n'est certes pas la pire.

Au-delà de ces considérations médicales, cette épidémie nous rappelle avec la fréquence des échanges aériens et maritimes de voyageurs et de denrées, combien notre santé dépend aussi de celle des autres. Cette leçon devrait être méditée par les politiques des pays riches qui se préoccupent d'ériger illusoirement des barrières pour empêcher l'entrée dans nos pays des pauvres de la planète, poussés à quitter leur pays pour avoir accès au minimum : la nourriture, la santé, l'éducation pour eux et leurs proches. La seule attitude responsable consisterait à renforcer l'aide au développement et la lutte contre la pauvreté. Sans parler du devoir humanitaire de solidarité, il ne faut pas être devin pour prédire que les maladies émergentes ou réémergentes qui toucheront durement nos pays viendront des pays en voie de développement dont l'incapacité à y faire face sera à l'origine d'une dissémination de celles-ci à laquelle les populations des pays riches payeront un lourd tribut. N'oublions pas que les virus sont très égalitaires et infectent tout le monde : les pauvres comme les riches, toutes les races, toutes les religions.

Enfin, la dégradation de l'état écologique de notre planète, les changements climatiques annoncés, les profondes mutations démographiques mondiales sont autant d'éléments qui doivent nous faire réfléchir afin d'anticiper au mieux l'avenir de l'humanité et de notre planète, reconsidérer les relations de l'homme avec son milieu et tenter, comme le dit Hölderlin, de faire en sorte qu'« En poète l'homme habite sur cette terre ».

# Santé publique et gestion des risques





## Aperçu des travaux relatifs aux relations entre climat et santé au niveau international

**Marc Gillet**, directeur de l'Onerc

### Les constats du Giec

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec) a pris très tôt en considération les travaux sur les conséquences possibles du changement climatique sur la santé humaine. Ces risques dépendent évidemment en premier lieu de l'état sanitaire des populations concernées. Le Giec attire l'attention sur le fait que les causes de maladies humaines sont complexes et dépendent de nombreux facteurs. Par ailleurs, il existe une grande hétérogénéité dans la nature des affections : aiguës ou chroniques, infectieuses ou non, blessures physiques, désordres mentaux... Ce sont là des raisons qui expliquent la difficulté à cerner ce sujet. Les pays en développement et les catégories sociales défavorisées en général sont dans ce domaine les plus vulnérables.

Nous rappelons ici les risques tels que le Giec les a présentés dans ses rapports d'évaluation, en relevant les aspects qui apparaissent les plus importants en vue de définir des actions de prévention. On constatera que plusieurs événements intervenus depuis ont largement confirmé ces craintes.

#### Stress thermique

En ce qui concerne les **vagues de chaleur**, le Giec prévenait déjà dans son rapport 2001 que « Les augmentations les plus fortes de stress thermique sont attendues en milieu urbain aux latitudes moyennes et hautes (tempérées), particulièrement dans les populations dont les logements ne sont pas adaptés et qui ont peu accès à la climatisation » (IPCC, 2001b). Ces risques de mortalité sont plus importants particulièrement pour les personnes âgées, les malades chroniques, les personnes très jeunes et celles isolées socialement.

En revanche, les **vagues de froid** moins intenses et moins fréquentes devraient s'accompagner d'une réduction de la mortalité au froid dans nombre de pays tempérés.

## Événements extrêmes et catastrophes météorologiques

S'appuyant sur l'expérience de catastrophes récentes, le Giec prévenait que « Toute augmentation dans la fréquence et l'intensité d'événements climatiques extrêmes tels que les **tempêtes**, les **inondations**, les **sécheresses** ou les **cyclones** auraient des effets néfastes sur la santé par différentes voies » :

- décès et blessures directs ;
- destruction de logements ;
- déplacements de populations, contamination de l'eau ;
- perte de récoltes entraînant la faim et la malnutrition ;
- augmentation des risques d'épidémies de maladies infectieuses (comme la dysenterie ou le choléra, liés à la dégradation de la qualité de l'eau) ;
- dommages à l'infrastructure sanitaire ;
- effets sur la santé liés à la migration.

Il conviendrait d'ajouter à cette liste les accidents liés à la reconstruction, comme cela a été par exemple le cas après les deux tempêtes qui ont ravagé la France en décembre 1999.

## Pollution de l'air

Il s'agit dans ce cas des **gaz et particules fines**, d'une part, et des **substances allergènes** comme les pollens, d'autre part.

La concentration en ozone des basses couches de l'atmosphère a augmenté depuis l'époque préindustrielle, en raison de l'augmentation du méthane, du monoxyde de carbone et des oxydes d'azote ; cette tendance devrait se poursuivre dans les prochaines décennies. L'ozone favorise la pneumonie, les maladies pulmonaires, l'asthme, la rhinite allergique et d'autres maladies respiratoires, pouvant conduire à une mortalité prématurée.

Dans le cas des épisodes de canicule, il est souvent difficile de séparer les effets de la température de ceux de la pollution chimique. Les deux se produisent dans le même type de situation météorologique (blocage anticyclonique). Les concentrations en ozone étaient très élevées pendant la vague de chaleur de 2003 en Europe. Cependant, si les estimations de la mortalité attribuable à l'ozone sont très variables, une analyse fine conduite après la canicule de l'été 2003 montre que cette mortalité est le plus souvent faible en comparaison de la mortalité attribuable à la température (Ledrans, 2006).

Les conséquences pour la santé publique du changement climatique sur les autres polluants atmosphériques, ainsi que sur les substances allergènes, constituent un domaine de recherche qui mérite d'être développé.

## Maladies infectieuses

« La hausse des températures, les changements dans les précipitations et la variabilité du climat modifieront les zones et le caractère saisonnier des maladies

infectieuses à transmission vectorielle, les étendant dans certains cas et les réduisant dans d'autres cas ».

Le 4<sup>e</sup> rapport d'évaluation du Giec (IPCC, 2007b) évoque notamment les affections suivantes : **paludisme, dengue, autres virus transportés par les moustiques, leishmaniose, schistosomiase, peste, maladies transportées par les tiques, maladies transportées par les rongeurs, maladies attachées à la qualité de l'eau.**

L'incidence du facteur climatique sur le paludisme est plus marquée en bordure des régions concernées, où la température et les précipitations constituent les facteurs limitant la transmission de la maladie : la pluie, les mares, les petits réservoirs d'eau favorisent le développement des populations de moustiques ; on devrait assister à une augmentation de la durée des périodes à risque.

On peut signaler une étude récemment effectuée en France sur le cas des mares en Afrique (Lacaux et Tourre, 2006), qui précise le lien entre les précipitations, la dynamique des mares et les maladies à vecteurs, et met en évidence la possibilité d'assurer un suivi plus précis en utilisant des informations issues de satellites à haute résolution.

On a assisté récemment à l'apparition de la fièvre catarrhale ovine aux Pays-Bas, où le ministère de l'Agriculture annonçait, le 16 novembre 2006, un nombre de cas élevé. Un cas a été identifié en France le 14 novembre et des mesures prises en conséquence. Cette épizootie serait due à un nouveau sérotype viral, porté par le moucheron *Culicoides dewulfi*, qui n'était pas connu auparavant pour transporter cette maladie. Le vecteur en Afrique et en Europe du sud est en effet *Culicoides imicola*, qui n'est pas adapté au climat du nord de l'Europe. Cet exemple, rapporté par *Le Monde* en date du 18 novembre 2006, montre la complexité des interactions entre climat, vecteurs et virus.

La leishmaniose (qui affecte aussi les humains) a été observée sur des chiens (hôtes) plus au nord de l'Europe et en Afrique du Nord, bien qu'on ne puisse affirmer encore que cette constatation ne serait pas attribuable à une amélioration des observations.

## Aspects spécifiques au littoral

Le littoral est menacé au premier chef par les tempêtes, qui incluent les cyclones tropicaux et sont associées aux vents violents, aux inondations et toutes leurs conséquences. Le Giec attire aussi l'attention sur le fait que les changements climatiques pourraient provoquer dans le milieu marin des modifications propres à accentuer les risques d'intoxication par les biotoxines lors de la consommation de poissons ou de crustacés. Les algues toxiques et les vibrions pourraient étendre leur aire de répartition, et la dégradation de la qualité des eaux de surface pourrait avoir un impact sur les maladies diarrhéiques et le choléra.

## Production de nourriture et nutrition

Selon le Giec, « La modification des disponibilités alimentaires due aux changements climatiques pourrait avoir une incidence sur la nutrition et la santé des populations pauvres dans certaines parties du monde ».

Le risque d'une baisse des rendements agricoles est en effet plus grand dans les pays en développement, où l'on estime que 790 millions de personnes souffrent actuellement de dénutrition. Des sécheresses plus fréquentes dans certaines régions ne constitueraient pas la seule cause de baisses possibles de rendement des récoltes. L'augmentation de la température, notamment nocturne, peut également influencer sur la croissance de certaines plantes comme le riz.

## Conséquences induites sur la démographie et l'économie

Selon le Giec, « Dans certains contextes, les effets des changements climatiques pourraient causer des perturbations sociales, un déclin économique et des déplacements de population nuisibles à la santé humaine ».

En complément de ces conclusions, on peut rappeler également l'importance possible des répercussions des questions sanitaires sur l'économie, en se référant aux conséquences de l'épidémie de chikungunya à La Réunion, qui s'est révélée catastrophique pour le tourisme.

## Les travaux européens

L'Union européenne finance depuis de nombreuses années des activités de recherches sur les impacts, la vulnérabilité et l'adaptation dans le domaine de la santé.

Lors de la troisième conférence au niveau ministériel de l'OMS, les ministres européens sont convenus que les changements apportés par l'homme au système climatique et à l'ozone stratosphérique apportent des risques graves pour la santé et constituent une menace potentielle pour le développement économique et social et la stabilité politique.

En 2004, l'Agence européenne de l'environnement (EEA, 2004) publiait un ensemble de 22 indicateurs de l'état du climat et de ses impacts, comprenant trois indicateurs relatifs à la santé humaine :

- une figure provenant de l'InVS présentant, à Paris, le nombre journalier de décès entre le 25 juillet et le 18 août 2003, superposée aux relevés de température ; cette courbe, maintenant bien connue en France, est largement citée à l'étranger ;
- deux courbes présentant depuis 1996 le nombre d'inondations en Europe, d'une part, et le nombre de décès dus à ces inondations, d'autre part ; le nombre

d'inondations répertoriées s'accroît, alors que le nombre de décès décroît; l'AEE affirme à ce sujet que le changement climatique accroîtra vraisemblablement la fréquence des crues extrêmes en Europe, et particulièrement des crues éclair, qui provoquent le plus de décès;

– un indicateur montrant la progression depuis 1980 du nombre de cas de boréliose de Lyme en Europe du nord et centrale; toutefois, l'indicateur n'est pas conclusif sur la proportion des 85 000 cas de cette maladie en Europe qui pourrait être attribuable au changement climatique.

Une étude générale sur l'adaptation dans le domaine de la santé en Europe a été réalisée récemment, avec le soutien de la Commission européenne et de l'OMS, sous le titre *Climate change and adaptation strategies for human health (cCASHh)* (voir plus haut), qui a donné lieu à un ouvrage de synthèse très complet (Menne et Ebi, 2006). Il présente une vue d'ensemble sur les sujets suivants :

- climat actuel et climats futurs potentiels en Europe;
- méthodes d'évaluation;
- conséquences observées des événements climatiques extrêmes en Europe;
- conséquences du changement climatique sur l'eau, la nourriture et les maladies à transmission vectorielle;
- mesures d'adaptation, stratégies et politiques;
- capacité d'adaptation;
- évaluation économique;
- santé de la population européenne à l'avenir.

Ce projet a utilisé une méthode d'évaluation de type *bottom-up*, c'est-à-dire partant du terrain, qui serait selon les auteurs généralisable en Europe, moyennant une prise en compte des spécificités sociales, politiques et économiques. Concernant les événements extrêmes, le risque le plus avéré est l'augmentation de la fréquence des vagues de chaleur. La vague de chaleur de l'été 2003 aurait causé entre 27 000 et 40 000 décès en Europe, les estimations variant en fonction des sources de données. On peut s'étonner d'une telle imprécision trois ans après cet événement, alors qu'en France les chiffres sont connus à quelques unités près. Elle n'est sans doute pas sans lien, dans certains pays voisins de la France, avec la décentralisation des appareils statistiques et du suivi de l'état sanitaire des populations. Les auteurs appellent également à la vigilance en ce qui concerne les conséquences des inondations, la surveillance des maladies à transmission vectorielle et les maladies liées à l'alimentation. Dans ce dernier cas, le projet met en avant le fait que les cas de salmonellose augmentent de 5 à 10 % pour chaque degré supplémentaire en température hebdomadaire, dès lors que la température se situe au-dessus de 5 °C.

En ce qui concerne l'adaptation aux vagues de chaleur, les auteurs recommandent notamment la mise en place de systèmes d'alerte par les ministères de la Santé, en lien étroit avec le service météorologique. Peu de pays avaient encore mis en place de tels systèmes lors de l'enquête effectuée sur ce sujet, la France constituant une exception. Les recommandations concernant les autres risques sanitaires sont plus générales, et visent à renforcer les systèmes de surveillance.

La Commission européenne a présenté en juillet 2007 un **Livre vert sur l'adaptation** (Commission européenne, 2007), dans le cadre du Programme européen sur le changement climatique. Ce document expose la vision d'ensemble de la Commission sur le sujet, et le rôle qu'elle pourrait assurer dans sa prise en compte au niveau des politiques communes. La stratégie en projet a pour objectif de soutenir au mieux les efforts locaux, régionaux et nationaux en vue d'accroître la résilience aux conséquences du changement climatique. La santé humaine constitue l'un des dix thèmes qui ont été examinés par les groupes de travail qui ont préparé cette stratégie.

## L'action de l'ONU

L'Organisation mondiale de la santé (OMS) conduit depuis plusieurs années un Programme sur le changement global et la santé, traitant du changement climatique, de la décroissance de l'ozone stratosphérique, de l'énergie, des événements météorologiques extrêmes et de la globalisation. Le changement climatique est en effet identifié comme l'un des vingt-six facteurs de risque environnementaux, comportementaux et occupationnels dans le cadre d'une évaluation comparative sur les causes de maladies au plan global et régional pour l'année 2000. Cette étude indique que le changement climatique pourrait déjà avoir des effets significatifs sur la santé, principalement à travers de petites augmentations proportionnelles de maladies telles que la diarrhée et le paludisme, qui constituent déjà un facteur important de morbidité dans les pays en développement (*cf.* tableau 7).

**Tableau 7. Le changement climatique est probablement déjà cause d'une augmentation de certaines maladies (exprimées ici en milliers de DALYs, ou années de vie perdues ajustées en fonction de l'invalidité)**

Région	Sous-alimentation	Diarrhée	Paludisme	Inondations	Total	Total DALYs par million d'habitants
Afrique	616	414	860	4	1894	<b>3 071,5</b>
Méditerranée orientale	313	291	112	52	768	<b>1 586,5</b>
Amérique latine et Caraïbe	0	17	3	72	92	<b>188,5</b>
Asie du Sud-Est	1 918	640	0	14	2 572	<b>1 703,5</b>
Pacifique occidental (hors pays développés)	0	89	43	37	169	<b>111,4</b>
Pays développés et Cuba	0	0	0	8	8	<b>8,9</b>
Monde	2 847	1 460	1 018	192	5 517	<b>920,3</b>

Source : WHO, UNEP, WMO, 2003.

Par exemple, si les émissions de gaz à effet de serre poursuivent leur tendance actuelle, les risques de diarrhées seront accrus de 10 % dans certaines régions, en comparaison avec un climat inchangé. Les conséquences indirectes, par exemple à travers l'altération de l'environnement ou de la biodiversité, sont plus difficiles à quantifier.

C'est dans le cadre de ses missions que l'OMS examine les conséquences du changement climatique sur la santé, notamment en appuyant la prise en compte dans les conventions et programmes internationaux des considérations relatives à la santé. Elle agit également en vue :

- d'informer les ministères de la Santé et ce secteur en général des connaissances actuelles sur le changement environnemental global et ses conséquences sanitaires ;
- de promouvoir l'évaluation de la vulnérabilité au changement climatique, de ses effets sur la santé, et des options possibles d'adaptation dans le secteur de la santé ;
- d'apporter son soutien au renforcement des capacités de ses États membres, à leur demande.

Les activités de l'OMS concernent les trois thématiques qui suivent :

- Changements climatiques et santé, en répertoriant les menaces dues aux changements climatiques d'origine humaine : l'OMS a coordonné ainsi la première évaluation complète des interactions entre changements climatiques et santé, faisant appel à plus de 70 contributeurs (WHO, UNEP, WMO, 2003). Par ailleurs, l'OMS agit à travers ses représentations régionales, nationales, et ses partenaires, afin d'informer les décideurs et de fournir des conseils en vue d'évaluer la vulnérabilité et d'identifier des options d'adaptation. Ces activités se concentrent sur l'identification d'options apportant des avantages immédiats tout en réduisant la vulnérabilité à plus long terme.
- Changement global de l'environnement – Évaluation de millénaire des écosystèmes : dans le cadre de cette évaluation conduite par plus de mille scientifiques, l'OMS a coordonné les travaux sur la relation entre la santé et les services apportés par les écosystèmes, et a réalisé un rapport de synthèse sur la santé.
- Les conventions de Rio : biodiversité, changements climatiques et désertification. L'OMS rend compte aux secrétariats de ces trois conventions sur ce qui concerne les conséquences pour la santé de la biodiversité, du changement climatique et de la désertification, contribuant ainsi à la cohérence des réponses aux diverses menaces venant du changement global. Lors de la 12<sup>e</sup> Conférence des parties à la convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC), l'OMS s'est engagée à contribuer au programme de travail sur les aspects scientifiques et techniques des conséquences du changement climatique, de l'adaptation et de la vulnérabilité.

Lors de la troisième conférence au niveau ministériel de l'OMS, les ministres européens sont convenus que les changements apportés par l'homme au système

climatique et à l'ozone stratosphérique apportent des risques graves pour la santé et constituent une menace potentielle pour le développement économique et social et la stabilité politique.

L'OMS a ainsi conduit de nombreuses études et réalisé de nombreuses publications sur les conséquences du changement climatique pour la santé, sur les risques auxquels pouvait se trouver confrontée la population, et sur les mesures d'adaptation à envisager. Une étude sur l'Europe a notamment été réalisée, avec le soutien de la Commission européenne, sous le titre *Climate change and adaptation strategies for human health* (cCASHh), qui a donné lieu à un ouvrage de synthèse très complet (Menne et Ebi, 2006).

### **Un projet d'adaptation dans le secteur de la santé pour les pays en développement**

Prenant acte de la réalité du changement climatique et des conséquences à craindre pour la santé humaine, l'OMS et le PNUE ont lancé, avec le soutien du Fonds de l'environnement mondial (FEM) un projet en vue de piloter l'adaptation nécessaire dans les pays en développement<sup>1</sup>. L'objectif est de mettre en œuvre un ensemble de stratégies, politiques et mesures réduisant la vulnérabilité à la variabilité climatique présente et au changement climatique à venir dans un ensemble de pays présentant différents risques sanitaires. Ce projet s'étendra sur quatre à six ans. Il s'adresse aux pays suivants :

- petits États insulaires en développement : Fidji et la Barbade ;
- pays ayant des plateaux en altitude : Bhutan et Kenya ;
- pays manquant de ressources en eau : Jordanie et Ouzbékistan ;
- pays présentant des vulnérabilités multiples : Chine.

Après une phase préparatoire d'identification des vulnérabilités et des politiques de santé susceptibles de les réduire, un certain nombre d'actions d'adaptation seront sélectionnées et mises en application. Par exemple : fora entre secteurs pour la prévention des catastrophes naturelles, tarification de l'eau, éducation à la santé, alerte précoce...

## **L'activité des ONG**

Les ONG environnementales ont depuis longtemps attiré l'attention sur les effets néfastes du changement climatique pour la santé humaine, notamment dans les pays en développement. Greenpeace a publié en 2006 sur son site internet un

1. <http://www.who.int/globalchange/climate/gefproject>

état des impacts du changement climatique en France reprenant les résultats obtenus dans le cadre du programme de recherche GICC du ministère de l'Écologie et du Développement durable, où figure un chapitre sur la santé.

Toutefois, les ONG environnementales ont été souvent réticentes sur l'adaptation, craignant que ceci ne démobilise les acteurs disposés à s'engager dans la lutte pour la réduction des émissions. « S'adapter, c'était jusqu'à récemment abdiquer dans la lutte contre l'effet de serre » (Sfez, 2005). Cette époque est désormais bel et bien révolue : rapport du Rac (Réseau action climat) en lien avec l'Onerc sur biodiversité et CC, rapport de Greenpeace sur les impacts, participation au Conseil d'orientation de l'Onerc...

La Croix-Rouge internationale et le Croissant rouge international ont ouvert dès 2003 un centre d'excellence sur le changement climatique<sup>1</sup> qui est basé aux Pays-Bas. Il est destiné à alimenter l'ensemble du mouvement, notamment dans les pays en développement. L'effectif est de six personnes.

## Quelques recherches en cours en France

En France même, les activités de recherches sur le lien changement climatique – santé sont très nombreuses et productives. Lacaux et Tourre (2006) présentent le programme de recherche GICC (Gestion et impacts du changement climatique) mis en place en 1999 par le ministère de l'Écologie et du Développement durable (MEDD). Il constitue le volet « impacts » du dispositif national de recherche sur le climat. Il propose des recherches finalisées dans le domaine des impacts et en particulier dans celui du changement climatique sur la santé. La première étude lancée en 2001 a porté sur la mortalité en France en fonction du contexte thermique avec une projection suivant les scénarios du Giec au XXI<sup>e</sup> siècle. Les résultats de l'équipe de Jean-Pierre Besancenot ont servi lors de la canicule 2003 à établir les critères du risque thermique sur les populations des régions françaises. La prévision pour la fin de ce siècle est le déplacement du maximum de mortalité de l'hiver à l'été. Un projet sur l'effet de la sécheresse au Sahel sur la borréliose à tiques et le paludisme a également été conduit. Trois autres projets sont actuellement en cours sur l'impact du changement climatique sur le choléra en Méditerranée, la dengue en Amérique du Sud et sur la thermorégulation des personnes à risque. Si le cadre transdisciplinaire nécessaire aux études climat-santé existe et fonctionne dans le programme GICC, les moyens financiers sont certainement à renforcer.

En dehors de ce programme multidisciplinaire, il convient de signaler toutes les études effectuées par les organismes spécialisés dans la santé : Institut Pasteur, IRD, Inserm, InVS, AFSSA... qui ont été évoquées dans les premières parties du présent rapport, et qui continuent de se développer.

1. <http://www.climatecentre.org>

## Conclusion

Ce bref tableau des activités internationales sur le lien entre changement climatique et santé montre que l'activité dans ce domaine est importante et en croissance rapide. De très nombreuses inconnues subsistent en matière de connaissance, dues à la complexité du sujet et du nombre important de facteurs intervenant dans la propagation des maladies. L'insuffisance des observations et de données fiables et accessibles semble être constatée partout et plaide pour un effort important dans ce domaine. Le développement des systèmes d'alerte est également très inégal. Ainsi, peu de pays, même européens, possèdent un système de remontée immédiate d'informations et de planification de l'urgence comparable à ce qui a été mis en place en France avec le plan canicule. Dans le cas des pays en développement, le changement climatique reste un facteur sans doute aujourd'hui encore peu significatif en comparaison d'autres facteurs de risque sanitaire, mais son influence ne pourra malheureusement que s'accroître.

Constatant plus généralement que les politiques d'adaptation demeurent peu développées, on ne peut que recommander à tout le moins de renforcer la vigilance et de travailler à des définitions plus précises des politiques possibles d'adaptation, en fonction notamment des spécificités locales.

## Le changement climatique : quelles conséquences sanitaires?

**Yves Coquin**, *Direction générale de la santé*

Le réchauffement déjà amorcé du climat terrestre est un phénomène désormais admis par tous (ou presque) et jugé – à juste titre – particulièrement inquiétant du fait de ses conséquences sur l'environnement. Il est donc logique que se pose la question de ses répercussions sur la santé de l'homme.

Disons d'emblée qu'il est très difficile ne serait-ce que d'esquisser une réponse à cette question, pour au moins trois raisons :

- le réchauffement climatique s'accompagnera d'autres phénomènes climatiques qui auront des conséquences propres ;
- l'impact sur la santé de l'homme résultera également de l'impact sur l'environnement et les différents biotopes qui reste encore très peu prévisible, avec des conséquences économiques encore mal évaluables ;
- le phénomène ne sera pas uniforme sur toute la surface de la planète et sa brutalité, ou au contraire son caractère progressif, est susceptible de modifier sensiblement son impact sanitaire.

Ajoutons, enfin, que le réchauffement climatique n'est qu'un des éléments qui entrent en ligne de compte pour modifier la morbidité (et la mortalité) humaine et ne fera que s'ajouter à d'autres facteurs liés au comportement humain (sociologiques, économiques...) qui la modifient déjà très sensiblement ; nous y reviendrons *in fine*.

### Les effets sanitaires directs

Après les observations de ces dernières années, on peut prévoir sans peine que la hausse des températures estivales, surtout si elle doit se faire par à-coups brutaux, s'accompagnera d'une augmentation de la mortalité pendant les mois d'été. Il est clair que le dispositif d'alerte et de mobilisation du tissu social ainsi que les aménagements des établissements accueillant des personnes âgées, qui constituent le « plan canicule », permettront d'épargner de nombreuses vies. Il n'en reste pas moins qu'en 2006 par exemple, malgré un bon fonctionnement de ce dispositif, la surmortalité n'a pas été négligeable quoique incomparablement plus faible qu'en 2003. La mortalité en pareil cas est liée au stress thermique ou à la décompensation irréversible de diverses défaillances viscérales favorisée par la chaleur.

À l'inverse, des hivers plus doux entraîneront une mortalité hivernale plus faible mais les deux phénomènes ne s'équilibreront sans doute pas et il y a fort à parier que la surmortalité estivale sera élevée en cas de températures extrêmes surtout si elles sont durables.

Le réchauffement devrait s'accompagner d'autres phénomènes climatiques extrêmes : tempêtes, cyclones, inondations, coulées de boues, incendies de forêts... qui provoqueront une mortalité d'autant plus élevée qu'ils seront plus violents et toucheront des zones peuplées. Ils auront inmanquablement pour effet d'aggraver les inégalités de santé tant il est vrai que ce seront les populations les plus démunies qui seront les plus touchées comme cela se vérifie à chaque événement de ce type.

### Les effets sanitaires indirects

L'accumulation de gaz à effet de serre et la réduction de la couche d'ozone (qui sont deux phénomènes distincts) s'accompagneront d'une augmentation de l'impact du rayonnement UV sur l'organisme, d'où une augmentation des cancers cutanés et des atteintes cristalliniennes (cataracte). L'augmentation des cancers cutanés est déjà nettement perceptible dans plusieurs pays (particulièrement en Australie où ce risque fait l'objet d'importantes mesures de santé publique pour sa prévention). La crainte est souvent avancée d'une influence néfaste des rayonnements UV sur le système immunitaire mais ce qui peut être observé sur certains modèles expérimentaux ne permet pas de conclure.

**L'interaction avec les diverses formes de pollutions doit également être envisagée sans qu'on puisse en tirer des perspectives claires. Cependant, il paraît probable que le réchauffement climatique agira sur l'environnement de manière synergique par rapport à l'impact des pollutions d'origine anthropique et il est permis de penser que c'est à cet impact conjugué que l'homme sera le plus sensible.**

Les modifications climatiques auront également un impact sur la végétation dont peut découler un effet aggravant pour certaines pathologies notamment respiratoires en cas d'extension importante de l'aire d'implantation de certaines espèces allergisantes (*Artemisia artemisiifolia* par exemple). Mais, le réchauffement aura surtout pour effet une désertification plus ou moins poussée de certaines zones avec un déficit plus ou moins prononcé des ressources en eau et un risque d'émergence d'infections entériques très souvent associées à la précarité des ressources en eau (typhoïde, choléra, salmonelloses...). Les régions du pourtour méditerranéen sont particulièrement menacées mais un pays comme la France n'est nullement à l'abri, ce d'autant que le nombre de captages abandonnés pour cause de pollution ne cesse d'augmenter (et que certaines pollutions dépassent les moyens actuels d'épuration).

Enfin, il est souvent dit que le réchauffement climatique provoquera une extension de certaines maladies à transmission vectorielle et le paludisme est souvent évoqué comme une menace majeure à cet égard. Il est vrai que le paludisme, qui sévit en zone intertropicale, est en pleine expansion, bien que le réchauffement pour ces trente dernières années soit inférieur à 1 °C dans l'ensemble de cette zone du globe. Si, dans certains pays (Kenya par exemple), l'évolution climatique semble bien être à l'origine de l'augmentation de l'incidence du paludisme, dans d'autres (Ouganda) d'autres facteurs semblent prépondérants (déforestation, concentration de populations) et on notera que, dans un pays comme le Sénégal, l'incidence a notablement décru en raison de la sécheresse. Néanmoins, il n'est pas contestable que, toutes choses égales par ailleurs, une élévation de la température raccourcit le développement du parasite chez le moustique (ce qui a pour effet d'augmenter la population de moustiques infectante) et favorise une extension en altitude de la diffusion du moustique. Il est donc très probable que la population humaine exposée continuera de croître dans les décennies à venir.

Faut-il pour autant redouter que le paludisme ne s'installe à nouveau en Europe d'où il a disparu depuis le début des années soixante-dix (1972 en Corse et 1974 en Grèce) ? Certes, depuis cette date, on signale régulièrement en Europe des cas de paludisme autochtone essentiellement au voisinage des aéroports internationaux et il ne faut pas oublier qu'il persiste, en Corse notamment, des espèces d'anophèles qui pourraient lui servir de vecteurs. Cette éventualité est cependant très peu probable : d'une part, il est prévu que le réchauffement climatique provoque des étés plus secs en Europe et, d'autre part, les systèmes de surveillance devraient permettre d'identifier précocement la survenue de tels cas et d'y remédier pour prévenir toute nouvelle implantation<sup>1</sup>.

Ce qui apparaît vraisemblable pour le paludisme l'est peut-être encore davantage pour la dengue qui est aussi une maladie en forte expansion. À cet égard, il faut souligner le fait qu'un vecteur potentiel (*Aedes albopictus*) a envahi l'Italie septentrionale et est désormais implanté dans la partie Est du littoral méditerranéen côté français (Menton et alentour). D'autres viroses peuvent voir leur aire géographique s'étendre à l'occasion du réchauffement climatique, en particulier le virus West Nile<sup>2</sup> dont on connaît l'implantation explosive aux USA depuis 1999 et la présence, pour l'instant discrète, dans plusieurs départements du sud-est de la France. Concernant les autres viroses, toute conjecture serait très hasardeuse car nécessitant de prendre en compte l'évolution du réservoir animal.

Le réchauffement climatique risque également d'avoir un effet sur certains vecteurs qui ne résistaient pas habituellement aux rigueurs de l'hiver. Cet effet

1. Ainsi, par exemple, en septembre 2006, un cas de paludisme autochtone (à *Pl. vivax*) a été déclaré en Corse près de Porto. Ce cas était, selon toute vraisemblance, dû à la transmission par un anophèle local du parasite d'un cas de paludisme importé de Madagascar qui s'était déclaré quelques semaines auparavant. La surveillance humaine doublée d'une surveillance entomologique a permis que cette transmission reste isolée grâce à des traitements péridomestiques renforcés.

2. Et peut-être le virus de la fièvre jaune.

semble déjà perceptible sur certaines espèces de tiques comme celles qui sont responsables de la transmission de la maladie de Lyme dont l'aire géographique s'étend largement depuis plusieurs années en remontant vers le Nord, avec une incidence qui ne cesse d'augmenter en France.

Telles sont schématiquement les conséquences sanitaires raisonnablement prévisibles du réchauffement climatique dans notre pays sur une période d'une trentaine d'années. Il faut toutefois observer que nous connaissons depuis plusieurs années des alertes épidémiques d'envergure (SRAS, implantation et diffusion du virus West Nile aux USA, grippe aviaire, chikungunya) à l'origine desquelles des facteurs proprement humains comme l'intensification des échanges commerciaux et les voyages aériens jouent un rôle considérable au regard duquel le changement climatique constituera un facteur majorant mais qui ne sera peut-être pas décisif. De notre point de vue, le phénomène de la mondialisation a davantage contribué à modifier sensiblement l'épidémiologie de diverses maladies que ne le fera sans doute le changement climatique déjà engagé (du moins à court ou moyen terme). Cependant, ces perspectives engagent à renforcer la surveillance épidémiologique en France, non seulement la surveillance des maladies humaines, mais également la surveillance entomologique et animale<sup>1</sup>. À cet égard, il convient de souligner que la France met en place, en 2007, un centre de recherche et de veille des maladies émergentes dans l'océan Indien qui sera installé à La Réunion.

1. L'Agence française de sécurité sanitaire des aliments a produit un rapport en 2005, à la demande du ministère de l'Agriculture, relatif à l'impact du réchauffement climatique sur l'apparition et le développement de maladies animales (AFSSA, 2005). Cet intéressant rapport auquel il est conseillé de se reporter est accessible sur le site : [www.afssa.fr/ftp/afssa/basedoc/Rapport%20réchauffement%20climatique.pdf](http://www.afssa.fr/ftp/afssa/basedoc/Rapport%20réchauffement%20climatique.pdf)

# Conclusions et recommandations

Plusieurs événements récents ont montré ce que pouvait coûter en termes de vies humaines et de dommages économiques une préparation insuffisante face aux menaces sanitaires.

Tout d'abord, la canicule de l'année 2003 a représenté un drame sans précédent, totalement imprévu par les autorités. Si les effets de la canicule de l'été 2006, un peu moins intense, ont pu être réduits en France, c'est sans aucun doute grâce à la mise en œuvre du plan canicule.

Dans un autre domaine, celui des tempêtes, les conséquences de l'ouragan Katrina qui a dévasté la Louisiane en 2005 ont montré que le manque de préparation et d'organisation consécutif aux mesures à prendre après une telle catastrophe pouvait avoir des conséquences dramatiques. Au-delà des dommages directement causés par la fureur même des éléments, la dégradation de l'eau et les coupures d'approvisionnement sont également des causes de maladies et de décès.

En troisième lieu, des observations simples montrent que les évolutions de température, de pluviométrie et de l'environnement en général peuvent favoriser l'extension de certains insectes (moustiques, phlébotomes...) ou autres arthropodes transportant des maladies parfois pourtant bien connues et combattues avec succès dans le passé, comme le paludisme ou la dengue. L'épidémie de chikungunya, en 2005 à La Réunion, nous a rappelé cruellement que les maladies infectieuses demeurent un danger permanent.

Le changement climatique est enfin susceptible de favoriser et d'interagir avec la pollution de l'air, qu'elle soit d'origine humaine ou liée aux pollens.

## L'observation et la recherche

Devant ces menaces de précision et de certitude variées, la première nécessité est de toute évidence de renforcer la recherche et l'observation systématique sur les affections liées au climat, d'en informer la population dans le cadre d'une vigilance accrue et de développer chez celle-ci la culture de la prévention. Afin d'améliorer la surveillance, tout en apportant de nouvelles informations à la recherche, il convient tout d'abord de **garantir la pérennité des réseaux d'observation portant sur les maladies les plus menaçantes**. Cependant, dans le domaine du vivant il est en général difficile d'identifier les éléments pertinents, et une veille plus différenciée est nécessaire (par exemple ramassage des animaux morts) ; une telle veille différenciée, même moins quantitative, peut permettre de détecter des faits sortant de l'ordinaire et d'alerter. Par exemple, il a

été recommandé d'améliorer la collecte de données relatives à l'ornithologie et aux migrations des oiseaux en lien avec la santé. L'utilisation de produits d'observation satellitaire peut également être très utile pour les maladies ayant un couplage avec l'environnement et le climat. Il convient donc également sur de nombreux aspects d'étendre les réseaux d'observation.

La bonne utilisation des informations produites par ces réseaux d'observation exige de mettre en place des **bases de données multidisciplinaires sur « climat et santé »**, d'accès libre et gratuit. L'expérience de Météo-France en matière de bases de données et d'observation serait particulièrement utile pour de tels développements.

En ce qui concerne la recherche elle-même, il est recommandé de développer les investigations sur les **relations entre climat, vecteurs et virus**, et notamment sur la diffusion d'arboviroses, comme la maladie du Nil occidental sur le continent, et les fièvres dengue et chikungunya outre-mer. De la même manière, il conviendra d'accroître la recherche sur le climat et les **événements extrêmes** en tant que facteurs déclenchant des maladies vasculaires, respiratoires et des pollinoses (liens directs).

Il importe également de mieux comprendre les effets sur la santé des combinaisons entre les conditions climatiques et la pollution, en y incluant l'accroissement probable de l'ozone et des pollens.

Ces recherches exigeront des **modèles de simulation du climat plus précis** et plus adaptés aux besoins aux échelles régionale et locale. Elles devraient s'accompagner d'évaluations et de quantifications de la vulnérabilité des populations et des impacts socio-économiques et d'une réflexion sur les stratégies d'adaptation.

Plus spécifiquement, il a également été proposé de mettre en place une convention de veille multi-organismes sur les stress thermiques, canicules et vagues de froid. À ce sujet, il est constaté que la population française est déjà imparfaitement adaptée au climat actuel et que le changement climatique ne mettra pas fin à la mortalité due aux vagues de froid sur laquelle personne ne se penche actuellement.

Il est également essentiel dans ce domaine de l'observation et de la recherche de développer les échanges d'informations et les partenariats avec les pays voisins, notamment en ce qui concerne les départements et territoires d'outre-mer.

## La prévention

Des progrès importants ont été réalisés récemment en France sur la **gestion des crises**, notamment avec le plan canicule et les diverses mesures prises sur les maladies émergentes. Il est cependant nécessaire maintenant d'aller plus loin, en développant une véritable culture de la **gestion des risques**. En complément des mesures pour la veille et la réponse en urgence, **une réflexion doit**

**être conduite sur les aspects plus structurels de la prévention**, touchant notamment aux modes de vie, à l'urbanisme et au bâtiment.

Il est essentiel pour cela de faciliter la **diffusion de l'information vers le public** par l'éducation et la formation multidisciplinaires. L'éducation à la prévention des risques à l'école peut se faire par des messages simples inclus dans les programmes scolaires, comme cela se fait par exemple à La Réunion depuis l'épidémie de chikungunya pour la lutte larvaire.

Il est également nécessaire de mieux informer en amont les parties prenantes, mais aussi les décideurs politiques, sur les avantages apportés par le développement des systèmes de surveillance et d'alerte. Des actions devraient être entreprises pour susciter l'intérêt des décideurs sur ces questions.

Enfin, il est essentiel de s'assurer du principe du « grand voisinage » et de réaliser l'interconnexion des services de veille et de surveillance entre pays voisins.





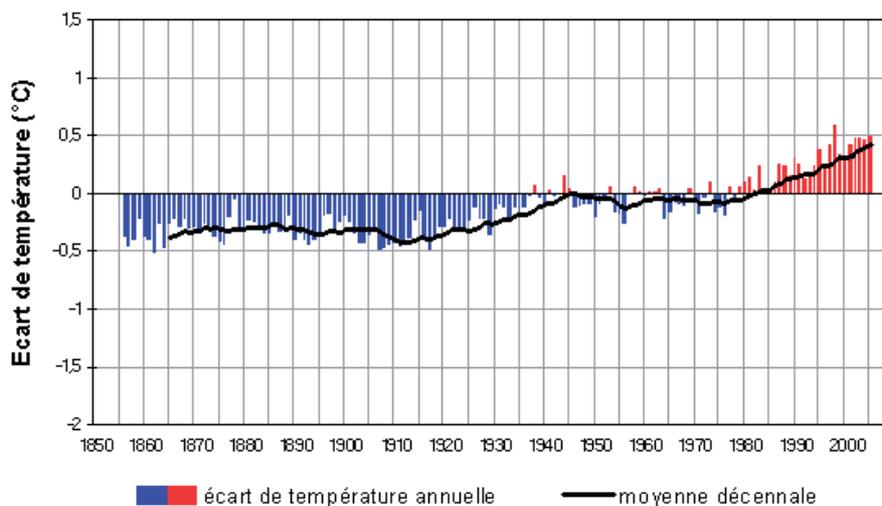
# ANNEXES



## ANNEXE I. LES INDICATEURS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE EN FRANCE

### Indicateur : températures moyennes

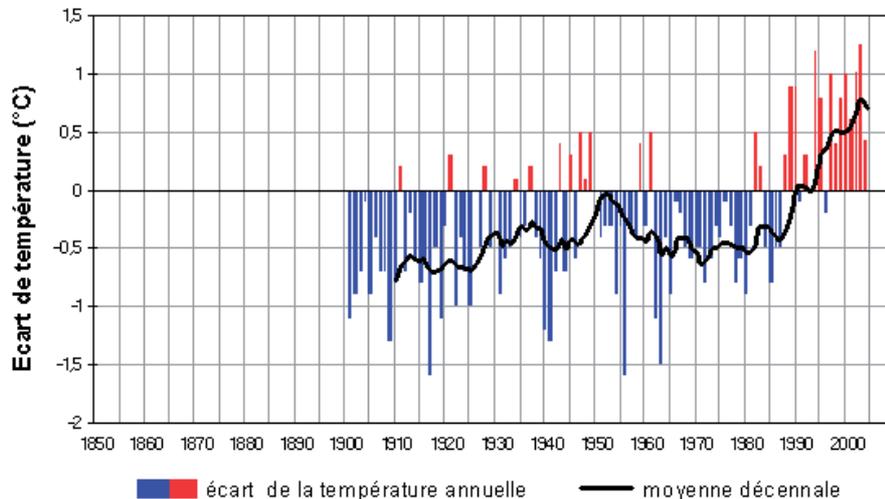
#### Évolution des températures moyennes mondiales de 1856 à 2005



Source : Climate Research Unit (CRU).

L'évolution de la température moyenne annuelle mondiale est représentée sous forme d'écart à la moyenne sur la période de référence 1961-1990. Le réchauffement de la température moyenne mondiale est très net : écart fortement négatif jusqu'en 1940, écart ensuite le plus souvent négatif jusque vers 1980, puis réchauffement net, l'écart est presque systématiquement positif depuis le début des années quatre-vingt. L'année la plus chaude de la série est 1998, avec une température supérieure de 0,58 °C à la moyenne 1961-1990. L'année 2005 arrive au 2<sup>e</sup> rang des années les plus chaudes après 1998, avec une température supérieure de 0,48 °C à la moyenne 1961-1990. Huit des dix années les plus chaudes de la série sont situées sur les 10 dernières années (1996-2005).

**Évolution des températures moyennes en France métropolitaine depuis 1901**



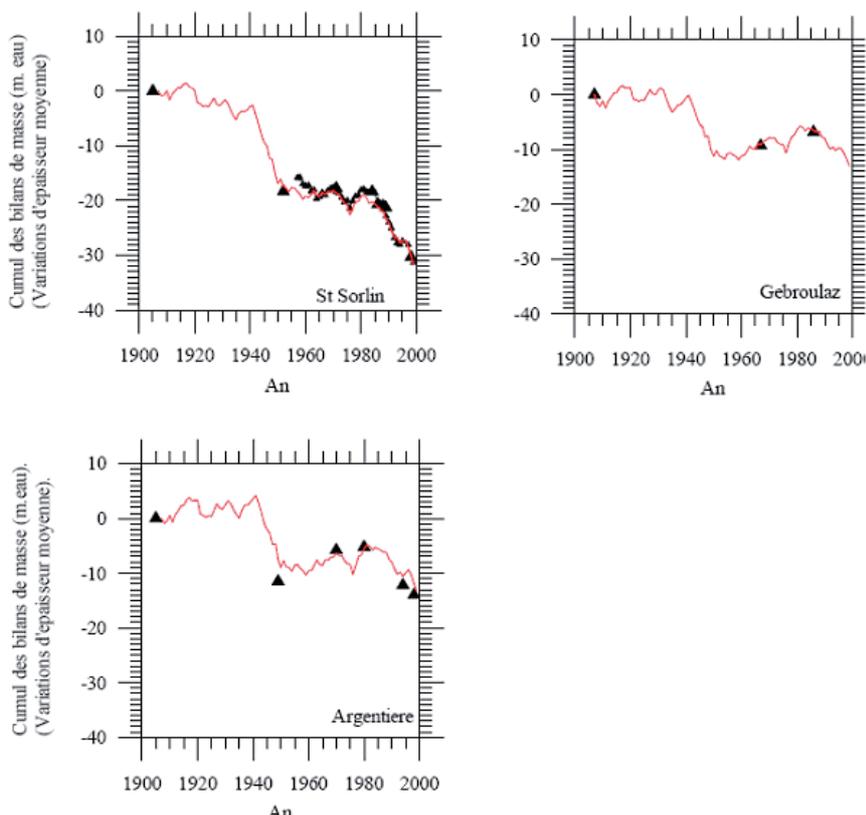
Source : Météo-France.

L'évolution de la température moyenne annuelle sur la France métropolitaine est représentée sous forme d'écart à la moyenne de 1971 à 2000. On retrouve les mêmes caractéristiques que pour l'évolution à l'échelle mondiale : le réchauffement des températures moyennes est très net. L'année 2003 est l'année la plus chaude de la série. Sur la dernière décennie, on trouve sept des dix années les plus chaudes. Jusqu'au milieu des années quatre-vingt, l'écart est le plus souvent négatif : la température moyenne annuelle est le plus souvent inférieure à la moyenne de la période 1971-2000. À partir de la fin des années quatre-vingt, les températures moyennes augmentent rapidement et l'écart est presque systématiquement positif.

**Retrouver l'ensemble de l'indicateur sur : <http://www.onerc.gouv.fr/>**

## Indicateur : bilans de masse des glaciers tempérés français

### Bilans de masse cumulés de trois glaciers des Alpes françaises depuis 1900



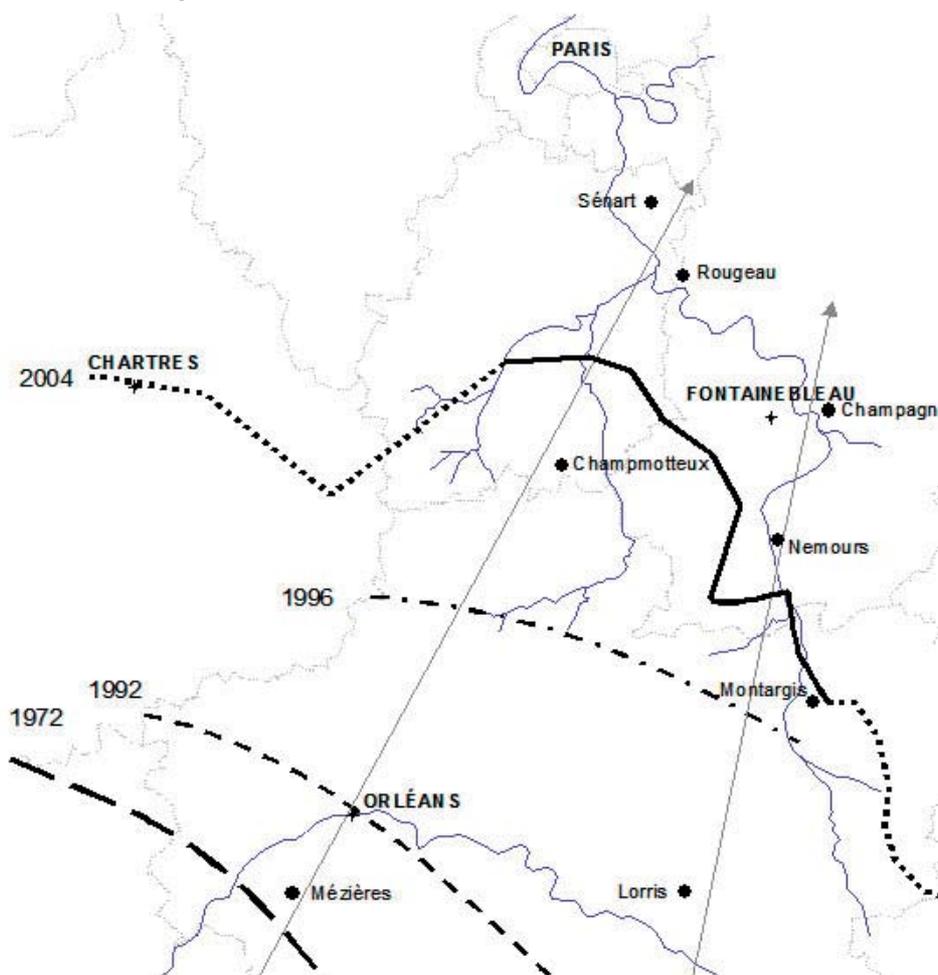
Source : LGGE.

Sur cette figure, sont reportés les bilans de masse cumulés de différents glaciers par les observations directes de terrain et les observations cartographiques. Ces observations montrent que la diminution des glaciers n'est pas du tout uniforme au cours du XX<sup>e</sup> siècle; deux périodes de fortes décroissances caractérisent ce siècle : 1942-1953 et 1982-2000. La forte décrue de la décennie quarante est la conséquence d'hivers peu enneigés et d'étés très chauds. La forte perte de masse des glaciers enregistrée depuis 1982 est également le résultat d'une augmentation très importante de la fusion estivale. Ces deux périodes de décrue ont été précédées par des périodes au cours desquelles les glaciers alpins ont peu perdu de volume ou même en ont gagné : entre 1954 et 1981, les glaciers ont grossi suite à une série d'été frais puis d'hivers bien arrosés à partir de 1977. Cette crue s'est répercutée sur les fronts des glaciers : le front du glacier d'Argentière par exemple a avancé (avec un temps de retard) de près de 400 mètres entre 1970 et 1990.

Retrouver l'ensemble de l'indicateur sur : <http://www.onerc.gouv.fr/>

## Indicateur : front d'expansion de la chenille processionnaire du pin

Évolution du front d'expansion de la chenille processionnaire du pin dans le Bassin parisien entre 1972 et 2004



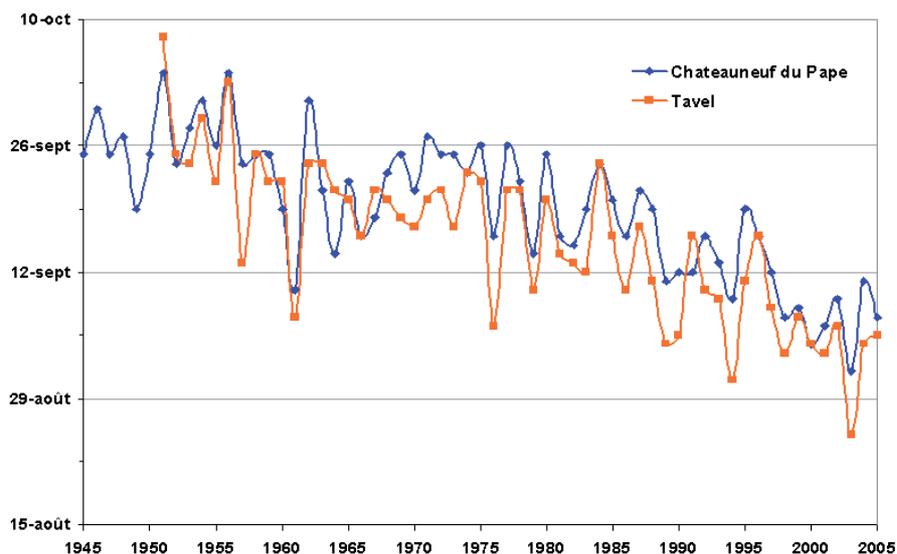
Source : Inra – Orléans

Le front d'expansion de la chenille processionnaire dans le sud du Bassin parisien s'est déplacé en moyenne de 87 km vers le nord entre 1972 et 2004 en parallèle à une augmentation moyenne de la température hivernale de 1,1 °C dans la même zone. La progression qui était relativement limitée entre 1972 et 1992 avec un rythme de 2,7 km/an, s'est notablement accélérée ensuite, avec un déplacement moyen de 5,5 km/an durant les dix dernières années.

Retrouver l'ensemble de l'indicateur sur : <http://www.onerc.gouv.fr/>

## Indicateur : dates de vendanges en Côtes-du-Rhône méridionales

### Dates de vendanges en Côtes-du-Rhône méridionales (appellations Châteauneuf du Pape et Tavel)



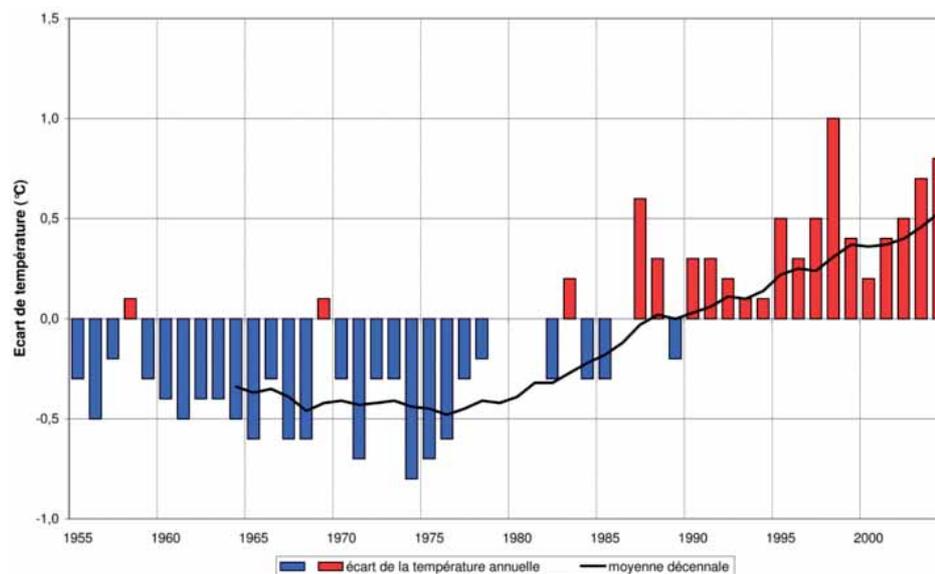
Sources : Syndicat intercommunal de l'appellation Châteauneuf du Pape – Château d'Aqueria.

Le graphique présente l'évolution des dates de début de vendanges pour l'appellation d'origine contrôlée Tavel sur la période 1951 à 2005 et pour l'appellation d'origine contrôlée Châteauneuf du Pape sur la période 1945 à 2005. On remarquera qu'en l'espace de cinquante ans, et quelle que soit l'appellation, les vendanges ont avancé de trois semaines et que ce phénomène s'intensifie depuis le début des années quatre-vingt-dix.

Retrouver l'ensemble de l'indicateur sur : <http://www.onerc.gouv.fr/>

## Indicateur : températures en Guyane

### Évolution de la température moyenne en Guyane sur la période 1955-2004



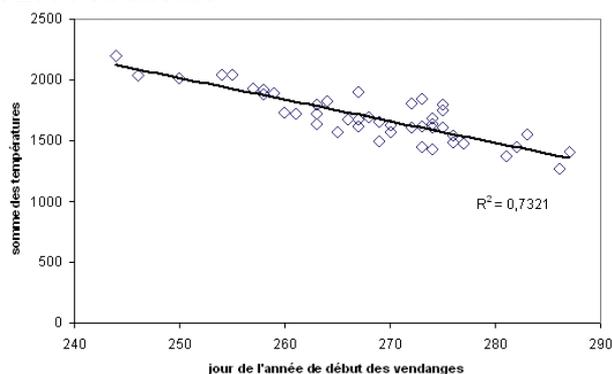
Source : Météo-France.

L'évolution de la température moyenne en Guyane est analysée à partir des séries homogénéisées disponibles sur la période 1955-2004 : Matoury (aéroport de Cayenne), Saint-Georges, Saint-Laurent-du-Maroni et Maripasoula. Le graphe présente l'évolution de la température moyenne annuelle sous forme d'écart à la moyenne des années 1971-2000. Les fluctuations observées attestent à la fois du changement climatique et de la variabilité climatique naturelle. La température moyenne annuelle est en hausse. L'augmentation est de l'ordre de 0,23 degrés par décennie sur la période 1955-2004. Le réchauffement s'accélère sur les dernières décennies. L'augmentation de la température moyenne annuelle atteint 0,35 degrés par décennie sur la période 1976-2000. Ces résultats sont en accord avec les résultats du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (IPCC, 2001a). Ce réchauffement est moindre qu'en métropole où la hausse des températures moyennes annuelles atteint 0,6 degrés par décennie sur cette même période 1976-2000.

Retrouver l'ensemble de l'indicateur sur : <http://www.onerc.gouv.fr/>

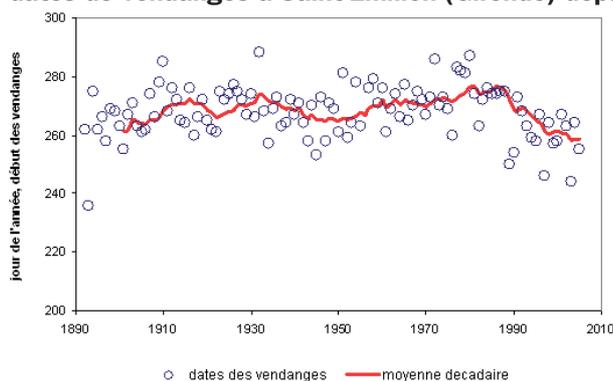
## Indicateur : dates de vendanges à Saint-Émilion (Gironde, France)

Corrélation entre la date de début des vendanges et la somme des températures moyennes journalières (> 10 °C) enregistrées entre 1960 et 2005 en Gironde



Source : Inra, Bordeaux.

## Évolution des dates de vendanges à Saint-Émilion (Gironde) depuis 1892



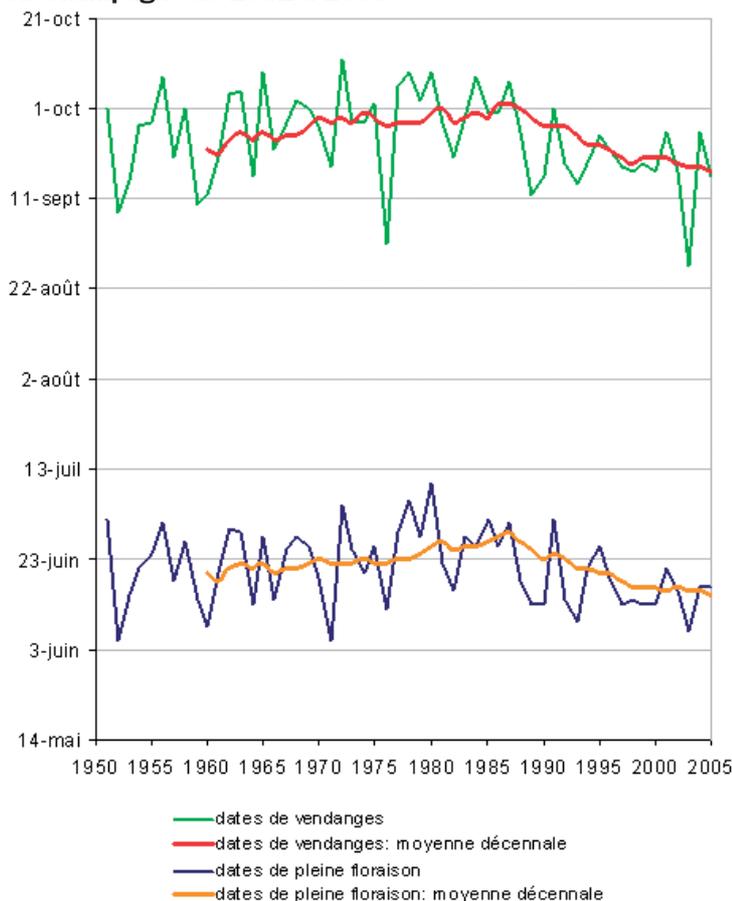
Source : Inra, Bordeaux.

Les dates de début des vendanges sont corrélées au climat thermique de l'année exprimé en somme de températures moyennes supérieures à 10 °C. Les variations interannuelles des dates de vendanges sont importantes et la température n'est pas la seule variable explicative. Si on trace la date moyenne décennale de début de vendange, on observe que pendant la majorité du XX<sup>e</sup> siècle les dates des vendanges fluctuent autour du 270<sup>e</sup> jour de l'année (26 septembre). Une tendance nette et continue à la précocité des vendanges débute en 1988 pour atteindre le 259<sup>e</sup> jour de l'année (15 septembre). Ces dates moyennes n'ont jamais été atteintes au cours de la période considérée. Cette précocité fait suite à une période de vendanges relativement tardives entre 1973 et 1988. Des périodes de vendanges précoces sont observées au début du XX<sup>e</sup> siècle (jour 261), au début des années vingt et des années quarante (jour 265).

Retrouver l'ensemble de l'indicateur sur : <http://www.onerc.gouv.fr/>

## Indicateur : dates de floraison et dates de vendanges en Champagne

### Évolution des dates de vendanges et des dates de floraison de la vigne en Champagne de 1951 à 2005



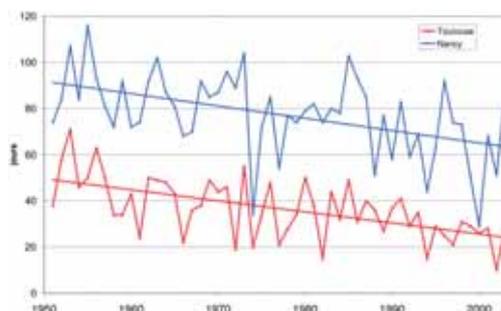
Source : Comité interprofessionnel du vin de Champagne.

L'évolution des dates de pleine floraison et de vendanges est une illustration régionale de changements manifestes du climat. Depuis 1987, ces deux stades gagnent en précocité. C'est ainsi qu'aujourd'hui, en Champagne, les vendanges ont lieu deux semaines plus tôt qu'il y a vingt ans (cf. moyennes décennales). Au cours de cette période, les rendements agronomiques observés n'ont pas diminué, au contraire, tandis que la maturité moyenne à la vendange a gagné 0,8 % vol. d'alcool probable, à la faveur d'une maturation décalée sur des journées plus longues, plus chaudes, et des teneurs en CO<sub>2</sub> atmosphérique probablement plus élevées, améliorant l'efficacité de la photosynthèse. Toutefois, le cycle fructifère floraison-vendange est très stable, autour de 96 jours. Seules deux années ont vu ce cycle particulièrement raccourci, 1976 et 2003, en raison d'une canicule prolongée.

Retrouver l'ensemble de l'indicateur sur : <http://www.onerc.gouv.fr/>

## Indicateur : nombre de jours de gel

### Évolution du nombre annuel de jours de gel à Nancy et Toulouse depuis 1951



Source : Météo-France.

Les courbes représentent l'évolution du nombre annuel de jours de gel sur deux stations françaises au climat différent : en rouge, à Toulouse et en bleu, à Nancy. Les droites correspondent à la tendance linéaire sur la période 1951-2003. On constate que Toulouse enregistre moins de jours de gel que Nancy, où l'influence continentale est plus marquée. Le nombre de jours de gel présente de fortes variations d'une année sur l'autre mais, en moyenne, il diminue à Nancy et à Toulouse. La diminution est de l'ordre de cinq jours tous les dix ans sur chacune de ces deux stations.

### Évolution du nombre de jours de gel en France métropolitaine sur la période 1951-2000

Source : Météo-France.

Les flèches présentes sur cette carte caractérisent l'évolution du nombre annuel de jours de gel sur chacune des 26 stations représentées pour la période 1951-2000. Quelle que soit la station, le nombre de jours de gel diminue (flèche vers le bas). Des tests statistiques permettent d'établir si l'évolution est significative ou pas, c'est-à-dire si cette évolution se distingue de la variabilité d'une année sur l'autre (flèche verticale) ou pas (flèche inclinée). La carte indique que dans la majorité des stations (neuf sur dix), la diminution du nombre de jours de gel est significative.



Retrouver l'ensemble de l'indicateur sur : <http://www.onerc.gouv.fr/>

### Indicateur : nombre de journées estivales

(une journée est définie comme « estivale » si la température a dépassé 25° C)

#### Évolution du nombre annuel de journées estivales en France métropolitaine sur la période 1951-2003

Source : Météo-France.

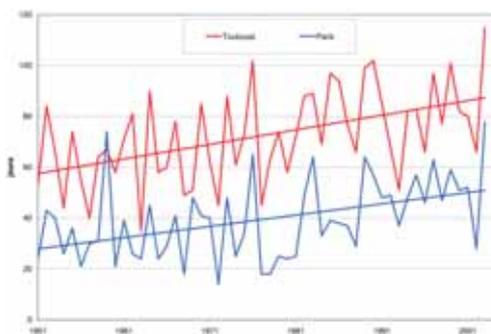
Les flèches présentes sur cette carte caractérisent l'évolution du nombre annuel de journées estivales sur chacune des 43 stations représentées et sur la période 1951-2003. Quelle que soit la station, le nombre de journées estivales augmente (flèche vers le haut). Des tests statistiques permettent d'établir si l'évolution est significative ou pas, c'est-à-dire si cette évolution se distingue de la variabilité d'une année sur l'autre (flèche verticale) ou pas (flèche inclinée). La carte indique que dans la majorité des stations (neuf stations sur dix), l'augmentation du nombre de journées estivales est significative.



#### Évolution du nombre annuel de journées estivales à Toulouse et Paris depuis 1951

Source : Météo-France.

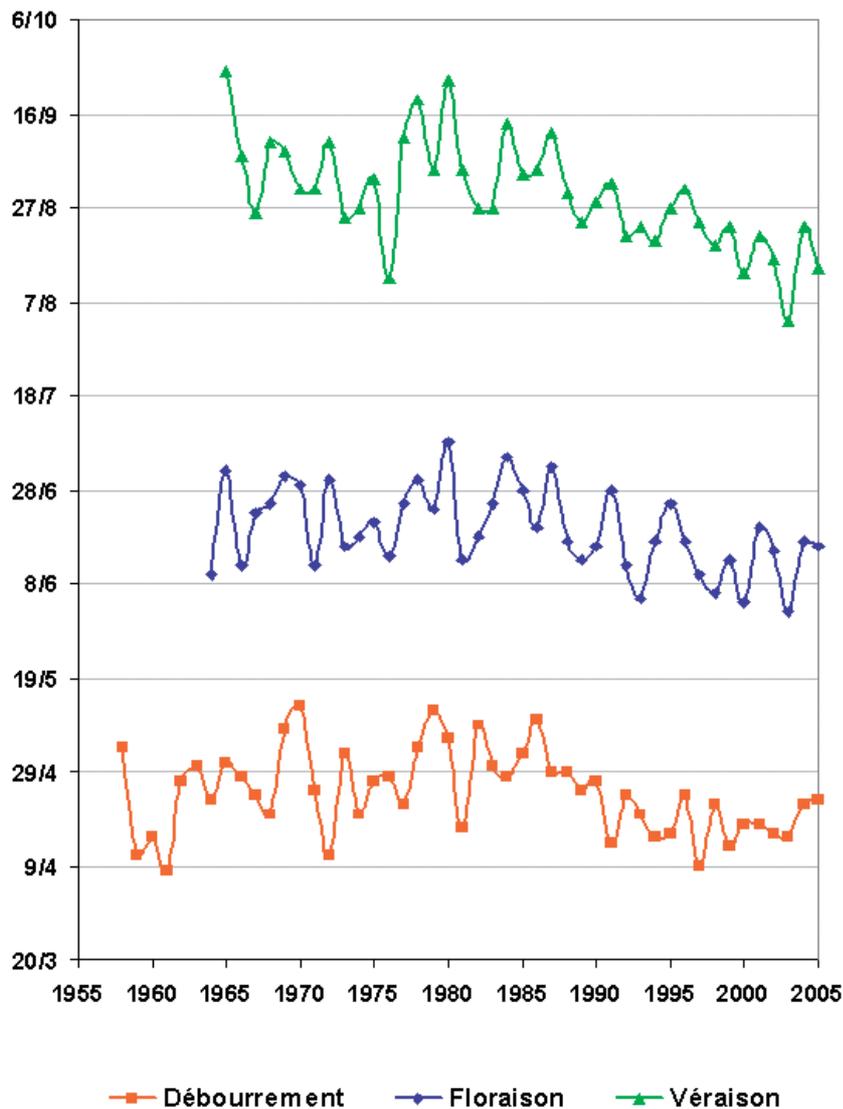
Les courbes représentent l'évolution du nombre annuel de journées estivales sur deux stations françaises au climat différent : en rouge à Toulouse et en bleu à Paris. Les droites correspondent à la tendance linéaire sur la période 1951-2003. On constate que Toulouse enregistre davantage de journées estivales que Paris. Le nombre de journées estivales présente de fortes variations d'une année sur l'autre mais, en moyenne, il augmente à Paris et à Toulouse. L'augmentation est de l'ordre de quatre jours tous les dix ans à Paris et de plus de cinq jours tous les dix ans à Toulouse. Cet indicateur permet également d'identifier le caractère exceptionnel de l'été 2003. L'année 2003 correspond au record du nombre de journées estivales sur la période 1951-2003 pour ces deux stations : 115 journées estivales à Toulouse et 78 à Paris. L'année 1976 ressort également nettement sur le graphique avec 102 journées estivales à Toulouse et 65 à Paris.



Retrouver l'ensemble de l'indicateur sur : <http://www.onerc.gouv.fr/>

## Indicateur : stades de développement de la vigne en Alsace

### Stades de développement de la vigne en Alsace (cépage Riesling)



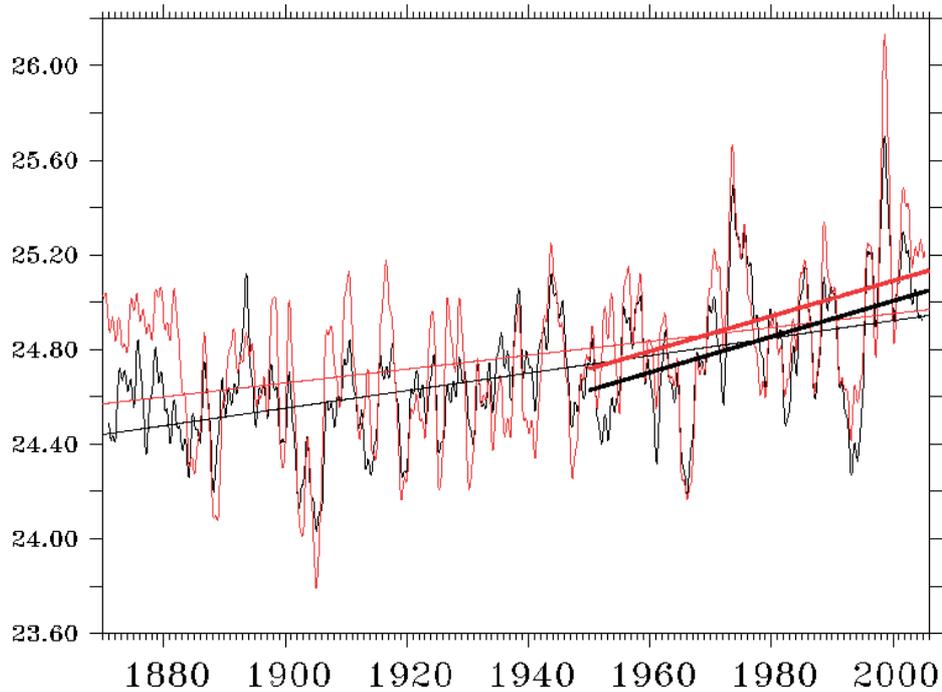
Source : Inra, Colmar.

Les dates des principaux stades de développement de la vigne en Alsace n'ont pas évolué de manière significative jusqu'au début des années quatre-vingt. Depuis cette période, les dates de débourrement et de floraison ont avancé d'environ quinze jours, celles de véraison d'environ vingt-trois jours.

Retrouver l'ensemble de l'indicateur sur : <http://www.onerc.gouv.fr/>

## Indicateur : températures de surface de la mer dans les DOM-TOM

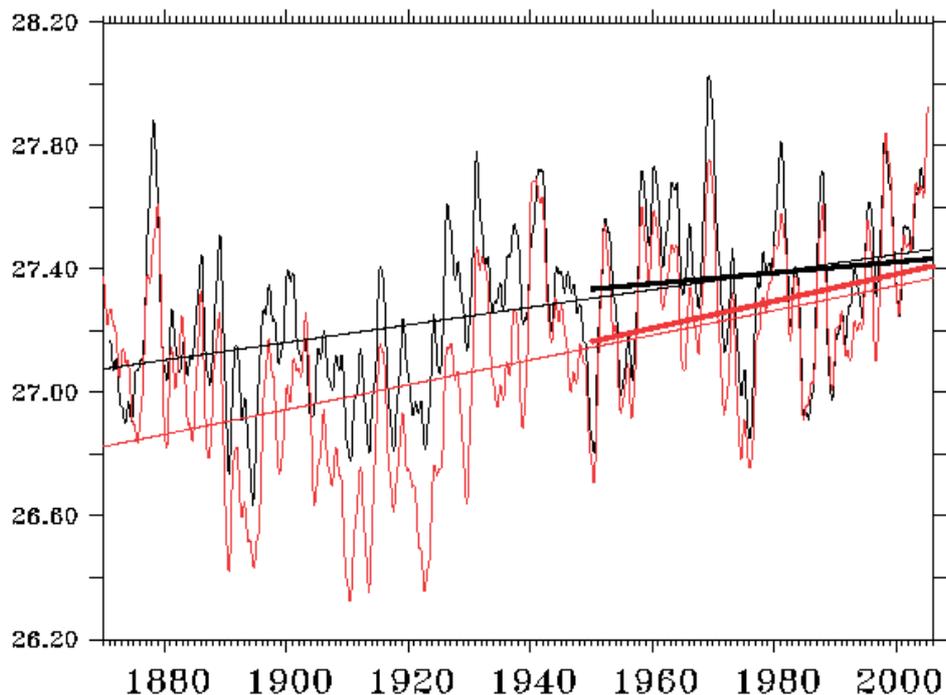
Variations de la température de surface en moyenne mensuelle, filtrée par un filtre de Hanning, sur 25 mois sur les carrés de 2° de longitude par 2° de latitude centrés sur la Nouvelle-Calédonie



Source : Hadley Center Sea Ice, SST Data and Extended Reconstructed SST.

L'évolution de la température de surface en Nouvelle-Calédonie est relativement représentative de l'évolution régionale dans le Pacifique tropical sud-ouest. Le réchauffement des températures est très net avec une augmentation prononcée aux cours des dernières décennies. Les années les plus chaudes depuis 1970 correspondent aux événements La Niña de 1974-1975, 1985, 1988, 1996, 1998 et 2002.

**Variations de la température de surface en moyenne mensuelle, filtrée par un filtre de Hanning sur 25 mois sur les carrés de 2° de longitude par 2° de latitude centrés sur Saint-Barthélemy**



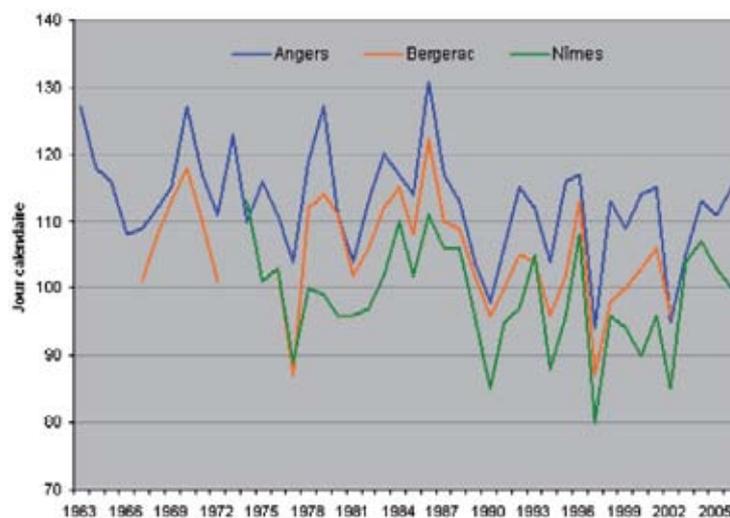
Source : Hadley Center Sea Ice, SST Data and Extended Reconstructed SST.

L'évolution de la température de surface à Saint-Barthélemy est relativement représentative de l'évolution régionale dans la mer des Antilles. Le réchauffement des températures est net avec des différences peu marquées entre la tendance à long terme (1870-2005) et celle des dernières décennies. On trouve cependant les quatre années les plus chaudes après 1960.

**Retrouver l'ensemble de l'indicateur sur : <http://www.onerc.gouv.fr/>**

## Indicateur : dates de stades de floraison d'arbres fruitiers

### Évolution du début de floraison du pommier « Golden Delicious » (stade F1) dans trois sites représentatifs de son aire de production en France



Source : Inra, Montpellier.

En dépit de fluctuations annuelles courantes, ces trois séries chronologiques présentent des évolutions assez similaires vers plus de précocité de la floraison. Ces données concernant le pommier sont représentatives de l'évolution observée pour les principales autres espèces fruitières cultivées dans les principaux bassins de production français (Domergue et coll., 2004). Des analyses statistiques de telles courbes conduisent à considérer que l'avancée de floraison des arbres fruitiers actuellement observée se serait produite sous forme de « rupture », et non de façon progressive, à la fin des années quatre-vingt, précisément à l'époque où le réchauffement global s'est nettement accentué en France. Des observations similaires ont été faites dans des pays voisins (Allemagne notamment). Dans le cas du pommier « Golden Delicious », on estime l'avancée moyenne de floraison à une semaine. Cette avancée, considérée donc comme un impact du réchauffement, est expliquée par une accentuation particulièrement marquée des températures dans la phase où les bourgeons à fleurs satisfont des besoins en chaleur pour atteindre le stade de floraison (janvier, février, mars, avril). Dans l'avenir, l'évolution phénologique dépendra du niveau d'accentuation des températures mais aussi de la répartition de cette accentuation au cours des saisons. En particulier un réchauffement plus marqué au cours des automnes (octobre, novembre, décembre), à l'image des conditions de l'automne 2006, retarderait significativement la satisfaction des besoins en froid des bourgeons, processus qui intervient de façon obligatoire (levée de dormance) avant celle des besoins en chaleur. Dans cette hypothèse de deux effets significatifs opposés du réchauffement climatique, l'impact sur l'évolution phénologique devrait s'exprimer de façon différente.

Retrouver l'ensemble de l'indicateur sur : <http://www.onerc.gouv.fr/>

## ANNEXE 2. BIBLIOGRAPHIE

Alexandre S., B. Gagnon, G. Andrew, B. Bush, and K.E. Smoyer-Tomic, 2001 : « Dengue epidemics and the El Niño Southern Oscillation », *Clim. Res.*, 19 : 35-43.

Anonyme, 2003 : « Nouveau dispositif de notification anonymisée des maladies infectieuses à déclaration obligatoire », circulaire du 10 février 2003, *Bull. Épidemiol. Hebd.*, 12-13, 69-76.

AFSSA, 2005 : *Rapport sur l'évaluation du risque d'apparition et de développement de maladies animales compte tenu d'un éventuel réchauffement climatique*, Maisons-Alfort, p. 89, voir aussi [www.afssa.fr](http://www.afssa.fr).

Beaudeau P., J.-P. Besancenot, C. Caserio-Schönemann, J.-C. Cohen, D. Dejour-Salamanca, P. Empereur-Bissonnet, Y. Ernie, D. Ilef, K. Laaidi, M. Ledrans, A. Le Tertre, S. Medina, M. Pascal, et C. Lecoffre, 2004 : *Froid et santé. Éléments de synthèse bibliographique et perspectives*, Saint-Maurice : InVS, p. 48.

Beck M.A., Q. Shi, V. C. Morris, and O.A. Levander, 1995 : « Rapid genomic evolution of a non-virulent coxsackievirus B3 in selenium deficient mice results in selection of identical virulent isolates », *Nature Med.*, 1 : 433-6.

Bell M.L., D.L. Davis, and T. Fletcher, 2004 : « A retrospective assessment of mortality from the London smog episode of 1952 », *Environ. Health Perspect.*, 112 (1) : 6-8.

Belpomme D., 2007 : *Avant qu'il ne soit trop tard*, Fayard, Paris.

Besancenot J.-P., 2002 : « Vagues de chaleur et mortalité dans les grandes agglomérations urbaines », *Environnement, Risques et Santé*, 1 (4) : 229-240.

Besancenot J.-P., 2004 : *La mortalité selon le contexte thermique. Réalité présente et scénarios pour le XXI<sup>e</sup> siècle. Le cas de la France*, Dijon : Climat et Santé/GICC, p. 54. [http://medias.obs-mip.fr/gicc/bdgicc/fichiersHTML/APP00/Projets/Rap\\_finaux/Integral.900.zip](http://medias.obs-mip.fr/gicc/bdgicc/fichiersHTML/APP00/Projets/Rap_finaux/Integral.900.zip)

Bicout D.J., K. Chalvet-Monfray, and P. Sabatier, 2002 : « Infection Persistence Time of Aedes Breeding Habitats », *Physica A.*, 305. 597-603.

Bicout D. J., 2005 : « Conditions climatiques et maladies vectorielles », *Environnement, Risques et Santé*, 4 (2) : 77-78.

Boussard E., A. Flahault, J.-F. Vibert, and J.-L. Valleron, 1996 : « Sentiweb : French communicable disease surveillance on the World Wide Web », *B. M. J.*, 313 : 1381-2.

Chaudet H., 2005 : *Extending the event calculus for tracking epidemic spread. Artificial Intelligence in Medicine*, in press.

Che D. et J.-C. Desenclos, 2002 : « L'alerte dans la surveillance actuelle des maladies infectieuses », *Med. Mal. Infect.*, 32 : 704-16.

Chretien J., S. Bedno, A. Anyamba, et al., 2006 : *Eco-Climatic Precursors to Large Chikungunya Outbreaks in Kenya and Comoros, 2004-2005*, Abstract # 393. ICEID, Atlanta.

CIRE AG, 2005 : *Bulletin d'alerte et de surveillance Antilles Guyane*, n° 2005-13. novembre, Fort-de-France.

Cohen J.-C., J.M. Veysseire, and P. Bessemoulin, 2005 : *Bio-climatological aspects of summer 2003 over France. Extreme weather events and public health*, WMO – European Commission, Heidelberg, Springer-Verlag : 33-45.

Cohen J.-C. et J.-L. San Marco, 2006 : *Météo et santé, conseils pratiques*, Paris : Éditions du Cherche Midi, p. 207.

Commission des Communautés européennes, 2007 : *Adaptation au changement climatique en Europe : les possibilités d'action de l'Union européenne*. Livre vert, COM (2007) 354, 29 juin 2007, Bruxelles.

Curry J.A., P.J. Webster and G.J. Holland, 2006 : « Mixing Politics and Science in Testing the Hypothesis That Greenhouse Warming Is Causing a Global Increase in Hurricane Intensity », *Bull. Amer. Met. Soc.*, 87 (8), 1025-1037.

David B. et M. Thibaudon, 2003 : « Variations climatiques et allergies », *Ann. Inst. Pasteur*, 16 : 133-147.

Delaroziere J.-C. et J.-L. San Marco, 2004 : « Surmortalité lors des vagues de chaleur estivale à Marseille chez les personnes de plus de 65 ans, comparaison avant et après une intervention préventive », *Presse Méd.*, 33 (1) : 13-16.

Deubel V., M. Flamand, P. Marianneau et P. Després, 1997 : « Les flavivirus responsables de fièvres hémorragiques », *Bull. Inst. Pasteur*, 8 : 195-205.

Deubel V. and M.T. Drouet, 1997 : « Biological and molecular variations of yellow fever virus », in : Saluzzo J.F., Dodet B., (ed.), *Emerging diseases : factors in the emergence of arbovirus diseases*, Paris : Elsevier, p. 157-65.

Deubel V. et F. Rodhain, 1999 : « Variations climatiques et dengue : impacts directs et indirects », *Méd. Mal. Infect.*, 29 : 289-95.

Díaz J., R. García, C. López, C. Linares, A. Tobías, and L. Prieto, 2005 : « Mortality impact of extreme winter temperatures », *Int. J. Biometeorol.*, 49 (3) : 179-183.

Dixsaut G. et C. Février, 2005 : *Rayonnements ultraviolets. État des connaissances sur l'exposition et les risques sanitaires*, Paris : AFSSE, p. 176. [http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/6737880013193064111110452321233/rayonnements\\_ultraviolets.pdf](http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/6737880013193064111110452321233/rayonnements_ultraviolets.pdf)

D'Helf-Blanchard M., 2005 : « Synthèse des évaluations d'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine, France, 1995-2002 », *Bull. Épidémiol. Hebd.*, 19 : 1-2.

Domingo E., L. Menéndel-Arias, and J.J. Holland, 1997 : « RNA Virus Fitness », *Med. Virol.*, 7, 87-96.

Dufour B., and F. Moutou, 2007 : « Qualitative risk analysis in animal health : a methodological example », in J.-L. Auget, N. Balakrishnan, M. Mesbah, G. Molenberghs (ed.), *Advances in statistical Methods for the Health Sciences : Birkhäuser*, Boston : 527-537.

Durand B., G. Dauphin, H. Zeller, J. Labie, I. Schuffenecker, S. Murri, F. Moutou, and S. Zientara, 2005 : « Sero-survey for West Nile virus in horses in southern France », *Vet. Rec.*, 157 : 711-713.

EEA, 2004 : *Impacts of Europe's changing climate : an indicator based assessment*. European environment agency, Copenhagen, 2004, 100 p., ISBN 92-9167-692-6.

Emberlin J., M. Detandt, R. Gehrig, S. Jaeger, N. Nolard, and A. Rantio-Lehtimäki, 2002 : « Responses in the start of *Betula* (birch) pollen seasons to recent changes in spring temperatures across Europe », *Int. J. Biometeorol.*, 46 (4) : 159-170.

Epstein P.R., 2005 : « Climate change and human health », *N. Engl. J. Med.*, 353 (14) : 1433-1436.

InVS, 2006 : *Évaluation de l'impact sanitaire de la vague de chaleur de juillet 2006*, Saint-Maurice : InVS, 6 p.

Esteva L., and C. Vargas, 1998 : « Analysis of a dengue disease transmission model », *Mathematical Biosciences*, 150, 131-151.

Favier C., D. Schmit, C.D.M. Muller-Graf, B. Cazelles, N. Degallier, B. Mondet, and M.A. Dubois, 2005 : « Influence of spatial heterogeneity on an emerging infectious disease : the case of dengue epidemics », *Proc. R. Soc. B.*, 272, 1171-1177.

Flahault A., Garnerin P., Chauvin P., Farran N., Saidi Y., Diaz C., Toubiana L., Drucker J., Valleron A.J., 1995 : *Sentinelle traces of an epidemic of acute gastroenteritis in France*, *Lancet*. 346, 162-3.

Flahault A., V. Dias-Ferrao, P. Chaberty, K. Esteves, A.J. Valleron, and D. Lavanchy, 1998 : « FluNet as a tool for global monitoring of influenza on the Web », *JAMA*. 280 : 1330-2.

Focks D.A., E. Daniels, D.G. Haile, and J.E. Keesling, 1995 : « A simulation model of the epidemiology of urban dengue fever : literature analysis, model development, preliminary validation, and samples of simulation results », *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 53 : 389-506.

Foo L.C., T.W. Lim, and H.L. Lee, 1985 : « Rainfall, abundance of *Aedes aegypti* and dengue infection in Sclanpor, Malaysia », *Southeast Asian J. Trop. Med. Public Health*, 16 : 560-5.

Fouque F., J.M. Reynes, and J.-P. Moreau, 1995 : « Dengue in French Guiana, 1965-1993 », *Bull. Pan. Am. Health Org.*, 29 : 147-155.

Fouque F., R. Carinci, and P. Gaborit, 2004 : « Epidemiological and Entomological Surveillance of the Co-circulation of DEN-1, DEN-2 and DEN-4 viruses in French Guiana », *J. of Trop. Med. and International Health*, 9, 1, p. 41-46.

Fouque F., R. Carinci, P. Gaborit, J. Issaly, D.J. Bicout, and P. Sabatier, 2006 : « *Aedes aegypti* Survival and Dengue Transmission Patterns in French Guiana », *J. of Vector Ecology*, 31, 2, in press.

Gould D.J., G.A. Mount, and J.E. Scanlon, 1970 : « Ecology and control of dengue vectors on an island in the Gulf of Thailand », *J. Med. Entomol.*, 4 : 499-508.

Gratz N.G., A.B. Knudsen, 1996 : *The rise and spread of dengue, dengue haemorrhagic fever and its vectors. A historical review (up to 1995)*, CTD/FIL (DEN), 96.7, WHO, Geneva.

Gubler D.J., 1988 : « Dengue », in : Monath T.P. (ed.), *The arboviruses : epidemiology and ecology*, 2. Boca Raton. Fla : CRC Press; 1988, p. 223-60.

Gubler D.J., and G.G. Clark, 1995 : « Dengue/dengue hemorrhagic fever : the emergence of a global health problem », *Emerg. Infect. Dis.*, 1 : 55-5.

Gubler D. J., 1998 : « Dengue and dengue hemorrhagic fever », *Clin. Microbial. Rev.*, 1 : 480-96.

Hales S., P. Weinstein, and A. Woodward, 1996 : *Dengue fever epidemics in the South Pacific driven by El Niño Southern Oscillation ?*, *The Lancet*, 348 : 1664-8.

Harrison V.R., K.H. Eckels, J.W. Sagartz, and P.K. Russell, 1982 : « Virulence and immuno-genicity of a temperature-sensitive dengue-2 virus in lower primates », *Infect. Immun.*, 18 : 151-6.

Healy J.D., 2003 : « Excess winter mortality in Europe : A cross country analysis identifying risk factors », *J. Epidemiol. Community Health*, 57 ; 784-789.

InVs, 2002 : Surveillance nationale des maladies infectieuses, 1998-2000 : Institut de veille sanitaire, Saint-Maurice, novembre 2002, <http://www.InVS.sante.fr/publications/default.htm>.

IPCC, 2001a : *Climate Change 2001 : The Scientific Basis*, Cambridge University Press, 2001.

IPCC, 2001b : *Climate Change 2001 : Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Cambridge University Press, 2001.

IPCC, 2007a : *Climate Change 2007 : The Physical Science Basis*, sous presse.

IPCC, 2007b : *Climate Change 2007 : Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability*, sous presse.

Jetten T.H., and D.A. Focks, 1997 : « Potential changes in the distribution of dengue transmission under climate warming », *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 57, 285-97.

Joussaume S., D. Armand, P. Delecluse, B. Seguin, V. Journé, R. Delmas, M. Gillet, 2006 : *Les recherches françaises sur le changement climatique*, INSU, 2006, 20 p.

Lacaux J.-P. et Y.M. Tourre, 2006 : « Le climat et sa variabilité ont-ils un impact sur la santé humaine? », *Biofutur*, 270, 22-25.

Lacaux J.-P., Y.M. Tourre, C. Vignolles, J.A. Ndione, and M. Lafaye, 2006 : « Classification of ponds from high-spatial resolution remote sensing : Application to Rift Valley Fever epidemics in Senegal », *Remote Sensing of Environment*, 106 (2007), 66-74.

Laaidi M., Laaidi K., Besancenot J.-P., 2006 : « Temperature-related mortality in France, a comparison between regions with different climates in the perspective of global warming », *Int. J. Biometeorol.*, 51 (2) : 145-153.

Laaidi K., M. Pascal, E.F. Baffert, B. Strauss, M. Ledrans, et P. Empereur-Bissonnet, 2005 : *Système d'alerte canicule et santé 2005 (Sacs 2005)*, Rapport opérationnel, Saint-Maurice : InVS, 61 p.

Ledrans M., P. Pirard, H. Tillaut, M. Pascal, S. Vandentorren, F. Suzan, G. Salines, A. Le Tertre, S. Medina, A. Maulpoix, B. Bérat, N. Carré, C. Ermanel, H. Isnard, C. Ravault, et M.-C. Delmas, 2004 : « La vague de chaleur d'août 2003 : que s'est-il passé? », *Rev. Prat.*, 54 (12) : 1289-1297.

Ledrans M., 2006 : « Impact sanitaire de la vague de chaleur de l'été 2003 : synthèse des études disponibles en août 2005 », *Bulletin épidémiologique hebdomadaire*, Institut de veille sanitaire, 19-20, 130-137.

Lifson A.R., 1996 : *Mosquitoes, models, and dengue*, *The Lancet*, 347 : 1201.2.

Linthicum K.J., A. Anyamba, C.J. Tucker, P.W. Kelley, M.F. Myers, and C.J. Peters, 1999 : « Climate and satellite indicators to forecast Rift Valley fever epidemics in Kenya », *Science*, 16, 285 : 397-400.

MacDonald W.W., 1956 : « *Aedes aegypti* in Malaysia, II : larval and adult biology », *Ann. Trop. Med. Parasitol.*, 50 : 399-414.

Menne B., and K.L. Ebi, 2006 : *Climate change and adaptation strategies for human health*, Darmstadt : Steinkopff Verlag/Springer, 449 p.

Moore C.C., B.L. Cline, E. Ruin-Tiben, D. Lee, H. Romney-Joseph, and E. Rivera-Correa, 1978 : « *Aedes aegypti* in Puerto Rico : environmental determinants of larval abundance and relation to dengue virus transmission », *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 27 : 1225-31.

Moutou F., 1997 : « Mammifères aquatiques introduits en France. Risques et conséquences », *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 344/345 : 133-139.

Moutou F. et S. Zientara, 2003 : « Changements climatiques et santé animale », in F. Rodhain (ed.), « Changements climatiques, maladies infectieuses et allergiques », *Annales de l'Institut Pasteur/Actualités*, 16, Elsevier, Paris : 121-131.

Nicholls N., 1993 : *El Niño-Southern Oscillation and vector-borne disease*, *The Lancet*, 342 : 1284-5.

Ndiaye P.I., D.J. Bicout, B. Mondet, and P. Sabatier, 2006 : « Rainfall triggered dynamics of Aedes mosquito aggressiveness », *J. of Theoretical Biology*, 243, p. 222-229.

Njenga K.M., L.M. Nderitu, R. Breiman, and R. Sang, 2006 : *Molecular Analysis of Chikungunya Virus Strains From the Kenya and Comoros Island Outbreak*, Abstract # 449/11. ICEID, Atlanta.

Onerc, 2005 : *Un climat à la dérive : comment s'adapter ?*, Rapport au Premier ministre et au Parlement, La Documentation française, 2005, 109 p., ISBN : 2-11-005826-9.

Onerc, 2007 : *Stratégie nationale d'adaptation au changement climatique*, La Documentation française, 2007, 95 p., ISBN : 978-2-11-006618-3.

PAHO, 1994 : « Dengue and dengue haemorrhagic fever in the Americas : guidelines for prevention and control », *Scientific Publication*, n° 548, Pan American Health Organisation, Washington, DC.

Pascal M., K. Laaidi, M. Ledrans, E. Baffert, C. Caserio-Schönemann, A. Le Tertre, J. Manach, S. Medina, J. Rudant, and P. Empeur-Bissonnet, 2006 : « France's heat health watch warning system », *Int. J. Biometeorol.*, 50 (3) : 144-153.

Patz J.A., P.R. Epstein, T.A. Burke. and J.M. Balhus, 1996 : *Global climate change and emerging infectious diseases*, *JAMA*, 275 : 217-23.

Patz J.A., W.J.M. Martens, D.A. Fock, and T.H. Jetten, 1998 : « Dengue fever epidemic potential as projected by general circulation models of global climate change », *Environ. Health Perspect.*, 106 : 147-51.

Pierre V., J. Thiria, E. Rachou, D. Sissoko, C. Lassalle, et P. Renault, 2005 : « Épidémie de dengue à La Réunion en 2004 », Journées de veille sanitaire, 29 et 30 novembre 2005, Cité des sciences et de l'industrie, Centre des congrès de la Villette, Paris.

Pinheiro F.P., and S. J. Corber, 1997 : « Global situation of dengue and DHF, and its emergence in the Americas », *World Health Stat., Q.*, 50 : 161-168.

Poumadère M., C. Mays, S. Le Mer, and R. Blong, 2005 : « The 2003 heat wave in France : dangerous climate change here and now », *Risk Analysis*, 25 (6) : 1483-1494.

Poveda G.J., and O. J. Mesa, 1995 : «The relationship between ENSO and the hydrology of tropical South America. The case of Colombia», in «Proceedings of the 15th Annual American Geophysical Union Hydrology Days», *Hydrology Days Publication*, Atherton, p. 227-236.

Poveda G.J., N.E. Graham, P.R. Epstein, W. Rojas, I. Darlo Velez, M.L. Quiñones, and P. Martens, 1999 : «Climate and ENSO variability associated to malaria and dengue fever in Colombia», in *10th Symposium on Global Change Studies*, Dallas, January 10-15, American Meteorological Society, Boston, p. 173-176, Press WH, Teukolsky SA.

Reynes J.-M., A. Laurent, V. Deubel, E. Telliam, and J.-P. Moreau, 1993 : «The first epidemic of dengue haemorrhagic fever in French Guiana», *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 51 : 545-553.

Rodhain F., 1991 : «Le rôle joué par l'urbanisation et le transport dans l'évolution des maladies à vecteurs», *Mondes et Cultures*, 5 I : 130-52.

Rodhain F., 1996 : «La situation mondiale de la dengue», *Bull. Soc. Pathol. Exot.*, 8Y : 87-90.

Rodhain F. and L. Rosen, 1997 : «Mosquito vectors and dengue virus relationships», in Gehler D.J., Kuno G. (ed.), *Dengue and dengue hemorrhagic fever*, Oxon-New York : CAB International, p. 45-60.

Rodhain F., 2003 : «Changements climatiques, maladies infectieuses et allergiques», *Annales de l'Institut Pasteur*, Elsevier, 152 p.

Rueda L.M., K.J. Patel, R.C. Axtell, and R.E. Stinner, 1990 : «Temperature-dependent development and survival rates of *Culex quinquefasciatus* and *Aedes aegypti*; (Diptera : Culicidae)», *J. Med. Entomol.*, 27 : 892-8.

Sabatier P., J.-M. Babouchkine, J. Morvan, L. Polidori, J.-P. Lacaux, L. Braak, D.M. Antoine, and H. Chaudet, 2004 : *S2.Dengue. Surveillance spatiale et de la dengue. Conception d'outils d'acquisition, de cheminement, d'analyse et de prévision épidémiologique*, ITBM/RBM. 2004, Bilan RTNS 2001, p. 292-296.

Schuffenecker I., I. Itean, A. Michault *et al.*, 2006 : «Genome microevolution of chikungunya viruses causing the Indian ocean outbreak», *PLoS Med. Jul.*, 3 (7) : e263. E-pub 2006.

Seghal R., 1997 : *Dengue fever and El Niño*, *The Lancet*, 349 (9053) : 729-730.

Sfez L., 2005 : «Analyse des attitudes face à l'adaptation au changement climatique : le cas de deux stations de moyenne montagne dans les Alpes de Haute-Provence», enquête menée par le CDEDAP et le CREDATIC pour le compte de l'Ademe, disponible auprès de l'Ademe.

Southwood T.R.E., G. Murdie, M. Yasuno, and R.J. Tonn, 1972 : «Reader PM. Studies on the life budget of *Aedes aegypti* in Wat Samphaya, Bangkok, Thailand», *Bull. WHO*, 46 : 21 l-26.

Thibaudon M., R. Outteryck et C. Lachasse, 2005 : «Bioclimatologie et allergie», *Rev. Fr. Allergol. Immunol. Clin.*, 45 (6) : 447-455.

Thirion X., Simonet J., Serradimigni F., Dalmas N., Simonin R., Morange S., Sambuc R., San Marco J.-L., 1992 : «La vague de chaleur de juillet 1983 à Marseille : enquête sur la mortalité, essai de prévention», *Santé Publ.*, 4 (7) : 58-64.

Tourre Y.-M., J.-P. Lacaux, A. Güell, P. Sabatier, E. Coiffier and L. Braak, 2005 : «A French Initiative on Remote Sensing and Public Health», in : *Wengen 05*, Suisse, September 12-14.

Tran A., X. Deparis, P. Dussart, J. Morvan, P. Rabarison, F. Remy, L. Polidory, J. Gardon, 2004 : *Dengue temporal and Spatial Patterns, French Guyana, 2001*, EID 10 : 615-621.

Valleron A. J., and A. Boumendil, 2004 : «Épidémiologie et canicules : analyses de la vague de chaleur 2003 en France», *CR Biol.*, 327 (12) : 1125-1141.

Valleron A. J., E. Bouvet, P. Garnerin, J. Menares, I. Heard, S. Letrait, and J. Lefauchaux, 1986 : «Computer network for the surveillance of communicable diseases : the French experiment», *Am. J. Public Health.*, 76 : 1289-92.

Van Den Bosch, 2004 : *Is endemic Burkitt's lymphoma a alliance between three infections and a tumour promoter?* *Lancet Oncol.*, 2004, 5, 738-746

Viboud C., K. Pakdaman, P.Y. Boelle, M.L. Wilson, M.F. Myers, A.J. Valleron, and A. Flahault, 2004 : «Association of influenza epidemics with global climate variability», *Eur. J. Epidemiol.*, 19 : 1055-9.

Watts D.M., D.S. Burke, and B.A. Harrison, 1987 : «Effect of temperature on the vector efficiency of *Aedes aegypti* for dengue 2 virus», *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 36 : 143-52.

WHO, 1976 : «Dengue surveillance-Colombia», *Weekly Epidemiol. Rec.*, 51 : 373.

WHO, 1998 : *Division of Control of Tropical Diseases (CTD) Progress Report 1997*, WHO/CTD/PR/98.5, WHO, Geneva.

WHO, 2002 : *World Health Organisation Report*, WHO Geneva.

WHO, UNEP, WMO, 2003 : *Climate change and human health – risks and responses*, Genève, 2003.

WHO, 2004 : *Synthesis workshop on climate variability, climate change and health in Small Island States*.

WHO, 2005 : *Ecosystems and human well-being. Health synthesis*, A report of the Millenium Ecosystems Assessment, World Health Organisation, 54 p.

## ANNEXE 3. GLOSSAIRE

Acarien	ordre de petits arachnides.
<i>Aedes aegypti</i>	moustique domestique transmettant diverses maladies (dengue, West Nile...).
<i>Aedes albopictus</i>	moustique domestique transmettant diverses maladies (chikungunya, dengue...).
Anophèle	moustique transmettant notamment le paludisme.
Arbovirose	toute maladie virale transmise par des arthropodes.
<i>Artemisia artemisiifolia</i>	plante couramment appelée ambroisie
Arthropodes	invertébrés dont le corps recouvert de chitine est formé de pièces articulées (comprend notamment les acariens, les insectes, les arachnides, les crustacés et les myriapodes).
Bibovirus	pour « <i>bird borne virus</i> » : virus transporté par les oiseaux.
<i>Blue tongue</i>	terme anglais pour la fièvre catarrhale ovine.
Borréliose	voir « maladie de Lyme ».
Chagas (maladie de)	infection due au parasite <i>Trypanosomacruzi</i> .
Chikungunya	maladie de l'homme courbé en Swahili (en raison des douleurs articulaires), due à un arbovirus transmis par des moustiques du genre <i>Aedes</i> .
Choléra	maladie infectieuse associée à la qualité de l'eau.
<i>Culex Pipiens</i>	moustique transmettant notamment la maladie du Nil occidental.
<i>Culicoides</i>	moucheron (diptère) transmettant diverses maladies, notamment la fièvre catarrhale ovine.
Dengue	arbovirose due à un virus transporté par certains moustiques, notamment <i>Aedes aegypti</i> . Plusieurs formes existent, le plus souvent bénignes, mais la dengue hémorragique (DH) peut être mortelle. Épidémies récentes en Martinique (1997, 2991, 2005) et en Guyane (2006).
Endémique	maladie présente en permanence dans la zone considérée.
Fièvre catarrhale ovine	maladie du cheptel ovin ( <i>Blue tongue</i> en anglais), due à un virus transmis par un diptère du genre <i>Culicoides</i> , en particulier <i>Culicoides imicola</i> . Actuellement observée en Corse et aux Pays-Bas.
Fièvre de la vallée du Rift	virus produisant une fièvre hémorragique (non encore observée en Europe occidentale), transporté notamment par les petits ruminants.

Fièvre du Nil occidental	virus d'oiseaux pouvant passer vers les mammifères (hommes, chevaux...) par l'intermédiaire de moustiques; quelques cas dans le sud de la France.
Fièvre West Nile	voir « Fièvre du Nil occidental ».
<i>Flaviviridae</i>	famille de virus à ARN qui infectent les mammifères.
Helminthe	ver parasite de l'homme.
Hématophage	buveur de sang.
<i>Hendra</i>	virus découvert en 1994 très proche du virus Nipah, ayant lui aussi des chauves-souris comme réservoir. Il a causé la mort de treize chevaux et d'un homme à Hendra dans la banlieue de Brisbane en Australie.
<i>Influenza</i>	terme anglais désignant la grippe.
<i>Ixodes Ricinus</i>	variété de tique (Ixode) transmettant la borréliose, ou maladie de Lyme.
Leishmaniose	maladie causée par un protozoaire parasite transmis par de petits diptères, les phlébotomes (famille des Psychodidés, genres <i>Lutzomyia</i> et <i>Plebotomus</i> ). Peut présenter des formes cutanées ou des formes viscérales. Le réservoir se situe dans la faune sauvage, notamment les canidés (par exemple le renard roux <i>Vulpes vulpes</i> ).
Leptospirose	maladie causée par des bactéries, présente dans l'urine de nombreux mammifères.
<i>Lutzomyia</i>	phlébotome.
Lyme (maladie de)	maladie transmise par les tiques et transportée par les vertébrés (cerfs...).
<i>Malaria</i>	paludisme.
<i>Nipah</i>	virus transmis par les chauves-souris en Asie du Sud.
<i>Orthomyxoviridae</i>	virus responsable de certaines gripes.
Pandémie	épidémie généralisée.
Peste équine	virus transmis (non encore observée en Europe occidentale).
Phlébotome	moucheron transmettant la leishmaniose de la famille des Psychodidés, genres <i>Lutzomyia</i> et <i>Phlebotomus</i> .
<i>Plasmodium falciparum</i>	protozoaire parasite cause du paludisme.
Protozoaire	organisme vivant monocellulaire.
<i>Rhickettsia conori</i>	variété de tique transmettant la fièvre boutonneuse.
<i>Rhipicephalus</i>	genre de tique actuellement confiné dans les régions méridionales.

Salmonellose	nom générique de diverses infections dues à la <i>Salmonella</i> , qui comprennent la fièvre typhoïde et les paratyphoïdes, ainsi que des toxi-infections alimentaires.
Tique	acarien hématophage parasite des animaux et de l'homme.
Trypanosome	genre de protozoaire parasite du sang, responsable du paludisme.
West Nile	terme anglais pour la fièvre de la vallée du Nil (ou encore fièvre du Nil occidental).
Wifi	protocole de transmission hertzienne entre ordinateurs et périphériques proches
Wimax	protocole de transmission hertzienne entre ordinateurs et périphériques pouvant être plus éloignés que pour le Wifi



**ANNEXE 4. SIGLES**

AASQA	Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air
Ademe	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
AFSAPS	Agence française de sécurité sanitaire des produits de santé
AFSSA	Agence française de sécurité sanitaire des aliments
AFSSE	Agence de sécurité sanitaire environnementale
Artac	Association de recherche thérapeutique anticancéreuse
C.Clin	Centre de coordination de la lutte contre les infections nosocomiales
cCASHh	<i>Climate change and adaptation strategies for human health</i> (voir Menne et Ebi, 2006)
Ccnucc	convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (en anglais <i>UNFCCC</i> )
CDAG	Centre de dépistage anonyme et gratuit
CépiDC	Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès
Cibu	Cellule d'intervention biologique d'urgence de l'Institut Pasteur
Cirad	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
Cire	Cellule interrégionale d'épidémiologie
Clin	Comité de lutte contre les infections nosocomiales
CNAMTS	Caisse nationale d'assurance maladie des travailleurs salariés
Cnes	Centre national d'études spatiales
CNR	Centre national de référence
CNRM	Centre national de recherche météorologique de Météo-France
COI	Commission de l'Océan indien
COP	Conférence des parties à la CCNUCC
CRPM	Conférence des régions périphériques maritimes d'Europe
CSHPF	Comité supérieur d'hygiène publique de France
CTINLS	Comité technique des infections nosocomiales et liées aux soins
CTV	Comité technique des vaccinations

DALYs	<i>Disability adjusted life years</i>
Ddass	Direction départementale des affaires sanitaires et sociales
DGAL	Direction générale de l'alimentation
DGS	Direction générale de la Santé
DH	dengue hémorragique
DHSC	dengue hémorragique avec syndrome de choc
DO	déclaration obligatoire (s'applique à un certain nombre de maladies)
Drass	Direction régionale des affaires sanitaires et sociales
Earrs	<i>European Antimicrobial Resistance Surveillance System</i>
EJ	encéphalite virale japonaise
Enso	<i>El Niño Southern Oscillation</i> : oscillation pluriannuelle du système océan-atmosphère dans le Pacifique Sud, ayant des incidences sur le climat en diverses parties du globe
EnterNet	réseau de surveillance international pour les infections entériques à <i>Salmonella</i> et VTEC 0157
Enva	École nationale vétérinaire d'Alfort
ENVN	École nationale vétérinaire de Nantes
EuroHIV	Programme européen de surveillance du Sida
EuroTB	Programme européen de surveillance de la tuberculose
Ewgli	<i>European Working Group on Legionella Infection</i>
FAO	<i>Food and Agriculture Organisation</i>
FD	fièvre de la dengue
Fem	Fonds de l'environnement mondial (GEF en anglais)
FVR	Fièvre de la vallée du Rift
Gef	<i>Global Environment Fund</i> (FEM en français)
GICC	Gestion et impacts du changement climatique
Giec	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, créé en 1988 par l'OMM et le PNUE afin de faire le point sur les connaissances scientifiques dans ce domaine (en anglais IPCC)
Gizc	Gestion intégrée des zones côtières
GPS	<i>Global positioning system</i>
HCSP	Haut Comité de santé publique
HPAIV	<i>Highly Pathogen Avian Influenza Virus</i>

Ifen	Institut français de l'environnement
INPES	Institut national de prévention et d'éducation pour la santé
Insee	Institut national de statistiques et d'études économiques
Inserm	Institut national de la santé et de la recherche médicale
Insu	Institut national des sciences de l'univers
InVS	Institut de veille sanitaire
IPCC	acronyme anglais pour le Giec
IPSL	Institut Pierre-Simon Laplace
Laure	Loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie
MCJ	maladie de Creutzfeldt-Jakob
Medd	ministère de l'Écologie et du Développement durable
Medes	Institut de médecine et de physiologie spatiales
Misp	médecin inspecteur de santé publique
NAO	<i>North Atlantic Oscillation</i>
Ocha	<i>United Nations office for the coordination of humanitarian affairs</i>
Omm	Organisation météorologique mondiale
OMS	Organisation mondiale de la santé
PDA	<i>Personal digital assistant</i> (ordinateur de poche)
PMSI	programme de médicalisation des systèmes d'information
PNNS	Plan national sur les nuisances sonores
PNSE	Plan national santé-environnement
PNUE	Programme des Nations unies pour l'environnement
Raisin	Réseau d'alerte, d'investigation et de surveillance des infections nosocomiales
RNSA	Réseau national de surveillance aérobiologique ; ce réseau étudie le contenu de l'air en particules biologiques pouvant avoir une incidence sur le risque allergique pour la population
RSI	Règlement sanitaire international
Samu	service d'aide médicale urgente
Sap	système d'alerte prévue
Schapi	Service d'hydrologie et d'appui à la prévision des inondations
SIG	système d'information géographique
Spot	satellite pour l'observation de la Terre

Sras	Syndrome respiratoire aigu sévère
Tiac	toxi-infection alimentaire collective
UNFCCC	sigle anglais pour la Ccnucc
VHC	virus de l'hépatite C
VIH	virus de l'immunodéficience humaine, responsable du sida
WNV	<i>West Nile virus</i> (virus du Nil occidental)

## **ANNEXE 5. PERSONNES AYANT CONTRIBUÉ À L'ÉLABORATION DU PRÉSENT RAPPORT**

Document réalisé sous la direction de Marc Gillet, directeur de l'Onerc, avec le support scientifique de Médias-France (Yves M. Tourre et Jean-Pierre Lacaux).

### **• Auteurs**

BESANCENOT Jean-Pierre, CNRS/Faculté de médecine, Dijon

COHEN Jean-Claude, Météo-France

COQUIN Yves, Direction générale de la santé

DESENCLOS Jean-Claude, InVS

FAUCHER Pascal, Cnes

FLAHAULT Antoine, Inserm

GAUD Catherine, hôpital Félix Guyon, La Réunion

GUEDJ Nicole, Élysée Paris

GUELL Antonio, Cnes

LAFAYE Murielle, Cnes

MANUGUERRA Jean-Claude, Institut Pasteur

MOUTOU François, AFSSA

RIBEIRO Nathalie, Cnes

RODHAIN François, Institut Pasteur

SABATIER Philippe, École nationale vétérinaire de Lyon/Inra

SAN MARCO Jean-Louis, hôpital de La Timone, Marseille

VERGES Paul, président de l'Onerc

### **• Personnes ayant contribué à la relecture**

BABILLOT Pascale, Onerc

BARRERE Danielle, Médias-France

BESSEMOULIN Pierre, Météo-France

BOURCIER Vincent, Onerc

JUVANON DU VACHAT Régis, Météo-France

LACAUX Jean-Pierre, Médias-France

LESAFFRE Benoît, ministère de la Santé et des Solidarités

MOREAU Roland, ministère de la Santé et des Affaires sociales, inspection générale des Affaires sociales

OMARJEE Younous, Onerc

Tourre Yves M.

### **• Remerciements aux membres du Conseil d'orientation de l'Onerc**

### **Crédit photographique**

Page 35 : © CNRS Photothèque, Hubert Raguet

Page 105 : © Météo France, Philippe Frayssinet

Page 155 : © CNRS Photothèque, Nicole Pasteur

# **ONERC**

## **Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique**

### **Rapport au Premier Ministre et au Parlement**

### **Changements climatiques et risques sanitaires en France**

#### **Synthèse**

Cet ouvrage rappelle tout d'abord certaines des évolutions les plus marquantes observées dans différents domaines depuis le premier rapport de l'ONERC<sup>1</sup> paru en juin 2005. Les deux dernières années ont été en effet extrêmement actives dans le domaine du changement climatique. Il n'est plus un seul jour sans que le sujet soit abordé par les chaînes de télévision, à la radio, ou dans les grands quotidiens nationaux et régionaux. Le choix a été fait pour le présent rapport de traiter plus en profondeur la question des interactions entre Changement climatique et risques sanitaires. Dans le domaine de la santé, la question des risques émergents est en effet tout particulièrement préoccupante, et nos concitoyens s'interrogent à juste titre sur leurs liens possibles avec le changement climatique. Les épisodes de canicule, l'apparition de maladies nouvelles comme le chikungunya tout récemment en Italie ou la fièvre catarrhale ovine aux Pays Bas, le désarroi à la suite de catastrophes comme le cyclone Katrina à la Nouvelle Orléans, les interactions entre le réchauffement climatique et la pollution, sans même parler des épidémies qui sont monnaie courante dans nombre de pays en développement, incitent à s'interroger sur cette question.

Pour établir ce rapport, l'ONERC a fait appel aux experts français les plus éminents, provenant de Météo-France, de l'Inra, de l'Institut Pasteur, de l'Inserm, de l'AFSSA, du Cnes, de l'InVS, de l'IRD, de l'EID, de Medias-France, des CHU et des ministères en charge de l'écologie et de la santé.

Le rapport aborde des risques de natures différentes : les épisodes caniculaires, les maladies infectieuses, les suites d'événements extrêmes (tempêtes, inondations,...) et les liens entre climat et pollution. Il est probable que les effets sur la santé se produiront souvent sous forme d'événements imprévus, et ceci bien avant la fin du siècle, peut-être demain. C'est la première leçon que l'on peut tirer du drame de la canicule de 2003. Cependant, plus la réflexion aura été faite en amont, plus rapide et efficace seront nos réactions, même devant des événements imprévisibles.

Une des conclusions les plus robustes des scientifiques est que les épisodes caniculaires deviendront de plus en plus fréquents et de plus en plus intenses. Si le plan canicule mis en place après l'épisode de 2003 permet de réagir devant l'urgence, toute une réflexion est encore à faire sur l'adaptation aux fortes chaleurs, notamment dans la conception des bâtiments et des villes.

---

<sup>1</sup> L'Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (ONERC) a été créé par la loi afin d'informer le public et les décideurs sur les conséquences du réchauffement climatique, et pour offrir au gouvernement, au parlement, aux élus et aux collectivités, acteurs du développement, les éléments de connaissances nécessaires pour élaborer une véritable politique de prévention et d'adaptation. Le premier rapport de l'ONERC était intitulé « Un climat à la dérive : comment s'adapter ? »

Les tempêtes, les cyclones, les inondations et leurs suites constituent un autre type de menace. Outre les conséquences immédiates de ces catastrophes, la désorganisation qui s'en suit peut avoir des conséquences dramatiques au plan de la santé, notamment en matière de qualité de l'eau et des aliments.

Dans le cas des maladies infectieuses, on constate combien la santé humaine est liée à celle des animaux et à l'état des écosystèmes. Dans le domaine du vivant, il est souvent difficile d'identifier les éléments pertinents, et les scientifiques qui ont contribué à cet ouvrage insistent sur la nécessité de maintenir une veille indifférenciée, en assurant le développement et la pérennité des observations. Parallèlement, les études et les recherches doivent être intensifiées sur les maladies susceptibles d'être influencées par le changement climatique, afin de définir le cas échéant des stratégies d'adaptation pertinentes. Une meilleure connaissance de l'écologie microbienne et des facteurs humains et climatiques devrait permettre sinon d'anticiper toutes les catastrophes sanitaires potentiellement liées au changement climatique, du moins d'y être un peu mieux préparés.

Les auteurs attirent également l'attention sur les liens encore mal connus entre le changement climatique, avec la pollution de l'air. Celle-ci peut être d'origine humaine, puisqu'on s'attend notamment à une augmentation de l'ozone dans les basses couches de l'atmosphère, mais aussi d'origine végétale, avec l'augmentation de la concentration de nombreux pollens allergènes.

Au vu de ces constatations, se pose la question de savoir quelles sont les principales actions au plan opérationnel comme au plan scientifique qui devraient permettre une meilleure adaptation au changement climatique. Un certain nombre de propositions dans ce sens sont présentées en conclusion du rapport.

Force est de constater que, dans le domaine du vivant, il est souvent difficile d'identifier les éléments pertinents. Pour détecter des faits sortant de l'ordinaire, une veille large et indifférenciée est nécessaire, à travers le développement et la garantie de pérennité des réseaux d'observation.

La bonne utilisation des informations produites par ces réseaux d'observation exige de mettre en place de bases de données multidisciplinaires sur 'Climat et Santé', d'accès libre et gratuit et établies en suivant l'exemple des données météorologiques.

Parallèlement, les études et les recherches doivent être intensifiées sur les maladies susceptibles d'être influencées par le changement climatique, afin de définir le cas échéant des stratégies d'adaptation efficaces. Des modèles de climat plus précis et mieux adaptés aux échelles locale et régionale seront également nécessaires.

Il est essentiel d'améliorer la communication des informations : entre pays, avec les médias, avec les autres disciplines, avec les décideurs, avec le public... Il s'agit aussi d'assurer une réelle mobilisation des décideurs et du public, pour agir sur l'environnement (réduction par exemple des gîtes larvaires, ou réduction de l'insalubrité propice au développement des vecteurs).

Des progrès importants ont été réalisés récemment en France sur la gestion des crises, notamment avec le plan canicule et les diverses mesures prises sur les maladies émergentes.

Il est cependant nécessaire maintenant d'aller plus loin, en développant une véritable culture de la gestion des risques, incluant une réflexion sur des aspects plus structurels de la prévention. Si le présent rapport peut y contribuer, il aura atteint son objectif.