

LE PALUDISME

SYSTÈMES DE

PRÉ-ALERTE

***CONCEPTS, INDICATEURS
ET PARTENAIRES***

Cadre pour la recherche de terrain en Afrique

FAIRE RECULER LE PALUDISME



	An . 1	An . 2	An . 3	An . 4
① Evaluation avant saison ② Evaluation en saison des pluies ③ Evaluation saison paludisme	① ② ③	① ② ③	① ② ③	① ② ③
Vulnérabilité Faible Moyenne Forte				
Anomalie des prévisions climatiques saisonnières Supérieurs Normales Inférieur (mise à jour mensuelle disponible)				
Suivi des précipitations (en mm) ou d'autres variables environnementales (p.ex. données des satellites météorologiques) Ligne noire = moyenne à longue échéance				
Suivi de la morbidité/mortalité palustre aux sites sentinelles (p.ex. nbre de cas/semaines) Ligne noire = moyenne à longue échéance				

Drapeau 1 Drapeau 2 Drapeau 3

An 2 Evaluation avant saison - la vulnérabilité augmente après une période de sécheresse
 An 4 Evaluation avant saison - la vulnérabilité augmente encore pour cause de sécheresse et de précipitations saisonnières normales - Drapeau 1
 An 4 Evaluation saison des pluies - la vulnérabilité reste élevée, les données météorologiques indiquent des précipitations supérieures normales - Drapeau 2
 An 4 Evaluation saison des pluies - la vulnérabilité reste élevée, précipitations supérieures moyennes pendant toute la saison, nombre de cas supérieur au seuil hebdomadaire - Drapeau 3

Figure 1 : Utilisation des indicateurs de pré-alerte dans le cycle de planification de la lutte antipaludique



Cadre pour la recherche de terrain en Afrique

LE PALUDISME

SYSTÈMES DE

PRÉ-ALERTE

CONCEPTS, INDICATEURS
ET PARTENAIRES



Le présent document a été préparé à la demande de Faire reculer le paludisme (RBM). Il a été rédigé par Madeleine C. Thomson et Stephen J. Connor (Groupe de recherche MALSAT, Liverpool School of Tropical Medicine) en consultation avec des partenaires du Réseau d'appui technique pour la lutte contre les épidémies du paludisme. La Liverpool School of Tropical Medicine a aussi assuré les services de lecture des épreuves et d'édition.



Les personnes suivantes, membres du réseau (RBM) d'appui technique à la lutte contre les épidémies de paludisme, ont apporté leur contribution :

Dr A. Ache, Dr M.A. Ansari, Mr M. Bagayoko, Mrs M. Barutwanayo, Dr P. Bloland, Dr A. Bosman, Dr K. Carter, Mr S.J. Connor, Dr J Cox, Dr C. Delacollette, Dr D. de Savigny, Dr A. Desta, Dr H. Desta, Dr O. Faye, Dr E. Feller-Dansokho, Dr A Grigoryan, Dr P. Guillet, Dr S.I. Hay, Dr D.L. Heymann, Dr Y. Kassankogno, Dr A. Kilian, Dr A. Kiszewski, Dr K. Mendis, Dr S. Murugasampillay, Dr P. Langi, Mr Le Xuan Hung, Dr G. Majori, Dr J.A. Najera, Ms K.P. O'Neill, Dr B. Rapuoda, Dr A. Raveloson, Mrs O. Ravaohangimalala, Dr A. Rietveld, Dr M. Robalo, Dr G. Rodier, Dr M. Ryan, Dr G. Sabatinelli, Dr R.W. Snow, Dr F. Soroses, Mr A. Tadele, Dr A. Talisuna, Dr A. Teklehaimanot, Mrs M.C. Thomson, Mr W. Van Bortel

Les personnes suivantes, étrangères du réseau (RBM), ont apporté leur contribution :

Guy Barnish, Mark Cresswell, Luis Cuevas, Francisco Doblaz-Reyes, Umberto D'Alessandro, Dia Elnaiem, Stephane Flasse, Moshe Hoshen, Jane Lambo, Anna Molesworth, Eve Worrall

Les auteurs se sont inspirés de la littérature des organismes chargés de la sécurité alimentaire. La section 6, en particulier, reprend en les modifiant certaines sections du rapport du Comité de la Sécurité alimentaire mondiale intitulé *Guidelines for National Food Insecurity and Vulnerability Information and Mapping Systems (FIVIMS): Background and Principles*, qui contient des directives pour l'élaboration de systèmes d'informations et des cartes sur l'insécurité et la vulnérabilité alimentaire (SICIVA) : mai 1998, vingt-quatrième session, Rome, juin 1998. L'OMS est membre ce comité.

Maquette : Jay Dowle

Photo de couverture : Stephen Connor

Projet du Cabinet, Faire reculer le paludisme

Organisation mondiale de la Santé

20, Avenue Appia,

CH-1211 Genève 27, Suisse

Tél: +41 (22) 791 3606, Fax: +41 (22) 791 4824,

E-mail: rbm@who.int Web site: <http://www.rbm.who.int/>



WHO/CDS/RBM/2001.32

© Faire reculer le paludisme/Organisation mondiale de la Santé 2002

Le présent document n'est pas une publication officielle de l'Organisation mondiale de la Santé et tous les droits y afférents sont réservés par cette organisation. S'il peut être commenté, résumé, reproduit ou traduit sans aucune restriction partielle ou en totalité, il ne saurait cependant l'être pour la vente ou à des fins commerciales.

Les appellations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent, tableaux et cartes compris, n'impliquent de la part du Secrétariat de l'Organisation mondiale de la Santé aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites. Les lignes en pointillé sur les cartes représentent des frontières approximatives dont le tracé peut ne pas avoir encore fait l'objet d'un accord définitif.

La mention de firmes et de produits commerciaux n'implique pas que ces firmes et produits commerciaux sont agréés par l'Organisation mondiale de la Santé de préférence à d'autres. Sauf erreur ou omission, une majuscule initiale indique qu'il s'agit d'un nom déposé.

La mise en place de systèmes d'alerte à l'épidémie en Afrique subsaharienne est une nécessité vitale

La situation actuelle

On estime à environ 110 millions le nombre de personnes qui vivent dans des zones impaludées de 23 pays d'Afrique et qui ne sont pas immunes contre le parasite du paludisme. On relève des taux de mortalité et de morbidité inacceptables pendant les épidémies lorsque celles-ci ne sont pas détectées immédiatement et jugulées par des interventions efficaces. Tel a été le cas récemment dans les pays d'Afrique australe et orientale et dans les régions sahéliennes de certains pays d'Afrique occidentale; de ce fait le paludisme est aujourd'hui une préoccupation politique de premier plan.

La transmission du paludisme est nulle dans la plupart des zones montagneuses, arides ou situées à la périphérie des déserts, mais les habitants de ces régions risqueront eux aussi, de contracter des formes graves de la maladie avec taux élevés de mortalité lorsque surviendra une épidémie ou lorsqu'ils se rendront dans des zones où le paludisme est endémique.

Même dans les régions et les pays où la lutte contre le paludisme a été couronnée de succès et où sa transmission (et l'immunité qu'elle entraîne) a diminué avec le temps, celle-ci peut encore trouver un environnement propice. Cela se vérifie en particulier lorsqu'il y a un relâchement dans les mesures de lutte et que les résultats obtenus ne sont pas consolidés. Comme le niveau d'immunité contre la maladie a nettement baissé, les populations de ces zones sont éminemment vulnérables lorsque l'épidémie menace.

Facteurs d'épidémie

Les facteurs qui peuvent provoquer une élévation « inattendue » de la transmission sont nombreux. On peut les classer en deux grands groupes : technologiques et naturels. Ils agissent les uns comme les autres en modifiant l'environnement et en augmentant ainsi la capacité des vecteurs de transmettre les plasmodies d'une personne à l'autre. Les facteurs qui tiennent aux activités humaines peuvent avoir pour effet des modifications de l'environnement qui entraînent une augmentation prévisible de la transmission du paludisme, alors que variations climatiques, catastrophes naturelles et d'autres désordres peuvent conduire à des modifications imprévisibles de l'environnement. Celles-ci s'accompagnent parfois d'importants mouvements de populations; il peut alors y avoir résurgence des épidémies de paludisme. C'est ce qui se produit souvent à l'occasion d'une guerre civile, par exemple, lorsque les services de soins curatifs se dégradent, la surveillance au sein des services de lutte se relâche et les mesures de contrôle disparaissent.

Dans les pays qui ne sont pas dotés d'un bon système de surveillance (ou de mesures de contrôle appropriées) ou dont le système ne fonctionne pas encore régulièrement, les épidémies ne sont pas détectées rapidement. Les mesures de lutte, lorsqu'elles sont prises, sont appliquées trop tard, sans grande coordination, par un personnel aux compétences limitées et généralement sous la pression des forces politiques.

Pourquoi instituer un système d'alerte/surveillance tous azimuts

Le présent document cadre traite des principes et des indicateurs sur lesquels fonder des systèmes d'alerte permettant de reconnaître à l'avance les risques d'épidémies.

Il est vital de détecter à temps les situations où, dans une communauté ou une région, le nombre de cas de maladie dépasse le niveau normalement escompté, si l'on veut mettre les autorités sanitaires et les responsables au courant de la grave menace à laquelle ils doivent faire immédiatement face. Il faut aussi les aider à décider des mesures de lutte efficaces à prendre. En général, un système de



détection précoce se fonde sur les données concernant le paludisme, enregistrées tous les mois ou toutes les semaines par les établissements de soins de santé auxquels il revient normalement de diagnostiquer le paludisme et d'offrir un traitement efficace. Si le système de surveillance, les procédures de laboratoire, l'analyse des données, les rapports et les notifications sont des procédures bien établies, les mesures de lutte peuvent être prises sans attendre, même si un certain décalage est inévitable par rapport au début de l'épidémie.

Grâce à l'expérience acquise à l'occasion d'épidémies passées, on sait très bien que les données météorologiques, lorsqu'elles sont enregistrées régulièrement dans des lieux précis et analysées, peuvent déceler les signes avant-coureurs d'une épidémie de paludisme.

Des phénomènes météorologiques insolites - comme de fortes pluies après une période de sécheresse inhabituelle ou une hausse inattendue de la température et/ou du degré d'humidité à une altitude donnée - sont un des facteurs déterminants d'épidémie dans de nombreux cas. Des systèmes d'alerte fonctionnant grâce à une bonne collaboration entre les services météorologiques et les programmes de lutte contre les maladies à transmission vectorielle intégrés au Ministère de la Santé peuvent annoncer une épidémie plusieurs semaines à l'avance et le personnel de santé des districts est alors mieux préparé à prévenir l'épidémie ou à la juguler dès le départ.

Dans les pays ou les sous-régions concernées, les décideurs/autorités nationales sont normalement avertis longtemps à l'avance (de deux à six mois) grâce aux prévisions météorologiques à longue échéance. Ces prévisions donnent au mieux une idée générale du climat à l'échelle d'une saison plutôt que des précisions sur les fluctuations du temps. Elles peuvent se révéler particulièrement utiles dans certaines zones géographiques et certaines années, comme dans le cas d'El Niño/La Niña. Sans être très fiables, ces prévisions peuvent constituer une indication supplémentaire sur la probabilité de problèmes l'année suivante.

Chacun des éléments du présent guide méthodologique, en particulier les indicateurs de pré-alerte, vise en fin de compte à renforcer la capacité des fonctionnaires de santé responsables au plan national et au plan des districts d'anticiper une éventuelle épidémie de paludisme et d'y faire face. Cela suppose que soient préparés à temps les médicaments, les réserves et tout le matériel nécessaires, et que soit détectée assez tôt la survenue d'une épidémie. Il s'agit ici de permettre aux autorités locales et aux collectivités d'être mieux armées pour mettre en oeuvre, en temps utile, des moyens efficaces et économiques de prévention et de lutte.

Le Réseau d'appui technique du projet Faire reculer le paludisme

Le projet Faire reculer le paludisme, lancé par l'OMS en 1998, se propose essentiellement de réduire la pauvreté en allégeant la charge du paludisme en Afrique où l'on enregistre plus de 90 % de la mortalité palustre. Pour faire face à toutes les difficultés que présente la lutte antipaludique, on a institué dans le cadre de ce projet, des réseaux d'appui technique qui doivent fournir aux pays divers moyens ou outils économiques et intégrés pour mener à bien cette lutte dans le cadre des interventions stratégiques du secteur de la santé, en collaboration avec d'autres secteurs administratifs et des partenaires nationaux ou étrangers. Pour aider les pays à prévenir et combattre plus efficacement les épidémies, un réseau d'appui technique à la lutte contre les épidémies de paludisme a été mis en place en novembre 1998 à l'intérieur du projet Faire reculer le paludisme.

Les différentes réunions organisées par le Réseau d'appui technique ont montré clairement que les programmes nationaux et de districts de lutte antipaludique doivent comporter des activités de recherche opérationnelle plus complètes. Pour la recherche sur le terrain, on pourrait peut-être mobiliser une équipe de spécialistes représentant les divers intervenants des programmes nationaux de lutte contre le paludisme, comme les services épidémiologiques, les départements chargés des activités d'urgence/catastrophe, les services météorologiques, ou les départements chargés des questions agricoles.

Fondé sur les résultats d'études de terrain, le cadre exposé ci-après donne toute une gamme d'indicateurs sur lesquels s'appuyer pour mettre en place et appliquer des systèmes de pré-alerte permettant de faire face aux principales situations épidémiologiques en Afrique. Comme on compte sur la contribution de nombreux partenaires n'appartenant pas au secteur de la santé pour mettre les systèmes en place et en assurer le fonctionnement continu, le présent document donne aussi une liste d'organismes internationaux, instituts de recherche, fondations, institutions régionales ou sous-

régionales et des réseaux internationaux d'experts dont les activités portent actuellement sur les domaines suivants : recherche environnementale, prévisions météorologiques, surveillance de la sécheresse et de la sécurité alimentaire, santé publique et lutte contre les maladies transmissibles, information et gestion des systèmes.

Il faut reconnaître que le présent document cadre ne parvient pas à présenter aux responsables de la santé publique, aux niveaux national et de district, un arbre de décisions prêt à l'emploi permettant de prévoir avec certitude l'éventualité d'épidémies de paludisme et les mesures à prendre en pareil cas. Cependant, je suis persuadé qu'il donne une idée exacte de l'« état des connaissances »; c'est là une information nécessaire à la mise au point et à l'essai d'algorithmes de ce type, et il faut espérer que des recommandations réalisables suivront rapidement.

Les utilisateurs finaux de ce cadre méthodologique sont des experts qui, dans les pays, font face aux urgences et aux épidémies. Ils devraient y trouver des outils pratiques pour prévoir, prévenir et détecter les épidémies de paludisme. Je suis convaincu que cette publication sera d'un intérêt pratique pour tous ceux qui sont à l'oeuvre aussi bien sur le terrain que dans les organismes d'appui lorsqu'ils seront confrontés à des épidémies.

Remerciements

Ce document-cadre est l'aboutissement d'un travail d'équipe auquel ont participé en particulier les membres permanents du Réseau d'appui technique, mais aussi de nombreux experts venus d'horizons divers (voir la liste en annexe). La contribution de l'équipe de recherche MALSAT, qui a examiné la littérature pertinente et assuré la rédaction du document jusqu'à son stade définitif, a été essentielle et inappréciable. Cet ouvrage a pu voir le jour grâce à l'enthousiasme et au rôle proactif de Madeleine C. Thomson et Stephen J. Connor de la Liverpool School of Tropical Medicine.

Charles Delacollette

Coordinateur du réseau d'appui technique pour la lutte contre les épidémies de paludisme

Faire reculer le paludisme



Table de matières

1.	INTRODUCTION	11
1.1	Un système de pré-alerte au paludisme	11
1.2	Le rôle d'un système de pré-alerte au paludisme	12
	<i>Figure 1: Utilisation des indicateurs de pré-alerte dans le cycle de planification de la lutte anti-paludique</i>	<i>couverture intérieure</i>
1.3	Objectifs du présent document	12
2.	LES EPIDEMIES DE PALUDISME EN AFRIQUE	13
2.1	Les conséquences	14
3.	LES CONTRE-MESURES	14
3.1	Réduire les taux de létalité	14
3.2	Réduire les risques d'épidémie	15
3.3	Mettre en œuvre des contre-mesures adaptés	16
4.	ANALYSE DE RISQUE	16
4.1	Vulnérabilité et risque d'épidémie	16
	<i>Tableau 1. Groupes vulnérables en fonction des différents degrés d'endémicité</i>	<i>17</i>
	<i>Figure 2: Pourcentage de la population susceptible de faire une forme grave de paludisme si elle est infectée et proportion du groupe vulnérable infecté lors d'une année moyenne, pour différentes valeurs théoriques du taux d'inoculation entomologique</i>	<i>18</i>
4.2	Processus de prise de décision	18
5.	INDICATEURS DE TRANSMISSION ET DE VULNÉRABILITÉ	18
5.1	Sélection des indicateurs	18
5.2	Indicateurs de transmission et de vulnérabilité dans différents contextes écologiques	19
5.3	Rôle des indicateurs dans l'alerte à l'épidémie	19
	<i>Figure 3: Rôle de divers indicateurs dans la prévision de la distribution, du moment et de l'ampleur de la transmission</i>	<i>couverture intérieure</i>
	<i>Tableau 2a. Indicateurs de risque de transmission du paludisme dans certains contextes écologiques africains</i>	<i>20</i>
	<i>Tableau 2b. Indicateurs de risque de vulnérabilité dans certains contextes écologiques d'Afrique</i>	<i>21</i>
5.4	Indicateurs utiles pour le cycle de planification	22
	<i>Tableau 3a. Prévisions climatiques saisonnières</i>	<i>23</i>
	<i>Tableau 3b. Le temps</i>	<i>24</i>
	<i>Tableau 3c. Environnement local</i>	<i>25</i>
	<i>Tableau 3d. Vecteurs</i>	<i>26</i>
	<i>Tableau 3e. Les parasites dans le moustique</i>	<i>27</i>
	<i>Tableau 3f. Taux d'inoculation entomologique</i>	<i>28</i>
	<i>Tableau 3g. Les parasites dans l'homme (infection palustre)</i>	<i>29</i>
	<i>Tableau 3h. Exposition à l'infection palustre</i>	<i>30</i>
	<i>Tableau 3i. Vulnérabilité au paludisme clinique</i>	<i>31</i>
	<i>Tableau 3j. Le paludisme clinique</i>	<i>32</i>
	<i>Tableau 3k. Vulnérabilité face à la maladie grave et à la mort</i>	<i>33</i>
	<i>Tableau 3l. Le paludisme, maladie grave et cause de mortalité</i>	<i>34</i>
5.5	Elaboration d'indicateurs qualitatifs de risque d'épidémie	35



6	MISE SUR PIED D'UN SYSTÈME DE PRÉ-ALERTE AU PALUDISME	35
6.1	Principes qui sous-tendent la mise en place d'un système MEWS	35
6.2	Mesures à prendre pendant la mise en place d'un système MEWS régional/national	36
6.2.1	Stimuler l'intérêt	36
6.2.2	Dialoguer avec les parties prenantes	36
6.2.3	Désigner un organe de liaison national	36
6.2.4	Etablir un réseau de partenaires	37
6.2.5	Evaluer des besoins des utilisateurs	37
6.2.6	Procéder à l'inventaire/l'évaluation des systèmes nationaux de données et d'information	37
6.2.7	Activités de recherches indissociables de la mise en place d'un MEWS	37
6.2.8	Acheminer judicieusement l'information	38
6.2.9	Communiquer par cartes	38
6.2.10	Préparer une stratégie et un plan de travail nationaux pour un système MEWS	39
6.2.11	Renforcement des capacités	39
6.2.12	Elaboration d'une "épi-météorologie"	40
7	LES EPIDEMIES RECENTES DE PALUDISME EN AFRIQUE	40
7.1	Pourquoi un système de pré-alerte au paludisme	40
7.2.	Cartographie des zones à risque	41
7.3	Observation des zones à risque	43
	<i>Figure 4. Modèle pour la prévision, la pré-alerte et la détection précoce émanant de la réunion de Salt Rock, (Afrique du Sud), 1999 (Anon, 1999).</i>	43
7.4	Prévisions climatiques saisonnières	44
7.4.1	Modèles statistiques	44
7.4.2	Modèles dynamiques	44
7.4.3	Utilisation actuelle des prévisions climatiques saisonnières en Afrique	45
7.5	Veille météorologique	46
	<i>Figure 5. Nombre de malades du paludisme hospitalisés (CAS) dans 9 hopitaux du district Ovamboland, (Namibie) comparé à la durée de persistance des nuages froids, indicateur de substitution de la pluviosité tiré des données satellites</i>	46
7.5.1	Persistance des nuages froids et estimations des précipitations	48
7.5.2	Indice de végétation (NDVI)	48
7.6	Hydrologie	49
7.7	Modèles statistiques contre modèles biologiques de maladies transmises par des vecteurs	49
7.8	Vulnérabilité	49
7.8.1	Comparaisons entre systèmes d'alerte rapide aux risques de famine (FEWS) et systèmes de pré-alerte au paludisme (MEWS)	50
7.9	Les systèmes de pré-alerte pour les maladies autres que le paludisme	51
	<i>Tableau 4. Résumé des relations d'interaction entre systèmes d'alerte rapide aux risques de famine (FEWS) et systèmes de pré-alerte au paludisme (MEWS)</i>	52
7.10	Conclusion	53

8	DETECTION PRECOCE DU PALUDISME EN AFRIQUE	53
8.1	Données fournies par la surveillance	53
8.2	Les sites sentinelles	53
8.3	Recours aux données sur le paludisme diagnostiqué en laboratoire	54
8.4	Techniques de l'analyse temporelle	54
8.4.1	Cartes de contrôle de la qualité	54
8.4.2	Suivi statistique	55
8.5	Analyse de séries chronologiques	56
8.5.1	L'analyse spectrale	57
8.5.2	Modèle ARIMA (autorégressif à moyenne mobile intégrée)	57
8.6	Séries chronologiques : corrélation croisée et régression linéaire	57
9	CONCLUSION	59

APPENDICE 1.	ORGANISMES ET INSTITUTS DE RECHERCHES INTERNATIONAUX A CONSULTER POUR L'ELABORATION D'UN SYSTEME MEWS	60
APPENDICE 2	ORGANISMES COMPETENTS EN MATIERE DE PREVISION DU CLIMAT REGIONAL/NATIONAL, DE SERVICES METEOROLOGIQUES, ET DE SUIVI DE LA SECHERESSE ET DE LA SECURITE ALIMENTAIRE	61
APPENDICE 3.	SYSTEMES NATIONAUX D'INFORMATION EVENTUELLEMENT OPERATIONNELS LOCALEMENT	64
APPENDICE 4.	LISTE D'ACRONYMES UTILISÉS	65
APPENDICE 5.	GLOSSAIRE DES TERMES EPIDEMIOLOGIQUES, METEOROLOGIQUES ET ECONOMIQUES	67



1. INTRODUCTION

Le paludisme peut être mortel chez les individus dont l'immunité est faible ou déficiente. Les populations qui ne sont pas normalement exposées à des taux élevés de transmission peuvent être victimes d'épidémies explosives entraînant de forts taux de mortalité dans tous les groupes d'âge.

Le paludisme est évitable et curable. Cependant, pour pouvoir prévenir ou guérir cette maladie dans le contexte d'une épidémie en Afrique, il faut que les décideurs sachent quels sont les risques :

- dans l'espace (zones de leur ressort où le risque d'épidémie est le plus grand)
- dans le temps (mois/années pendant lesquels le risque d'épidémie est le plus grand)

La détection précoce, la maîtrise et la prévention des épidémies sont l'un des quatre éléments techniques de la Stratégie mondiale de lutte contre le paludisme (OMS, 1993) sur laquelle repose l'initiative Faire reculer le paludisme (OMS, 1998). La nécessité de mettre en œuvre des programmes de prévision et de prévention des épidémies est de plus en plus généralement admise. Quelques pays ont déjà commencé à mettre en place des systèmes de surveillance du risque d'épidémie, fondés sur des indicateurs simples de risque de transmission (comme des pluies trop abondantes) mais l'expérience montre que le recours à ce type d'information dans le cadre des programmes africains de lutte antipaludique est loin d'être entré dans les mœurs. Ceci est dû en grande partie au fait que le secteur de la santé collabore peu avec les autres, comme la météorologie et l'agriculture (Anon, 2000b). Cependant, grâce entre autres, à l'initiative mondiale Faire reculer le paludisme, l'idée que les épidémies ne doivent pas concerner le seul secteur de la santé fait actuellement son chemin. Les conséquences des épidémies se font souvent cruellement sentir dans d'autres domaines, en particulier celui de l'agriculture.

Pendant les deux décennies écoulées, on a fait des efforts considérables pour mettre en place des systèmes d'alerte rapide dans le but de parer aux problèmes agricoles en Afrique. De nouveaux outils, notamment les systèmes d'information géographique et les données-satellite ont servi à la mise en place de tels systèmes. Par exemple, l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) utilise depuis de longues années des données émises par des satellites météorologiques pour suivre et évaluer les modifications de l'état de l'environnement dans la mesure où elles intéressent la sécurité alimentaire (par exemple, le système mondial d'informations et d'alerte rapide sur l'alimentation et l'agriculture : GIEWS). En outre, une assistance à l'utilisation de ces données continue d'être fournie à de nombreux organismes nationaux et régionaux, y compris les systèmes de surveillance de la sécheresse et de sécurité alimentaire qui fonctionnent dans les régions de la SADC¹ et de l'IGAD², les organisations de lutte contre le criquet pèlerin, et le Nile Forecast Centre. Il est du plus haut intérêt de noter que ces systèmes ont été appliqués aux niveaux régional, national et de district. Pour le district, les données sur l'environnement peuvent être associées à l'information socio-économique locale, ce qui représente un moyen de prise de décision au niveau local.

Beaucoup des principes de base qui sous-tendent ces systèmes valent aussi pour la conception de systèmes de pré-alerte au paludisme pour l'Afrique.

1.1 Un système de pré-alerte au paludisme

Les systèmes de pré-alerte au paludisme (ci-après dénommés MEWS) emploient trois grands groupes d'indicateurs pour prévoir le déclenchement d'une épidémie de paludisme. Ces indicateurs sont :

- Des indicateurs de vulnérabilité (faible immunité, malnutrition, VIH, mouvements de populations, pharmacorésistance, etc.) que l'on peut relever en permanence et qui permettent de prévoir la gravité de l'impact plutôt que le moment d'une recrudescence de la transmission du paludisme.

¹ Communauté de Développement de l'Afrique australe.

² Autorité intergouvernementale pour la Lutte contre la sécheresse et pour le Développement



- Les indicateurs de risque de transmission (comme une élévation inhabituelle de la pluviométrie) qui peuvent annoncer le moment où augmente la transmission du paludisme, deux à quatre mois avant la survenue d'une épidémie. Dans certaines situations, des pluies saisonnières plus abondantes que la moyenne peuvent être annoncées un à six mois à l'avance grâce à des prévisions climatiques saisonnières; il est donc possible de signaler au maximum dix mois à l'avance qu'une situation propice à une épidémie se prépare.
- Des indicateurs de détection précoce tirés des données des centres de soins sur la morbidité palustre, (utilisant les seuils épidémiques), qui peuvent servir à confirmer la survenue d'une situation épidémique et à prévoir l'ampleur de l'épidémie trois ou quatre semaines à l'avance.

L'exactitude de ces indicateurs et le temps de réaction qu'ils laissent sont en relation inverse. Par exemple, les prévisions saisonnières sont disponibles assez tôt dans le cycle de planification mais ne permettent guère de prédire le climat futur, alors que des systèmes de surveillance qui détectent une morbidité palustre plus élevée que la normale dans certaines régions peuvent donner le signal correct d'une épidémie en gestation, mais laissent peu de temps pour une prévention et une lutte efficaces. On trouvera présentée à la Figure 1 —Utilisation des indicateurs de pré-alerte dans le cycle de planification de la lutte antipaludique —une méthode à trois drapeaux dans laquelle tous les indicateurs sont utilisés. (Voir deuxième page de couverture.)

Des systèmes MEWS peuvent être institués à plusieurs niveaux, depuis le district jusqu'à la sous-région, les pays qui connaissent les mêmes problèmes travaillant en coopération. Comme les indicateurs proposés ci-dessus exigent des renseignements émanant des secteurs de la santé, de la météorologie et de l'agriculture, la première chose à faire est de s'assurer que ces secteurs s'entendent afin que s'instaurent des partenariats efficaces.

1.2 Le rôle d'un système de pré-alerte au paludisme

Le rôle que peut jouer un système MEWS pour lutter contre les épidémies et les atténuer est multiple et suppose que l'on sache :

- quels sont les district sujets à épidémie ;
- quelle est la population à risque – où, quand et qui – et donc quelle est l'ampleur de l'action à mener ;
- à quel moment prendre les décisions et lancer l'action ;
- quels seuils de surveillance permettent de reconnaître le début d'une épidémie naissante ;
- où et comment renforcer la surveillance de la maladie, et les endroits où il est nécessaire d'établir des sites sentinelles temporaires ou permanents ;
- quelles sommes investir pour assurer le fonctionnement d'un système efficace ;
- quelle logistique assurer pour les interventions ;
- quelles relations techniques et politiques entretenir avec les parties prenantes (encadré 1) et les décideurs.

Les renseignements obtenus et les rapports établis grâce au système de pré-alerte serviront à plusieurs groupes de personnes appartenant à différents secteurs de la société.

1.3 Objectifs du présent document

Le présent document vise à offrir :

- (a) un cadre conceptuel pour la mise en place d'un système MEWS à l'usage des pays africains ;
- (b) un choix d'indicateurs de risques de transmission du paludisme et de vulnérabilité qui peuvent être utilisés et testés dans des zones sujettes aux épidémies ;
- (c) un choix de méthodes pour la conception d'indicateurs de dépistage précoce (méthodes des seuils épidémiques) ;
- (d) une première liste de partenaires (nationaux, régionaux et internationaux) contribuant actuellement aux activités des systèmes de prévision/alerte rapide en Afrique, au sein et à l'extérieur du secteur de la santé.

Encadré 1. Les parties prenantes

- Les hommes politiques et leurs conseillers, qui peuvent orienter les fonds et les services vers les districts à risque ou vers les groupes vulnérables de ces districts
- Les représentants des pouvoirs publics et le personnel technique qui, aux niveaux national et infranational (provinces et districts), sont directement impliqués dans la recherche sur le paludisme/la santé, la planification, les interventions ou les contrôles.
- Les autorités locales qui sont responsables de la gestion au jour le jour des interventions.
- La société civile, en particulier ceux de ses membres (organisations non gouvernementales et communautaires) qui s'occupent des problèmes de santé de leurs communautés, et les divers acteurs du secteur privé qui fournissent des soins de santé.
- La communauté des donateurs, y compris les organes et organismes des Nations Unies, les donateurs bilatéraux et les ONG internationales dont les activités tournent autour de la prévention et de l'atténuation des épidémies de paludisme aux niveaux national et international.
- Les chercheurs, y compris ceux des universités locales et internationales et des instituts de recherche, les statisticiens des bureaux nationaux de la statistique, et quiconque se préoccupe du paludisme et des questions de santé.
- Les instituts de formation, en particulier ceux où les personnes déjà spécialisées dans des disciplines comme les statistiques, l'épidémiologie, la météorologie, la géographie, la cartographie, l'économie de la santé, la sociologie et la nutrition, reçoivent une formation transdisciplinaire à la gestion des épidémies de paludisme et aux systèmes d'information sur la vulnérabilité.
- Tout comité d'anticipation des catastrophes ou organisme équivalent.

2. LES EPIDEMIES DE PALUDISME EN AFRIQUE

Il n'existe pas de définition universelle de l'expression épidémie de paludisme, mais aux fins du présent document, on pourrait dire qu'il s'agit d' « une augmentation brutale de l'incidence du paludisme dans une population où la maladie était inconnue. Elle peut aussi s'appliquer à une augmentation saisonnière ou autre du paludisme clinique dans une zone où le paludisme est modérément endémique » (Gillies, 1993).

On peut considérer, d'une façon générale, que les épidémies de paludisme traduisent la perturbation d'un certain équilibre épidémiologique. Elles se produisent dans toutes sortes de situations et, bien qu'elles puissent être le résultat de plusieurs processus, il est souvent possible de les classer en fonction d'un facteur déterminant majeur. Par exemple, une épidémie peut se produire après la construction de barrages ou d'un système d'irrigation qui modifient l'environnement local et, par voie de conséquence, l'équilibre écologique existant jusqu'alors.

Une épidémie peut aussi se produire lorsque des populations à l'immunité partielle ou nulle migrent dans des régions d'endémicité plus forte pour fuir une situation politique ou économique instable. De temps à autre, une épidémie se produit du fait de l'importation, ou de l'invasion, d'une espèce exotique de vecteurs, qui modifie la capacité vectorielle de transmission locale. Cependant, une épidémie de paludisme est le plus souvent causée par des conditions météorologiques anormales, qui modifient temporairement l'équilibre écologique entre hôte(s), vecteur(s) et parasite(s). Les situations décrites ci-dessus ont été appelées « épidémies véritables » (Najera, 1998). En revanche, les « flambées résurgentes » résultent d'un échec des mesures de lutte avec dégradation de l'infrastructure sanitaire associée à la pharmacorésistance et à une résistance aux insecticides plus forte, qui favorisent la réémergence du paludisme dans des zones où il était maîtrisé jusqu'alors.



2.1 Les conséquences

Une épidémie de paludisme peut avoir des conséquences désastreuses pour l'individu, la cellule familiale, la communauté, la région et le pays, car elle peut :

- provoquer une morbidité et une mortalité palustre considérables dans la communauté touchée ;
- affaiblir les défenses des groupes vulnérables face aux maladies autres que le paludisme ;
- perturber gravement les services de soins de santé et entraîner une morbidité et une mortalité accrues toutes causes confondues ;
- avoir des conséquences à long terme sur la santé des enfants à naître (insuffisance pondérale à la naissance et mortalité néo/périnatale plus élevée) ;
- élever sensiblement les coûts des soins de santé curatifs et préventifs pour les ménages, les collectivités et les ministères de la santé ;
- provoquer une baisse de la production agricole et donc des pertes économiques (ou le recours aux bons d'alimentation) aussi bien pour les ménages que pour le commerce ;
- aboutir à un taux important d'absentéisme dans le monde scolaire et celui du travail ;
- perturber l'activité sociale, politique et économique d'une collectivité, d'un district/une province ou d'un pays, souvent avec des conséquences politiques graves.

Le paludisme est une maladie évitable et curable. Les principaux facteurs déterminants pour la survie des patients atteints de paludisme à *Plasmodium falciparum* sont : a) la vulnérabilité personnelle du patient (immunité, malnutrition, autres maladies, etc.) ; b) un diagnostic précoce et un traitement rapide par des médicaments antipaludiques efficaces (bien que, même avec un traitement efficace, le neuropaludisme cérébral soit encore mortel dans environ 20 % des cas). Des études menées dans les hôpitaux montrent qu'en moyenne, les symptômes ne sont évidents que deux jours avant que le patient ne se présente à l'hôpital et que la plupart des décès surviennent dans les 24 heures après l'admission à l'hôpital (Jaffer *et al.*, 1997).

Pour mettre en place un système MEWS, il est de la première importance de savoir que dans beaucoup de parties de l'Afrique, plus de 80 % des cas de paludisme et des décès qui s'ensuivent surviennent dans la communauté et ne sont enregistrés nulle part. Un système de pré-alerte peut favoriser la prise de mesures préventives et curatives au niveau communautaire.

Un tel système doit conduire directement aux contre-mesures à prendre à tel ou tel niveau pour maîtriser et/ou atténuer les effets d'une épidémie. La bonne exécution de ces mesures, qui est fonction de la capacité, des moyens et du domaine de compétence des organismes chargés de la lutte, assure une réaction efficace.

3. LES CONTRE-MESURES

Un système MEWS efficace doit être axé sur les principaux objectifs des contre-mesures, c'est-à-dire viser à :

3.1 Réduire les taux de létalité

Réduire les obstacles qui s'élèvent entre le patient et les soins par les mesures suivantes :

- mieux informer le public des symptômes du paludisme pour l'encourager à s'adresser assez tôt aux services de santé et soutenir les activités de lutte antipaludique (par la radio, la presse, des réunions dans les collectivités, l'entremise des chefs religieux, l'emploi des langues locales, etc.).
- faciliter l'accès aux services de santé sur le plan matériel (dispensaires mobiles, hôpitaux de campagne, médicaments à la disposition des agents sanitaires de village, mobilisation de moyens de transport pour les malades : véhicules, charrettes tirées par des ânes, éventuellement bateaux pendant les inondations, etc.).
- faciliter l'accès aux services de santé sur le plan économique (en modifiant les mesures concernant les frais, en offrant aux patients dirigés sur un centre plus important le transport à prix réduit/gratuit).

Réduire les contraintes qui pèsent sur les services de santé en s'attachant à :

- améliorer leur efficacité d'ensemble grâce à une infrastructure et à des ressources humaines mieux adaptées.
- améliorer le soutien spécifique qui leur est apporté en cas d'épidémie en leur fournissant en temps utile un appui financier et pratique pour qu'ils puissent disposer du personnel voulu et d'une provision suffisante de médicaments antipaludiques appropriés, de perfusions intraveineuses, d'une banque du sang, d'installations de transfusion, de lits, d'installations de diagnostic en laboratoire (y compris pour le dépistage du VIH), etc.

3.2 Réduire les risques d'épidémie

Améliorer la prévention et la prise en charge des cas en s'efforçant de :

- faire mieux connaître au public les activités de lutte antipaludique de la communauté pour l'encourager à participer à ces activités et à les appuyer sur le plan pratique et sur le plan financier;
- améliorer les installations de prise en charge des cas ;
- appliquer une chimioprophylaxie aux groupes vulnérables lorsque l'on sait que le traitement sera suivi ; ces groupes sont notamment :
 - a) les voyageurs en court séjour;
 - b) les femmes enceintes;
 - c) les enfants de moins de cinq ans des camps de réfugiés où une population non immune est installée dans une zone impaludée;
 - d) (rarement) toute une population non immune, lorsqu'elle est installée temporairement dans une zone impaludée.

Réduire les possibilités de transmission du paludisme (juste avant la survenue d'une épidémie attendue, ou pendant l'épidémie) en s'attachant à :

- réduire le nombre de porteurs de gamétocytes dans la population humaine en administrant à temps des médicaments antipaludiques gamétocytocides.

Réduire le nombre de moustiques porteurs de sporozoïtes en s'efforçant de :

- réduire la capacité de survie des moustiques par diverses mesures antivectorielles, notamment les pulvérisations à effet rémanent à l'intérieur des habitations ;
- dans certains contextes, réduire la densité de moustiques par une gestion ciblée de l'environnement et l'emploi de larvicides.

Réduire l'exposition humaine aux moustiques infectants par les moyens suivants :

- éloignement de la population des zones de transmission élevée (par exemple, attention portée à l'emplacement des camps de réfugiés/personnes déplacées) ;
- usage personnel plus répandu de moustiquaires et de tissus divers imprégnés d'insecticide (moustiquaires, vêtements, couvertures, rideaux, etc.)

Et mettre à profit tout savoir nouveau en matière d'alerte rapide.

³ La mise au point d'un langage commun est une condition essentielle à des activités multisectorielles. Les mots "risque" et "vulnérabilité" (voir appendice 5) sont largement utilisés dans la littérature relative à l'évaluation des risques environnementaux et de la sécurité alimentaire, et c'est dans ce contexte qu'ils sont employés dans le présent document.

⁴ Au cours de la période d'éradication du paludisme et immédiatement après, on a porté une grande attention aux différents types de « vigilance » nécessaires pour que les zones récemment « libérées » du paludisme le restent. Le choix du type de vigilance s'est fait sur les critères suivants : a) réceptivité, b) efficacité des services de santé ruraux, c) vulnérabilité. Ces termes sont définis à l'appendice 5.

⁵ Capacité vectorielle : nombre moyen de piqûres infectantes reçues de tous les vecteurs d'une population donnée, par un hôte en un seul jour; moyen commode de caractériser le risque de transmission du paludisme ou la réceptivité à cette maladie dans une zone déterminée (Gillies, 1993).



3.3 **Mettre en œuvre des contre-mesures adaptées**

Lorsque les indicateurs de vulnérabilité et de risque de transmission annoncent une épidémie, les organismes de lutte sont mieux armés pour suivre et évaluer l'évolution de la situation s'ils procèdent par étapes avant d'engager des ressources importantes. En particulier, les responsables de la santé doivent être au courant de tout facteur susceptible de provoquer une fausse alerte; ils doivent savoir, par exemple, qu'une épidémie ne suit pas forcément de fortes pluies si la population touchée est bien immunisée contre le paludisme, ou que l'augmentation du nombre de cas peut traduire un comportement de recours aux soins plutôt que la situation réelle (par exemple, la pénurie de personnel et de médicaments dans un centre de santé peut avoir pour résultat la diminution du nombre de patients qui s'y adressent et l'augmentation du nombre de cas enregistrés dans un centre voisin mieux doté).

Cependant, en raison de contraintes logistiques, il peut n'y avoir qu'une seule possibilité de fournir des ressources supplémentaires à un centre de santé et dans ce cas, une réaction progressive n'est pas toujours possible. Pour que la réaction soit efficace, le système MEWS doit faire partie intégrante des plans destinés à parer une épidémie de paludisme à l'échelle nationale ou à l'échelle d'un district. Les indicateurs de risque de transmission et de vulnérabilité doivent être continuellement réévalués et validés par rapport au nombre de cas de paludisme diagnostiqués en laboratoire.

4. **ANALYSE DE RISQUE**

Pour mettre au point un système MEWS capable d'indiquer dans quelle mesure une épidémie de paludisme peut se produire et quels risques la population court quant à ses effets dans le temps et dans l'espace, il nous faut d'abord préciser le sens des termes employés.

Dans le présent document, nous distinguons quatre stades dans le processus d'évaluation et de gestion du risque d'épidémie :

- Évaluation de la vulnérabilité³ – le mot « vulnérabilité » exprimant le degré de sensibilité des populations au potentiel de transmission du paludisme, qui diffère selon qu'elles ont été plus ou moins exposées à l'infection (par exemple, à la suite de mesures antivectorielles) ou selon qu'elles (ou les individus) sont plus ou moins capables d'affronter l'infection paludéenne (par exemple, du fait de leur état immunitaire ou nutritionnel, de certains facteurs génétiques, de leur accès à des soins de santé efficaces et de leur comportement de recours aux soins, etc.).
- Potentiel de transmission du paludisme⁴ – déterminé par la capacité vectorielle⁵ et le réservoir de gaméocytes dont disposent les espèces vectrices.
- Évaluation du risque – processus par lequel le potentiel de transmission du paludisme est évalué en fonction du degré de vulnérabilité de la population touchée.
- Prise de décision – dans laquelle l'évaluation du risque est prise en compte pour formuler les politiques, mobiliser les ressources et conduire l'action dans le cadre d'un plan d'action global de lutte antipaludique.

4.1 **Vulnérabilité et risque d'épidémie**

On a décrit les divers degrés d'endémicité du paludisme en Afrique à l'aide de toutes sortes de méthodes. Étant donné la nature complexe de la transmission de cette maladie, aucune d'entre elles ne donne entière satisfaction. On peut cependant voir que la plupart des zones d'endémicité sont situées quelque part entre les extrêmes que sont le paludisme stable et le paludisme instable, et donc évaluer approximativement la vulnérabilité de différents groupes en fonction des différents degrés d'endémicité (Tableau 1).

La condition essentielle d'une épidémie est l'existence d'un nombre assez grand de personnes vulnérables (sensibles) dont on peut prévoir qu'elles deviendront cliniquement malades lorsqu'elles seront exposées soudainement à l'infection.

Il y a donc une relation inverse entre l'endémicité et l'épidémicité. Par définition, les épidémies ne peuvent toucher les populations non vulnérables (non sensibles) des zones à forte endémicité, car ces populations se constituent de fortes défenses immunitaires dès leurs premières années. Dans ces populations, le groupe vulnérable (les enfants de moins de 5 ans et les primigestes) ne

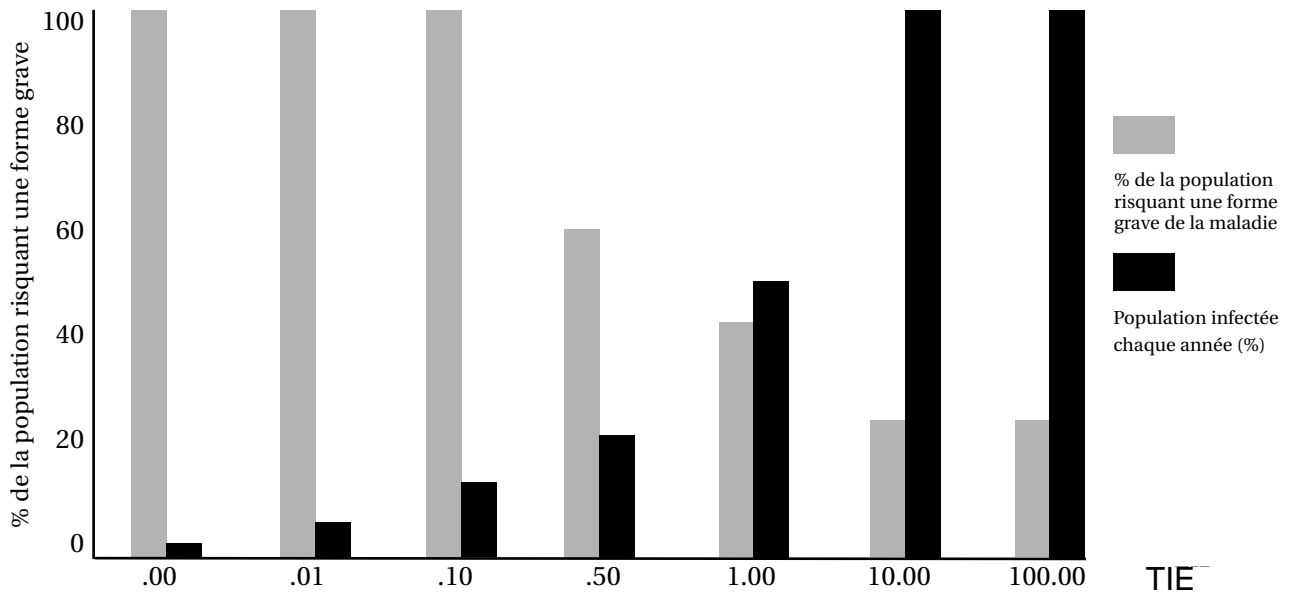


Figure 2. Pourcentage de la population susceptible de faire une forme grave de paludisme si elle est infectée et proportion du groupe vulnérable infecté lors d'une année moyenne, pour différentes valeurs théoriques du taux d'inoculation entomologique.

généralement le niveau de transmission du paludisme dans une collectivité. Ceux d'entre eux qui se rendent dans les zones rurales peuvent avoir des défenses immunitaires faibles et risquer une forme grave de la maladie et même la mort. Lorsque des populations urbaines fuient les grandes agglomérations dont elles sont chassées, elles peuvent être particulièrement vulnérables devant les épidémies de paludisme.

4.2 Processus de prise de décision

L'information sur le potentiel de transmission du paludisme, la vulnérabilité et l'évaluation des risques est utile aux particuliers, aux groupes et aux organisations qui doivent prendre des décisions concernant le risque éventuel d'une épidémie. Cette information peut être le fruit d'une recherche intuitive et qualitative comme de modèles statistiques et biologiques d'estimation des risques. Les décisions sont prises en partenariat par un certain nombre de parties prenantes dont le Ministère de la santé, des organisations internationales (comme l'ONU, la Banque mondiale), des organisations non gouvernementales (ONG) internationales et locales, des secteurs économiques importants comme l'agriculture et l'industrie, et enfin le grand public.

5. INDICATEURS DE TRANSMISSION ET DE VULNERABILITÉ

Il s'agit ici de définir les indicateurs de risque d'épidémie que l'on peut relever de manière systématique. Dans l'idéal, ces indicateurs de risque devraient être le produit d'une analyse systématique (sélection d'indicateurs reposant sur des bases factuelles), continue (collecte permanente des données, y compris enquêtes répétées), en fonction de la population (ensemble ou échantillons représentatifs de la population). Cependant, étant donné que l'on dispose de très peu de données épidémiologiques pour une pré-alerte, il est inévitable qu'au départ certains indicateurs soient le fruit d'hypothèses plutôt que de constatations factuelles.

5.1 Sélection des indicateurs

Il existe plusieurs techniques de sélection des indicateurs de risque, notamment des recherches dans la littérature pertinente, des enquêtes par la méthode Delphi (Sudre et al., 1990) et des ateliers de consensus entre experts, ou de nouvelles recherches faites sur commande. Il faudra de toute façon fixer des critères de sélection a priori tels que :

- données de validité prédictive prouvée (par la statistique ou par l'opinion d'experts) dans d'autres cadres et circonstances similaires;
- données disponibles à une échelle spatiale appropriée (village, établissement de santé, district, province, pays et région) ;

- données concernant la période de temps appropriée (par jour, semaine, décade (période de 10 jours), mois) ;
- données disponibles sous une forme utilisable (bulletins sur papier et électroniques, séries chronologiques, images quadrillées) ;
- données disponibles au moment et à l'endroit où elles sont demandées (équipe de santé de district/directeur de la lutte au plan national, dans la semaine où l'épidémie survient) ;
- indicateur de risque disponible assez tôt pour lancer une pré-alerte/détection précoce (au moins un mois avant le pic dans certains cas, mais jusqu'à un an à l'avance pour un système de pré-alerte efficace).

5.2 Indicateurs de transmission et de vulnérabilité dans différents contextes écologiques

Certains des avantages et des problèmes potentiels associés à l'utilisation d'indicateurs de risque écologique dans différents contextes écologiques en Afrique sont présentés aux Tableaux 2a) et 2b). Certains seulement des indicateurs décrits peuvent être mesurés de façon systématique. Le plus souvent, il s'agit de prévisions climatiques saisonnières et de morbidité/mortalité palustre. D'autres indicateurs de risque doivent être évalués au moment et à l'endroit où les données sont disponibles (par exemple la densité des vecteurs, l'état nutritionnel de l'hôte humain, la pharmacorésistance, etc.). Certains peuvent être déduits de divers indicateurs de substitution qui donnent une bonne idée de leur valeur relative. Par exemple, il n'existe pas de système de mesure de l'état immunitaire, mais l'on peut évaluer, par déduction, à quel niveau il se situe dans une population résidente grâce aux données suivantes :

- a) niveau de prévalence selon l'âge ;
- b) données sur les cas, ventilées par âge ;
- c) données anciennes et récentes sur la météorologie/l'environnement.

Environ 30 % des Africains vivent maintenant dans des villes situées dans tous les types d'environnement décrits. Les villes ont toujours un taux de transmission du paludisme plus faible que la normale relevée dans leur cadre écologique, généralement parce que les vecteurs du paludisme n'ont plus de gîtes larvaires (soit à cause d'un meilleur drainage des eaux, soit à cause de la pollution des sources locales à l'air libre qui les rend inutilisables par les anophèles spp). De plus, l'amélioration du statut socio-économique, en particulier du logement, peut aboutir à la réduction de la transmission du paludisme. Des inondations inhabituelles peuvent provoquer des épidémies dans les villes, comme cela s'est produit à Khartoum (Soudan) en 1988. Etant donné le niveau élevé de l'organisation administrative des villes, il est recommandé de combattre les vecteurs (par pulvérisation d'insecticides à effet rémanent, emploi de tissus traités aux larvicides et aux insecticides) chaque fois que possible.

5.3 Rôle des indicateurs dans l'alerte à l'épidémie

Il n'existe pas d'indicateur parfait d'une épidémie de paludisme. Ce sont les indicateurs relevés juste avant la période où une épidémie pourrait se déclarer (par exemple par la surveillance de la morbidité/mortalité palustre) qui pourraient donner les prévisions les plus exactes, mais le décalage entre le moment où ces indicateurs sont connus et l'épidémie sera très court et les services de santé auront peu de temps pour monter une opération efficace. A l'inverse, les prévisions climatiques saisonnières offrent la possibilité de prévoir une épidémie de paludisme des mois à l'avance (d'où leur grand intérêt pour les responsables de la planification de la lutte antipaludique). Cependant, ces prévisions ne sont exactes quant au paludisme que dans la mesure où elles donnent une idée juste du climat des saisons futures et où le climat saisonnier lui-même (par exemple, le total des précipitations saisonnières et/ou la température saisonnière moyenne) permet effectivement de prévoir une épidémie de paludisme.

Le rôle que peut jouer tel ou tel indicateur pour prévoir la distribution, le moment et la gravité de la transmission du paludisme est présenté à la Figure 3 : (voir troisième de couverture). La structure de ce modèle indique la séquence des événements qui déterminent le résultat effectif d'une prévision d'épidémie en commençant au tout début du cycle : une prévision climatique



Tableau 2a. Indicateurs de risque de transmission du paludisme dans certains contextes écologiques africains

	Réseaux d'irrigation dans les plaines semi-arides des régions chaudes	Systèmes hydrographiques des plaines semi-arides des régions chaudes	Précipitations saisonnières/ bimodales dans les plaines semi-arides des régions chaudes	Périphérie des déserts des plaines des régions chaudes	Périphérie des déserts des plaines des régions fraîches	Zones montagneuses des hauts plateaux d'Afrique australe	Illes africaines – la plupart sont montagneuses	Zones montagneuses au relief perturbé d'Afrique orientale, y compris zones à précipitations bimodales
Stations au sol	Gestion des eaux usées au niveau local	Stations hydrologiques locales le long de grands systèmes hydrographiques/barrages	Stations météorologiques nationales	Peu de stations météorologiques opérationnelles	Stations météorologiques nationales et stations complémentaires sur exploitations agricoles	Stations météorologiques généralement installées dans les vallées		
Température	Transmission non limitée par la température							
	Transmission limitée par la température. Température en relation inverse de l'altitude (gradient vertical de température). Le microclimat pour les moustiques à l'intérieur des habitations peut être de 1 à 5°C supérieur à la température mesurée aux stations météorologiques							
Précipitations	Les gîtes larvaires peuvent être influencés par des inondations locales dues soit à des modifications du niveau des rivières causées par des pluies dans le bassin versant ou des pratiques d'irrigation. La transmission dépend souvent des précipitations locales (et de l'humidité connexe) qui augmentent la capacité de survie des vecteurs.			A elles seules, les précipitations sont l'indicateur de risque le plus important. L'estimation des pluies (RPE) qui fait appel à l'imagerie satellitaire est la source la plus importante de données			Les précipitations pendant la fenêtre de température devraient être l'indicateur météorologique de risque le plus important	
Indice différentiel normalisé de végétation ⁷	Peut rendre compte du système hydrographique et du régime des crues			Indice saturé dans les zones forestières d'Afrique centrale/occidentale			Indice non saturé pendant la principale saison des pluies	
Eaux de surface	Les données satellites sont de bons indicateurs de substitution pour les régimes des crues et les systèmes d'irrigation sur les grandes étendues. (radar à ouverture synthétique, Landsat de NOAA-AVHRR, SPOT Vegetation)			Etude en cours de la possibilité d'utiliser les données de SPOT Vegetation pour suivre l'évolution des masses d'eau et des zones végétalisées pendant la saison des pluies à la périphérie des déserts			Des modèles d'accumulation des flux (tirés de modèles numériques de terrain) peuvent indiquer un système de captage de l'eau	
Exactitude des indicateurs de substitution obtenus par satellite	Le choix du système dépend de l'échelle spatiale et de l'utilisation soit d'une seule image pour établir la distribution des crues soit de plusieurs images pour la surveillance			Les indicateurs de substitution par données satellites fournissent de bonnes estimations des précipitations et indiquent aussi l'état de la végétation			Erreurs plus nombreuses dans les données satellites du fait du relief perturbé	

⁷ Indice satellite de végétation

Tableau 2b. Indicateurs de risque de vulnérabilité dans certains contextes écologiques d'Afrique

	Réseaux d'irrigation dans les plaines semi-arides des régions chaudes	Systèmes hydrographiques des plaines semi-arides des régions chaudes	Précipitations saisonnières/bimodales dans les plaines semi-arides des régions chaudes	Périphérie des déserts des plaines des régions chaudes	Périphérie des déserts des plaines des régions fraîches	Zones montagneuses des hauts plateaux d'Afrique australe	Iles africaines – la plupart des îles sont montagneuses	Zones montagneuses au relief perturbé d'Afrique orientale, y compris zones à précipitations bimodales
Immunité(de la population)⁸	L'immunité peut être élevée près des gîtes larvaires permanents		Immunité modérée à élevée	Immunité faible dans les zones où la transmission du paludisme est limitée par les précipitations (et parfois la température)		Immunité faible dans les zones où la transmission du paludisme est limitée par la température (qui agit sur la période d'incubation extrinsèque, le cycle gonotrophique ou la capacité de survie)		
Sécheresse prolongée	L'irrigation est continue, il existe des gîtes larvaires	La formation de fosses dans les cours d'eau peut favoriser la création de gîtes larvaires	Une sécheresse de 2 à 3 ans réduira la transmission et donc l'immunité. La sécheresse peut aussi abaisser la sécurité alimentaire, aggraver la malnutrition et accroître le risque de paludisme grave chez les sujets infectés					
Mouvements de population	Migration permanente ou saisonnière de travailleurs non immuns vers les réseaux d'irrigation	Migration permanente ou saisonnière de sujets non immuns vers un grand système fluvial – par exemple réoccupation des zones bordant le Niger au Burkina Faso après le Programme de lutte contre l'onchocercose	Les populations nomades migrent avec leur bétail vers les pâturages saisonniers			Un conflit peut chasser une population de montagnards. La réforme agraire peut pousser des montagnards à transférer leurs activités agricoles en plaine	Restrictions à la migration	Des programmes de réinstallation peuvent déplacer une population d'une zone montagneuse vers la plaine après des années de sécheresse, déboisement, érosion du sol, conflit, etc.
Lutte moins active	Programmes de lutte antivectorielle organisés par le secteur privé ou le secteur public		Programmes de lutte antivectorielle rares			Fréquentes pulvérisations d'insecticides à effet rémanent dans certaines zones Lutte antivectorielle à l'échelon local par le secteur privé	Les programmes de lutte antivectorielle ont pu être importants pendant la phase d'éradication	Pulvérisations d'insecticides à effet rémanent courantes dans certaines zones Lutte antivectorielle à l'échelon local par le secteur privé

⁸ L'immunité de la population urbaine est généralement plus faible que celle des zones rurales environnantes



saisonniers. Il est possible que seulement quelques-uns de ces indicateurs puissent être suivis systématiquement, mais l'intégralité du processus qui démarre avec les prévisions et aboutit aux décès par paludisme est présentée pour montrer les points forts et les points faibles des indicateurs utilisés à chaque étape (on trouvera aux Tableaux 3a à 3l le détail de ces indicateurs).

Les prévisions climatiques saisonnières (Tableau 3a) sont une indication du temps qu'il fera en moyenne sur une période de trois à six mois.

- Le temps (Tableau 3b), associé à la situation environnementale locale (Tableau 3c), permet de prévoir les facteurs qui tiennent aux vecteurs (espèces, dynamique des populations, cycle et capacité de survie).
- Les facteurs tenant aux vecteurs (Tableau 3d) associés au nombre de porteurs de gamétocytes dans la population (Tableau 3e) indiquent la capacité vectorielle et donnent une estimation du taux maximal d'inoculation entomologique.
- Le taux d'inoculation entomologique (Tableau 3f) associé à l'exposition des individus aux piqûres infectantes (Tableau 3g) permet de prévoir dans quelle mesure on peut s'attendre à ce que des individus soient infectés (et que le nombre de porteurs de gamétocytes augmente).
- L'infection palustre (Tableau 3h) associée à des facteurs de vulnérabilité comme l'état immunitaire (Tableau 3i) permet de prévoir dans quelle mesure on peut s'attendre à ce que des individus présentent les signes cliniques du paludisme.
- Le paludisme clinique (Tableau 3j), associé à d'autres indicateurs de vulnérabilité (Tableau 3k) comme l'état immunitaire, l'état nutritionnel, le comportement de recours aux soins et l'accès à des soins de santé efficaces, permet de prévoir dans quelle mesure on peut s'attendre à ce qu'un cas clinique aboutisse à un décès par paludisme (Tableau 3l).

Ainsi, il faut tenir compte du niveau de la probabilité de prédiction de chaque stade, en relation avec les étapes suivantes, lorsque l'on a recours à des indicateurs de risque pour prévoir une épidémie de paludisme.

5.4 Indicateurs utiles pour le cycle de planification

Les activités de lutte antipaludique sont planifiées chaque année. Les indicateurs de transmission et de vulnérabilité s'inscrivent dans ce cycle annuel de la façon suivante :

Réunion annuelle avant la saison des pluies

- Mise à jour de la carte nationale des risques de paludisme – à partir des éléments suivants : carte de stratification (sur la base des « normales » climatiques à longue échéance), taux d'incidence et indicateurs de vulnérabilité passés, tels que les sécheresses des deux ou trois années précédentes (pour indiquer les zones où l'immunité a peut-être baissé à cause d'une période récente de faible transmission), mouvements de population, échecs récents des mesures, zones de pharmacorésistance croissante, etc.
- Prévisions climatiques saisonnières.

Surveillance courante en saison des pluies

- Mise à jour des prévisions climatiques saisonnières.
- Veille météorologique.
- Surveillance de l'état de l'environnement local.
- Surveillance des mouvements de population internationaux et à l'intérieur du pays.

Surveillance courante pendant la saison du paludisme

- Mise à jour des prévisions climatiques saisonnières.
- Veille météorologique
- Surveillance de l'état de l'environnement local.
- Surveillance des mouvements de population à l'échelle internationale et à l'intérieur du pays.
- Surveillance de la morbidité et de la mortalité palustres.

Tableau 3a. Prévisions climatiques saisonnières

Données	Elaboration d'indicateurs mesurables	Utilisations possibles pour un système MEWS
<p>Prévisions climatiques saisonnières basées sur des modèles statistiques. Ces modèles n'exigent ni superordinateurs ni paramétrisation détaillée de l'atmosphère, mais reposent sur des relations statistiques empiriques entre ensembles d'observations historiques telles que : précipitations, températures de surface de la mer (SST), configuration des vents et phénomènes météorologiques.</p>	<p>Analyse de séries chronologiques du climat saisonnier prévu par rapport aux conditions météorologiques réelles ou à la morbidité/mortalité palustre (voir Tableaux 3j et 3l). Possibilité d'élaborer des modèles prévisionnels si l'on dispose des séries chronologiques longues de maladies et de données prévisionnelles</p>	<p>Délai d'avertissement : 6 à 10 mois avant l'apparition des cas de paludisme Echelle temporelle : mise à jour mensuelle Echelle spatiale : province/pays Sources : <i>Modèle statistique</i> : élaboré par les services météorologiques nationaux (par exemple, en Afrique du Sud et en Ethiopie). <i>Modèle dynamique</i> : services météorologiques nationaux, instances climatologiques régionales. Instituts internationaux de prévision : ACMAD, IRI, CEPMMT, S.A. & UK Met Office, etc. Exactitude : les prévisions climatiques saisonnières sont un art imprécis. Au mieux, elles sont correctes 6 ou 7 années sur 10. Cela signifie qu'elles sont supérieures aux prévisions au hasard (elles ont une certaine qualité) et que leur probabilité de prévision peut être constante (elles sont fiables), mais qu'elles ne peuvent donner une prévision exacte du climat des saisons suivantes.</p> <p><i>Modèle statistique</i> : actuellement, les modèles statistiques entraînés sur des données historiques donnent souvent des prévisions saisonnières de qualité pour les régions tropicales (Palmer et Anderson, 1994). Ces modèles sont souvent limités quant à la zone géographique concernée et au moment de l'année.</p> <p><i>Modèle dynamique</i> : ces modèles ont encore été peu validés jusqu'à présent mais d'après les premières indications, ils auraient à la fois qualité et fiabilité (Palmer et al., sous presse). Les systèmes multimodèles sont plus performants que les systèmes à modèle unique et ont l'avantage de signaler les périodes pendant lesquelles la synergie des modèles indique une forte probabilité que les prévisions soient de qualité</p> <p>En général, les prévisions sont d'autant plus justes qu'elles sont proches du moment sur lequel elles portent. Elles ne sont utiles que dans des régions spécifiques et, comme les modèles statistiques et dynamiques reposent en très grande partie sur les températures de la surface de la mer, c'est pendant les années où sévisent El Niño/la Niña qu'ils sont les plus performants.</p>
<p>Prévisions climatiques saisonnières fondées sur des modèles dynamiques. Les résultats des modèles qui représentent une distribution de la probabilité des climats saisonniers futurs sont résumés et comparés à la norme pour repérer les anomalies dans les prévisions saisonnières.</p>	<p>Distribution de la probabilité des anomalies climatiques saisonnières prévues, présentée sur un tableau à multiples entrées avec la morbidité palustre inférieure à la moyenne, moyenne et supérieure à la moyenne.</p>	



Tableau 3b. Le temps

Données	Elaboration d'indicateurs mesurables	Utilisations possibles pour un système MEWS
<p>Précipitations.</p> <p>Précipitations (mm) mesurées par les stations au sol</p> <p>Précipitations (mm), estimations à partir de données satellites.</p> <p>Indice différentiel normalisé de végétation en tant qu'indicateur de substitution des précipitations dans les zones semi-arides.</p>	<p>Pluviométrie par jour, semaine, décade, mois ; nombre de jours de pluie, précipitations anormales (comparaison entre les précipitations de la saison en cours et celles des 2 ou 3 années précédentes).</p> <p>Comme ci-dessus, mais seulement pendant la « fenêtre » de température favorable à la transmission dans les zones où la température freine la transmission.</p>	<p>Délai d'avertissement : jusqu'à 4 mois avant le pic.</p> <p>Echelle temporelle : pour les stations météorologiques : un jour et plus ; pour les données satellites : le plus souvent dix jours (décade) ou un mois.</p> <p>Echelle spatiale : observations ponctuelles de stations météorologiques (en Afrique, rares et dispersées le plus souvent). Résolution de 5 kilomètres pour les estimations de précipitation de Météosat. Au mieux 1 kilomètre pour l'indice différentiel normalisé de végétation et pour la température superficielle des terres donnés par NOAA- AVHRR et SPOT Vegetation.</p> <p>Sources : données des stations : services météorologiques nationaux/locaux, agriculture marchande. OMM.</p>
<p>Température ambiante.</p> <p>Températures relevées par les stations au sol.</p> <p>Température superficielle des terres (relevée par satellite).</p>	<p>Analyse combinée des précipitations, de la température et, si possible, de l'hygrométrie par rapport à la morbidité/mortalité palustre (voir tableau 3j et 3l) par l'analyse multivariée de séries chronologiques.</p> <p>Estimation du délai entre les phénomènes météorologiques et les cas de paludisme.</p>	<p>Exactitude :</p> <p>Dans les zones semi-arides, pluviomètres jusqu'à 50 % d'exactitude pour 15 kilomètres. Le système RFE fournit des données plus proches de la réalité que l'interpolation des données des stations pluviométriques (Hay et Lennon, 1999).</p> <p>Interpolation des données des stations de mesure de la température tenant compte de l'altitude > données satellites (Hay et Lennon, 1999). L'exactitude varie selon que le relief est plus ou moins perturbé.</p>
<p>Humidité relative⁹ relevée dans les stations au sol.</p>	<p>Essais d'un modèle de transmission du paludisme basé sur le climat pour vérifier les liens et les temps de battement entre précipitations, température et cas (Worrall <i>et al.</i>, 2000).</p>	<p>Note :</p> <p>La température du microclimat des moustiques (par exemple, à l'intérieur d'une habitation) peut être entre 1 et 5°C plus élevée que celle donnée par la station météorologique la plus proche.</p>

⁹ On a souvent dit qu'il n'y avait épidémie de paludisme que lorsque l'humidité était élevée (>60 %). Bien que non vérifiée dans les règles, cette affirmation paraît raisonnable.

Tableau 3c. Environnement local

Données	Elaboration d'indicateurs mesurables	Utilisations possibles pour un système MEWS
<p>Limnimétrie¹⁰ (données des stations hydrologiques)</p> <p>Superficie des eaux de surface (données satellites¹¹)</p> <p>Humidité du sol (données de modèles hydrologiques et/ou données satellites)</p> <p>Etat de la végétation (indice différentiel normalisé de végétation ou autre indice de la végétation par données satellites)</p>	<p>Analyse de séries chronologiques de limnimétrie, superficie des eaux de surface, humidité du sol ou indice différentiel normalisé de végétation par rapport à la morbidité/mortalité palustre (voir Tableaux 3j et 3l)</p> <p>Delai estimatif entre les indicateurs et les cas de paludisme (compte tenu des précipitations/de l'humidité et de la température)</p> <p>Analyse spatiale des cas par rapport aux crues compte tenu d'une distance de vol du vecteur estimée entre 1 et 2 kilomètres</p>	<p>Délai d'avertissement : 2 à 6 mois entre limnimétrie/eaux de surface et humidité du sol d'une part et cas de paludisme de l'autre, mais un mois seulement entre l'indice normalisé différentiel de végétation et les cas (Hay <i>et al.</i>, 1998b ; Thomson <i>et al.</i>, 1996).</p> <p>Echelle temporelle : données quotidiennes pour les pluviomètres, hebdomadaires ou décennales pour les satellites.</p> <p>Echelle spatiale : données ponctuelles pour les limnimètres, 100 m. à 16 kilomètres pour les satellites.</p> <p>Sources : données hydrologiques régulièrement relevées dans certaines zones, données satellites à faible résolution spatiale (8 kilomètres) disponibles tous les dix jours gratuitement pour l'Afrique (par exemple, par l'ADDIS) ou par des récepteurs locaux, données de SPOT Vegetation désormais disponibles à 1 km en temps quasi réel, mais payantes. Des données à haute résolution peuvent être fournies à des zones qui connaissent des problèmes spécifiques, mais sont souvent coûteuses et exigent un traitement long et complexe.</p> <p>Exactitude : les données ponctuelles sont plus exactes que les données satellites qui rassemblent les données environnementales relevées sur de vastes zones. Peu de produits des données satellites ont été validés.</p> <p>Cependant, les données ponctuelles doivent souvent être interpolées, ce qui limite leur exactitude.</p>

¹⁰ Le moment de la crue peut ne pas correspondre aux précipitations locales car il dépend des précipitations dans l'ensemble du bassin hydrographique.

¹¹ Les données satellites à haute résolution spatiale obtenues par des systèmes satellites équipés de radars (par exemple, ERS-1) peuvent être particulièrement utiles pour indiquer les zones inondées aux organismes de secours.



Tableau 3d. Vecteurs

Données	Elaboration d'indicateurs mesurables	Utilisations possibles pour un système MEWS
<p>Espèces vectorielles (signalent la compétence vectorielle et le comportement des vecteurs).</p> <p>Densité vectorielle¹²</p> <p>Cycle gonotrophique</p> <p>Capacité de survie</p> <p>Indice d'anthropophilie</p>	<p>La répartition des espèces/sous-espèces vectorielles dans l'espace et le temps est fortement influencée par des facteurs environnementaux. On peut établir les cartes de la répartition vectorielle grâce à des modèles établis à partir de données environnementales (Lindsay <i>et al.</i>, 1998).</p> <p>Au moyen d'appâts humains, de pièges lumineux ou par capture après pulvérisation de pyréthre.</p> <p>Possibilité d'estimer la durée du cycle gonotrophique à partir des données sur la température ambiante.</p> <p>On peut estimer la capacité de survie à partir des éléments suivants : parité, taux d'oocystes tardifs (rétention des œufs). Il serait bon d'étudier la survie estimative au moyen de mesures de substitution comme la température et l'humidité de l'environnement.</p> <p>On peut facilement mesurer l'indice d'anthropophilie par les techniques ELISA.</p> <p>Ces variables permettent de décrire la capacité vectorielle¹² d'une zone.</p>	<p>Délai d'avertissement : les modifications de la densité vectorielle peuvent signaler deux à quatre semaines à l'avance une augmentation des cas de paludisme.</p> <p>Echelle temporelle : quotidienne.</p> <p>Echelle spatiale : données ponctuelles.</p> <p>Sources : quasi inexistantes : études spécialisées mais impropres – sauf circonstances exceptionnelles – à l'utilisation courante dans un système de pré-alerte en Afrique.</p> <p>Exactitude : Pour les études entomologiques, l'exactitude est liée à la taille de l'échantillon et à la mesure dans laquelle les méthodes de collecte garantissent que l'échantillon est représentatif de la population étudiée. Le grand problème du recours à la densité vectorielle pour l'alerte à l'épidémie est que dans la plupart des zones, les données de base sont rares ou inexistantes.</p> <p>Les estimations de la capacité vectorielle basées sur des données environnementales se heurtent à des difficultés non négligeables. Il n'y a pratiquement pas de données sur l'interaction entre variables climatiques et populations d'<i>An. gambiae</i> et <i>An. Funestus</i>. Les données publiées renvoient invariablement à des vecteurs non-africains et les quelques travaux concernant <i>An. gambiae</i> s.l. ne sont pas publiés. Là où existent les installations et les compétences, il serait extrêmement utile d'orienter la recherche vers l'évaluation des facteurs environnementaux qui peuvent servir à prévoir les processus entomologiques/parasitologiques.</p>

¹² Capacité vectorielle : taux quotidien d'inoculations futures découlant d'un cas infecté.

Tableau 3e. Le parasite dans le moustique

Données	Elaboration d'indicateurs mesurables	Utilisations possibles pour un système MEWS
Cycle sporogonique	La durée du cycle sporogonique peut être déduite de données sur la température ambiante	Délai d'avertissement : pour mesurer le taux d'inoculation entomologique (voir Tableau 3f)
Indice sporozoïtaire	Indice déterminé par dissection et par titrage immuno-enzymatique (ELISA) (Beier <i>et al.</i> , 1990)	Echelle temporelle : quotidienne Echelle spatiale : données ponctuelles
Indice oocystique	Il peut être déterminé par dissection L'exactitude de l'indice sporozoïtaire/oocystique estimé à partir d'échantillons de terrain dépend de la taille des échantillons	Sources : quasi inexistantes : les données tirées d'études spécialisées seulement ne conviennent pas – sauf circonstances exceptionnelles – à une utilisation habituelle pour les systèmes de pré-alerte en Afrique.



Tableau 3f. Taux d'inoculation entomologique

Données	Elaboration d'indicateurs mesurables	Potential use in MEWS
Taux d'inoculation entomologique (h) ¹³	<p>$H = ma \times s$</p> <p>Produit de l'indice sporozoïtaire (s) (voir Tableau 3e) multiplié par l'indice d'agressivité (ma) (voir Tableau 3d)</p> <p>L'exactitude de la mesure du taux d'inoculation entomologique dépend de la taille plus ou moins grande de l'échantillon utilisé pour estimer l'indice sporozoïtaire, et de la mesure dans laquelle les estimations de l'indice d'agressivité se rapprochent de la réalité</p>	<p>Délai d'avertissement : 2 semaines</p> <p>Echelle temporelle : quotidienne</p> <p>Echelle spatiale : données ponctuelles</p> <p>Sources : quasi inexistantes : études spécialisées uniquement (Hay <i>et al.</i>, 2000)</p> <p>Exactitude : des modifications temporelles d'un taux d'inoculation entomologique mesurées avec exactitude doivent être les meilleurs signes avant coureurs de modifications temporelles dans la transmission du paludisme.</p> <p>Selon certains, il serait bon que des indicateurs de risque comme les précipitations conduisent à surveiller le taux d'inoculation entomologique (Onori et Grab, 1980)</p> <p><i>Cette mesure n'est ni pratique ni rentable dans la plupart des régions d'Afrique pour les raisons suivantes :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Le temps de battement entre le moment où un sujet reçoit une piqûre infectante et celui où il tombe malade est très court (8 à 10 jours en moyenne) • Les compétences en matière d'entomologie sont insuffisantes (mais devraient être renforcées) • Dans la plupart des districts à risque, on aura peu – ou pas – de données de base permettant de faire des comparaisons (mais il faut encourager leur acquisition) • <i>Il faut pouvoir procéder à des prélèvements sur un grand nombre de sites pour savoir ce qui se passe dans une communauté et réunir de grands échantillons de moustiques pour évaluer le taux sporozoïtaire réel pendant une période déterminée, ce qui demande beaucoup d'argent et de temps.</i>

¹³ Les indicateurs entomologiques/parasitologiques les plus simples qui puissent être utilisés pour mesurer l'impact d'une intervention – indiquant la capacité de survie et mesurant la proportion des repas de sang qui infectent les moustiques et donnant aussi une estimation du taux d'inoculation entomologique – sont la parité (voir ci-dessus) et l'indice oocystique (Charlwood *et al.*, 1997).

Tableau 3g. Le parasite dans l'homme (infection palustre)

Données	Elaboration d'indicateurs mesurables	Utilisations possibles pour un système MEWS
<p>Prévalence parasitaire (stades sexué ou asexué)</p>	<p>On peut évaluer la prévalence parasitaire (d'où peut se déduire la prévalence des gamétocytes), ou la prévalence des gamétocytes et des trophozoïtes, en procédant à des enquêtes transversales lorsque l'on dispose d'outils de diagnostic pour évaluer la présence, l'identité et le stade de développement des plasmodies</p> <p>Des enquêtes répétées sur une période relativement courte peuvent servir d'enquêtes de substitution sur l'évolution des tendances de la morbidité palustre dans certains contextes (Delacollette et Van der Stuyft, 1993)</p>	<p>Délai d'avertissement : n.d..</p> <p>Echelle temporelle : n.d.</p> <p>Echelle spatiale : données ponctuelles</p> <p>Sources : quasi inexistantes : études spécialisées seulement</p> <p>Exactitude : l'incidence parasitaire ne peut être mesurée que dans une population non infectée exposée à la transmission du paludisme (par exemple lorsque des antipaludiques ont chassé les parasites). Les taux d'incidence donneront un tableau quasi-parfait des fluctuations du paludisme dans le temps, mais il est impossible de les relever de façon régulière.</p>
<p>Mouvements de population Inattendus (Réfugiés/rapatriés) Saisonniers</p>	<p>Les mouvements de population d'une zone d'endémie à une zone de transmission modérée peuvent provoquer une épidémie parmi la population locale par augmentation du nombre de porteurs de gamétocytes qui peuvent infecter la population locale de vecteurs..</p>	<p>Délai d'avertissement : dépend du décalage avec la principale saison de transmission</p> <p>Echelle temporelle : hebdomadaire/mensuelle.</p> <p>Echelle spatiale : données aux frontières, chiffres du recensement.</p> <p>Sources : ministères de l'intérieur et des affaires étrangères.</p> <p>Exactitude : variable ; selon toute probabilité, un mouvement de population ne passera pas inaperçu aux yeux des autorités en cas de a) passage d'une frontière internationale, b) crise.</p>



Tableau 3h. Exposition à l'infection palustre

Données	Elaboration d'indicateurs mesurables	Utilisations possibles pour un système MEWS
<p>Exposition de l'individu (probabilité d'être piqué par un vecteur)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • domicile proche d'un gîte larvaire • type d'habitation • exposition aux piqûres des vecteurs du fait de la profession • âge, sexe, taille, grossesse 	<p>Délai d'avertissement : n.d.</p> <p>Echelle temporelle : n.d.</p> <p>Echelle spatiale : indique les sous-groupes (âge, sexe, profession, statut social, etc.) dans une population à risque maximal d'infection.</p> <p>Sources : enquêtes démographiques de routine, études locales spécialisées.</p> <p>Exactitude : données de qualité très variable</p>
<p>Exposition de la population modifiée par les activités de lutte antipaludique, comme les pulvérisations à effet rémanent ou le traitement des moustiquaires de lit aux insecticides</p>	<p>Pourcentage de la population à risque protégée par des pulvérisations à effet rémanent, des moustiquaires de lit, des moustiquaires imprégnées d'insecticide</p> <p>Pourcentage par âge/sexe des sujets protégés/exposés</p> <p>Quantité d'insecticide/nombre de moustiquaires distribuées</p> <p>Calendrier des activités de lutte (pulvérisation, imprégnation de moustiquaires)</p>	<p>Délai d'avertissement : n.d.</p> <p>Echelle temporelle : on peut observer une recrudescence au bout d'un ou deux ans si des mesures de lutte ont échoué dans des zones où le paludisme est encore endémique, mais au bout de nombreuses années (>10 ans) seulement si le paludisme a été éradiqué efficacement.</p> <p>Echelle spatiale : villages ou districts.</p> <p>Sources : services de lutte antipaludique du ministère de la santé, ou études spécialisées.</p> <p>Exactitude : données de qualité très variable.</p>

Tableau 3i. Vulnérabilité au paludisme clinique

Données	Elaboration d'indicateurs mesurables	Utilisations possibles pour un système MEWS
<p>Immunité (maternelle et acquise)</p> <p>Ce facteur est à lui seul le plus important pour déterminer si un sujet tombe malade ou non après avoir été piqué par un vecteur infectant. Les groupes dont l'immunité acquise a été affaiblie (femmes enceintes, femmes enceintes porteuses du VIH) ou ne s'est pas développée (jeunes enfants, sujets vivant habituellement dans des zones exemptes de paludisme) sont particulièrement vulnérables.</p>	<p>Il n'y a pas de mesure directe de l'immunité des individus. On peut déduire le niveau relatif d'immunité de la population d'indicateurs d'endémicité comme la prévalence parasitaire dans des groupes d'âge spécifiques (Gillies, 1993). Si l'on ne dispose pas de cette information, on peut déduire l'endémicité (et donc l'immunité probable de la population) de la stratification environnementale. Des modifications récentes des indicateurs météorologiques/écologiques (par exemple, une sécheresse récente prolongée (voir Tableau 2b)) peuvent indiquer de récentes modifications de l'immunité.</p> <p>L'immunité peut aussi être déduite :</p> <ul style="list-style-type: none"> des épidémies passées. Les épidémies précédentes (selon une définition normalisée) indiquent, à partir d'un ensemble de facteurs de risque et de vulnérabilité (y compris une faible immunité périodique ou permanente) qu'une zone particulière peut être prédisposée aux épidémies. <p>Mouvements de population :</p> <p>Cette information sert de mesure de substitution de l'immunité dans la mesure où la migration interne d'une population venant d'une zone non impaludée peut avoir pour résultat la présence d'un grand nombre de sujets non immuns dans la population d'accueil. Une épidémie peut se produire dans ce groupe sans apparaître dans les statistiques touchant la communauté tout entière.</p> <p>Différences dans les poids de naissances</p> <p>En Afrique, le paludisme est l'une des principales causes d'insuffisance pondérale des premiers nés. Comme le poids de naissance et la parité sont systématiquement consignés dans de nombreuses maternités d'Afrique, on a pensé que cette information pouvait être utilisée sans difficulté pour surveiller la transmission du paludisme et l'exposition à cette maladie chez les femmes enceintes, ainsi que l'efficacité de la lutte antipaludique en ce qui concerne ce groupe à haut risque (Brabin <i>et al.</i>, 1999).</p>	<p>Délai d'avertissement : n.d.</p> <p>Echelle temporelle : si disponible</p> <p>Echelle spatiale : données ponctuelles émanant des villages/établissements de soins.</p> <p>Sources : archives nationales, ARMA, HIMAL (Cox <i>et al.</i>, 1999), publications et littérature grise, comme celles de RBM/OMS (Snow <i>et al.</i>, 1999b). Les collectes de données diffèrent d'un endroit à l'autre et se concentrent dans un petit nombre de pays.</p> <p>Exactitude : la qualité des données diffère d'une étude à l'autre. Les preuves d'une épidémie sont souvent fondées sur des données cliniques, il est donc très important de les étayer (en particulier par des données de laboratoire).</p>
Génétique	Il a été démontré que plusieurs variantes de l'hémoglobine déterminées génétiquement (par exemple, les hématies falciformes) assurent une certaine protection contre la morbidité/mortalité palustre.	

Tableau 3j. Le paludisme clinique

Données	Elaboration d'indicateurs mesurables	Utilisation possibles pour un système MEWS
<p>Morbidity</p> <p>Registers of health agents of village</p> <p>Data from consultations external to sentinel sites (designated as sentinel sites).</p> <p>Certain establishments can provide information on the clinical diagnosis of patients external to the village, their age, sex and origin</p>	<p>Number of cases</p> <p>Morbidity rate</p> <p>Analysis of time series of cases/rate in relation to temporal, environmental, meteorological data</p> <p>Epidemiological thresholds : definition and evaluation of sensitivity and predictive value</p>	<p>Delay of warning : the epidemic threshold can be calculated, which can give a month of warning before the maximum morbidity</p> <p>Temporal scale : monthly (or weekly) if the establishment of care is designated as a sentinel site)</p> <p>Spatial scale : data from specific establishments of districts</p> <p>Sources : data collected systematically in all establishments of care</p> <p>Exactitude : These estimates are reasonably the most reliable to obtain - their main limits are that they are often based on the clinical diagnosis of malaria which can be very misleading in certain circumstances</p>
<p>Rate of positivity of test strips</p> <p>Blood/urine positivity rate of test strips</p>	<p>The positivity of test strips indicates the variation of monthly/annual and seasonal effectiveness of the test strips for the presence of malaria.</p>	<p>Delay of warning : report of test strips to the alert thresholds of morbidity/mortality.</p> <p>Temporal scale : monthly or weekly if the laboratory is a designated sentinel site.</p> <p>Spatial scale : data from districts.</p> <p>Sources : data collected systematically in all laboratories.</p> <p>Exactitude : it can be very different in quality between the diagnostics of different laboratories.</p>

¹⁴ Test immunochromatographic rapid test strips

Tableau 3k. Vulnérabilité face à la maladie grave et à la mort

Données	Elaboration d'indicateurs mesurables	Utilisations possibles pour un système MEWS
Comportement de recours aux soins.	<i>Le recours trop tardif à des soins de santé efficaces est souvent le premier facteur déterminant de la mortalité</i>	<p>Délai d'avertissement : n.d.</p> <p>Echelle temporelle : si disponible.</p> <p>Echelle spatiale : données ponctuelles émanant des villages/établissements de santé.</p> <p>Sources : études spécialisées.</p> <p>Exactitude : la qualité des données varie considérablement et peut évoluer au fil du temps.</p>
Immunité	Voir Tableau 3i	<p>Délai d'avertissement : n.d.</p> <p>Echelle temporelle : si disponible.</p> <p>Echelle spatiale : données ponctuelles émanant des villages/établissements de santé.</p> <p>Sources : enquêtes de prévalence du paludisme, enquêtes nutritionnelles, enquêtes sur le VIH.</p> <p>Exactitude : la qualité des données varie considérablement.</p>
Pharmacorésistance	<p>Il faut procéder régulièrement à des tests de pharmacosensibilité.</p> <p>Rapport d'experts sur l'efficacité des médicaments dans la réduction de la mortalité.</p>	<p>Délai d'avertissement : n.d.</p> <p>Echelle temporelle : si disponible.</p> <p>Echelle spatiale : données ponctuelles émanant des centres de santé, laboratoires de diagnostic.</p> <p>Sources : enquêtes sur l'efficacité thérapeutique dans des sites représentatifs.</p> <p>Exactitude : la qualité des données varie considérablement.</p>
Malnutrition chronique	Rapport de probabilité de mortalité pour des malades du paludisme et malnutris et malades non-malnutris.	<p>Délai d'avertissement : n.d.</p> <p>Echelle temporelle : si disponible.</p> <p>Echelle spatiale : données ponctuelles émanant de villages/établissements de santé.</p> <p>Sources : enquête nutritionnelle transversale de routine ou centres de soins aux mères et aux enfants.</p> <p>Exactitude : la qualité des données varie considérablement</p>
Fourniture de services de santé	<p>Analyse de la distribution de médicaments aux zones périphériques : qui a accès aux soins de santé et où (par exemple, cartographie de la répartition des installations et des moyens d'accès – comme au Tigré (Ghebreyesus <i>et al.</i>, 1999b)).</p> <p>Analyse et cartographie des problèmes de logistique au cours d'une épidémie (par exemple crues).</p>	<p>Délai d'avertissement : n.d.</p> <p>Echelle temporelle : si disponible.</p> <p>Echelle spatiale : district, village ou établissement de soins.</p> <p>Sources : études spécialisées, système d'information sanitaire, audit, inventaire de l'équipement.</p> <p>Exactitude : la qualité des données est extrêmement variable.</p>



Tableau 31. Le paludisme, maladie grave et cause de mortalité

Données	Elaboration d'indicateurs mesurables	Utilisations possibles pour un système MEWS
<p>Morbidité grave et mortalité</p> <p>Données sur les entrées et les sorties des hôpitaux</p> <p>Informations disponibles sur le diagnostic (primaire et secondaire), les complications, la durée du séjour, les résultats des tests sur lame et l'issue.</p> <p>Information sur l'âge et le sexe du patient et son village d'origine souvent consignée également</p>	<p>Nombre de cas de morbidité grave/mortalité</p> <p>Analyse de séries chronologiques de cas/taux par rapport aux données sur l'environnement et les conditions météorologiques de la période étudiée.</p> <p>Seuils épidémiques : définition et évaluation d'un seuil épidémiologique approprié par l'évaluation de la spécificité, de la sensibilité et de la valeur prédictive</p> <p>Taux de létalité : informe sur la vulnérabilité des malades/l'augmentation inhabituelle du nombre de cas. Peut indiquer une mauvaise prise en charge des patients admis</p> <p>Temps de battement (pour raisons diverses) entre les symptômes et l'admission/le traitement</p>	<p>Délai d'avertissement : on peut calculer le seuil épidémique et disposer ainsi de deux à quatre semaines avant le pic des décès par paludisme.</p> <p>Echelle temporelle : mensuelle (ou hebdomadaire si l'hôpital est désigné comme site sentinelle).</p> <p>Echelle spatiale : données ponctuelles des établissements de soins ou données à l'échelle des districts obtenues par Aerial.</p> <p>Sources : données recueillies systématiquement dans tous les hôpitaux.</p> <p>Exactitude : il y a tout lieu de penser que ces données sont les plus exactes dont on dispose dans de nombreux pays parce que l'on se sera efforcé de diagnostiquer correctement le cas des patients assez gravement atteints pour être hospitalisés. Les données sur l'incidence recueillies dans les hôpitaux (à partir du nombre de cas et de la taille de la population desservie par l'hôpital) ne traduisent peut-être pas toujours correctement les taux d'incidence dans la communauté, en particulier du fait que les données sur les cas peuvent reposer sur le diagnostic clinique, et/ou être biaisées pour ce qui est de la population touchée.</p>

5.5 **Elaboration d'indicateurs qualitatifs de risque d'épidémie**

La première étape peut être un atelier réunissant des représentants de tous les secteurs pertinents, au cours duquel des indicateurs de risque (touchant aussi bien la vulnérabilité que la capacité vectorielle) sont définis pour leur pays/zone par des administrateurs de la santé publique responsables à l'échelon national/provincial/de district (voir Tableau 3a à 3j). On peut présenter sur un tableau toute une gamme d'indicateurs potentiels et leur importance respective. Lorsque celle-ci est difficile à préciser, elle est remplacée par l'approximation la plus vraisemblable ou un point d'interrogation. Les participants s'attachent alors à établir des distinctions entre diverses combinaisons d'indicateurs (celles qui leur paraissent les plus importantes, les indicateurs fondés sur des faits, etc.), et ce tableau aide à orienter les recherches. Il faudrait tirer parti de l'expérience acquise dans d'autres secteurs (comme le suivi de la sécheresse et la sécurité alimentaire) quant aux moyens d'élaborer des indicateurs qualitatifs.

L'évaluation qualitative des risques sera un moyen tout à fait approprié d'annoncer une épidémie lorsqu'on ne disposera pas de données épidémiologiques détaillées. Les risques peuvent être classés comme « élevés », « moyens », « faibles », ou simplement gradués, par exemple de 1 à 3 pour les indicateurs de vulnérabilité et de risque, et de 1 à 3 pour les conséquences éventuelles. Les deux facteurs – potentiel de transmission et vulnérabilité sont nettement distincts. Il faudra évaluer l'importance des indicateurs de vulnérabilité et de risque au niveau national, et établir une méthode normalisée pour les classer selon leur poids quant à l'annonce d'une épidémie éventuelle et à sa possible gravité.

Par exemple :

Pour une population non immune, malnutrie, dans une situation de bouleversement social, l'indice de vulnérabilité peut être « élevé », ou égal à 3. Cependant, si la transmission qui la menace est faible ou négligeable, le risque que se déclare une épidémie de paludisme est faible ou négligeable (niveau de risque 1).

...si cette même population est exposée à une transmission en augmentation (par exemple « élevée ») soit parce qu'elle se déplace, soit parce qu'une modification de l'environnement ou des conditions atmosphériques anormales augmentent la capacité vectorielle de l'environnement, on considérera que le risque d'épidémie qui la menace est extrême.

...à l'inverse, une population peut vivre dans une zone de transmission élevée (pouvant aller jusqu'à l'extrême) mais ne courir qu'un risque d'épidémie faible ou négligeable si son niveau d'immunité est élevé.

On ne peut utiliser l'information qualitative pour évaluer les risques si l'on n'a pas d'abord mis une méthode normalisée au point. L'élaboration de cette méthode doit être l'un des premiers domaines de recherche/débat au sein d'un système de pré-alerte au paludisme.

6. **MISE SUR PIED D'UN SYSTÈME DE PRE-ALERTE AU PALUDISME**

6.1 **Principes qui sous-tendent la mise en place d'un système MEWS**

- Reconnaître que les besoins diffèrent d'un pays à l'autre : les programmes nationaux de lutte antipaludique sont appliqués dans des environnements biophysiques, socio-économiques, politiques et organisationnels dont les priorités, les points forts et les points faibles ne sont pas les mêmes. Il n'est pas possible d'appliquer une seule méthode, un seul ensemble de meilleures pratiques d'un bout à l'autre de l'Afrique. Ce qu'il faut, au contraire, c'est passer les meilleures pratiques au crible, les appliquer sélectivement et les adapter à la situation propre à chaque pays par une recherche et une pratique interactives.
- Reconnaître que les besoins diffèrent dans un même pays : les services de lutte antipaludique fonctionnent dans un environnement biophysique, social, économique et politique différent pour chaque district. La première priorité sera d'établir si un district/une province/le pays est sujet aux épidémies afin de concevoir le système de façon à cibler des zones spécifiques.
- Définir les besoins d'information des utilisateurs et y répondre : pour durer, un système MEWS doit obéir à la demande. Les indicateurs choisis, les méthodes d'analyse et les structures de diffusion doivent correspondre aux priorités des services de santé. Déterminer les besoins prioritaires des équipes d'administration de la santé à l'échelle du district, de la province et du



pays tout entier grâce à un dialogue approfondi est le premier pas à faire pour organiser la recherche opérationnelle nécessaire au système.

- Tirer parti des systèmes d'information existants et éviter/réduire les doubles emplois : de nombreux pays ont investi dans la mise en place de systèmes d'information qui donnent déjà des renseignements éventuellement utilisables pour un dispositif de pré-alerte. Pour mettre en place un système MEWS, il faut être au courant de ces efforts fragmentaires en cours, les consolider, les renforcer et les intégrer. On trouvera à l'appendice 3 des exemples de systèmes d'information qui peuvent être utiles.
- Procéder par étape : le plus souvent, il est plus efficace d'apporter les améliorations une par une, en fonction des priorités nationales et des ressources disponibles ou attendues, et de tirer parti des leçons ainsi apprises au fil du temps. Il faut pour cela développer un plan à cinq ans soutenu par un ferme engagement du pays et de la communauté internationale.
- Travailler à l'ancrage durable des institutions : le renforcement des services nationaux de lutte antipaludique est essentiel au succès. Il faudrait consacrer les ressources financières et techniques externes à la mise en place de capacités locales et nationales et viser l'autosuffisance. Il est vital de confirmer l'engagement politique à long terme si l'on veut pouvoir disposer des ressources nécessaires et parvenir à une intégration intersectorielle.
- Promouvoir la rentabilité : il faut à titre prioritaire accroître l'efficacité des systèmes d'information, promouvoir la synergie et éviter les doubles emplois dans les activités et les services opérationnels réguliers.

6.2 Mesures à prendre pendant la mise en place d'un système MEWS régional/national

Il y a plusieurs mesures pratiques et politiques à prendre pour installer et faire fonctionner un tel système durablement et efficacement. Ces mesures varieront en fonction des conditions locales, mais dans l'ensemble il s'agira de :

6.2.1 Stimuler l'intérêt

Cela suppose que l'on sensibilise les décideurs aux conséquences sanitaires, économiques et politiques des épidémies de paludisme et au rôle qu'un système de pré-alerte peut jouer pour les atténuer.

On peut y parvenir en donnant à quelques personnes clés une information soigneusement étudiée ou en organisant des ateliers à l'intention de personnalités des ministères concernés. Ces ateliers seront particulièrement utiles pour formuler la politique nationale, pour s'accorder sur la nécessité d'une coopération intersectorielle et interministérielle étroite ainsi que sur les mécanismes de cette coopération et pour échanger données et informations essentielles.

6.2.2 Dialoguer avec les parties prenantes

Cela suppose que les responsables de l'analyse des risques (spécialistes en épidémiologie, climatologie, météorologie, agriculture, économie, etc.) et les parties prenantes aient un dialogue sérieux et suivi pour échanger informations et opinions.

Il est important d'évaluer et de gérer les risques dans la transparence et d'en débattre à fond avec les parties prenantes, afin que les coûts de gestion des risques soient perçus comme une assurance valable (que l'on se rende compte, par exemple, que l'intervention la plus efficace est une intervention précoce, qu'une moustiquaire représente une dépense personnelle utile, qu'en finançant la pulvérisation d'insecticides à effet rémanent, les autorités civiles peuvent faire bon usage des finances publiques si elles s'y prennent à temps). Pour qu'il y ait appropriation des décisions, il serait bon que, tout au long du processus d'évaluation des risques, les responsables de cette analyse et les décideurs s'entretiennent avec les parties prenantes, de façon que les stratégies de gestion des risques visent les domaines qui les préoccupent, que les décisions, clairement comprises, bénéficient d'un large soutien.

6.2.3 Désigner un organe de liaison national

Il s'agit de désigner un organe de liaison national (une personne, une unité ou un département ministériel) qui puisse jouer un rôle de catalyse et /ou de coordination lors du lancement du

système MEWS, et qui soit chargé, une fois le système au point, de gérer les réseaux d'échange éventuellement mis en place entre bases de données, d'élaborer des rapports de synthèse et de maintenir des contacts avec les organisations et bases de données internationales, nationales et locales pertinentes.

L'organe de liaison le plus approprié est souvent un élément du programme de lutte antipaludique du ministère de la santé, mais il n'en va pas toujours ainsi. On peut aussi l'installer au sein d'une unité ou d'un département ayant des responsabilités croisées, interministérielles, comme le cabinet du président ou du premier ministre, le ministère des finances ou de la planification, ou le service de statistique central.

6.2.4 Etablir un réseau de partenaires

Il s'agit de mettre en place un réseau de partenaires constitué de tous ceux qui fournissent des informations au système MEWS et dont font partie des unités de recherche opérationnelle qui appuient l'analyse des données, en particulier en élaborant des indicateurs de risque.

Beaucoup de ces partenaires n'appartiennent probablement pas au secteur de la santé, et l'institution d'une collaboration efficace à long terme demande de très gros efforts. L'objectif du réseau sera de faciliter l'échange d'informations, la planification et la coopération de façon permanente. Bien qu'il ne soit pas toujours nécessaire de créer une nouvelle structure institutionnelle, il faut, au minimum, que le réseau établisse son règlement intérieur pour la prise de décisions et l'établissement de rapports et que les participants aient le pouvoir de parler au nom de leurs institutions respectives sur les questions touchant les épidémies de paludisme. On trouvera aux appendices 2 et 3 des listes de partenaires potentiels de niveau international ou national.

6.2.5 Evaluer les besoins des utilisateurs

L'une des premières tâches de l'organe de liaison peut être d'évaluer les besoins d'information des utilisateurs et de voir comment le réseau peut leur fournir les données disponibles. L'évaluation aura pour but de déterminer et de classer par ordre de priorité les principaux types d'information nécessaires aux différentes parties prenantes, et de préciser avec quelle périodicité et sous quelle forme celles-ci souhaitent recevoir cette information. L'évaluation peut se faire à l'occasion de réunions de groupe, d'entretiens avec tel ou tel utilisateur, ou de questionnaires. Il est important d'assurer à toutes les parties prenantes, de niveau national et de niveau infra national, toute possibilité de faire connaître clairement leurs besoins. Il n'est possible de suivre les progrès accomplis et de voir dans quels domaines il faut encore apporter des améliorations que si les utilisateurs apportent périodiquement une information en retour (peut-être à l'occasion de la réunion annuelle de planification de la lutte antipaludique).

6.2.6 Procéder à l'inventaire/l'évaluation des systèmes nationaux de données et d'information

Une fois précisés les besoins en information des principaux utilisateurs (par exemple, grâce à la liste d'indicateurs de risque décrits dans les sections précédentes), il faudrait faire, dans le cadre du réseau, l'inventaire des données et de l'information disponibles et évaluer dans quelle mesure les systèmes d'information en place répondent à ces besoins. Cette évaluation pourrait porter sur la gamme des types de données et d'information, leur couverture, leur périodicité, leur qualité, leur gestion, les méthodes d'analyse et les modes de diffusion.

6.2.7 Activités de recherches indissociables de la mise en place d'un MEWS

On ne peut instituer un système de pré-alerte sans avoir étudié la qualité et la fiabilité des indicateurs de risque d'épidémie dans différents environnements.

Il faut établir le programme national des recherches intéressant le système de pré-alerte en collaboration avec les parties prenantes – plus particulièrement les responsables aux plans du district, de la province et du pays – à qui en définitive il revient de décider a) si une épidémie va survenir, b) quelles ressources sont nécessaires pour la prévenir ou l'atténuer.

Ce sont souvent les équipes de gestion de la santé au niveau du district qui connaissent les problèmes particuliers à l'origine de la mauvaise gestion des épidémies. Il faut donc accorder une



attention particulière à la recherche opérationnelle qu'il est possible de conduire dans le district/la province pour parvenir à définir et surmonter ces problèmes. Il faudrait tester au niveau local les indicateurs recommandés par les instances nationales, y apporter les modifications voulues pour qu'ils soient plus performants et informer les partenaires de ces modifications lors des réunions nationales annuelles. Soulignons que l'échange d'idées et de résultats entre districts, provinces et pays voisins est extrêmement précieux, en particulier là où il est possible d'entreprendre des recherches ou des activités opérationnelles qui se complètent.

6.2.8 Acheminer judicieusement l'information

L'information n'a de valeur en soi que si elle atteint ceux qui en ont besoin, est facile à comprendre et est effectivement utilisée. Les systèmes nationaux d'information doivent mettre en place des plans et des méthodes de diffusion tels que ces conditions soient remplies. Il sera également utile que les décideurs participent aux stades préliminaires de la planification des différents types d'enquête; ils apporteront ainsi leur contribution et auront le sentiment qu'ils ont leur part dans les résultats finaux. Il faudrait donc établir les rapports en se souvenant des besoins, des intérêts et des perspectives spécifiques d'utilisateurs bien ciblés. Pour la plupart d'entre eux, de longs rapports présentant d'innombrables données et informations et couvrant toute une gamme de thèmes sont moins efficaces que des rapports courts sur un seul thème, traitant des intérêts spécifiques d'un type d'utilisateur particulier.

La présentation de l'information a également une importance critique. Les analyses de données devraient être absolument transparentes et faciles à comprendre. Il faut que la présentation des résultats soit agréable et permette de tirer facilement des conclusions. Il faut donc apporter le plus grand soin à l'établissement de graphiques et de cartes attrayants, présentant des tendances et des relations complexes de manière immédiatement compréhensible par les décideurs. Suivant les capacités technologiques dont dispose le pays, des moyens de communication autres que l'imprimé – comme la radio, l'affiche, des réunions à l'échelle de la municipalité et des réseaux informatiques – peuvent servir à communiquer l'information et les rapports émanant des systèmes MEWS nationaux. Des ateliers où les résultats sont présentés et discutés avec des sous-groupes d'utilisateurs peuvent être un moyen extrêmement efficace d'aider les décideurs à interpréter et assimiler ces résultats et leurs conséquences sur les mesures à prendre.

6.2.9 Communiquer par cartes

Cela signifie que depuis peu on utilise des systèmes d'information géographique (SIG) pour entrer, stocker, analyser, modéliser et afficher des données à référence spatiale qui peuvent servir de manière interactive à la prise de décision.

Les données concernant la santé sont de plus en plus cartographiées et constituent ainsi un soutien pratique à la planification des programmes de lutte. Les progrès en matière de technologie informatique ont révolutionné le recours aux techniques de cartographie pour analyser et présenter une information complexe sur les risques et la vulnérabilité d'une manière qui facilite grandement leur compréhension et la prise de décisions. Les cartes établies grâce aux systèmes SIG et de géoréférence donnent une information visuelle facile à comprendre sur l'emplacement des zones sujettes à épidémie et des groupes de population vulnérables. Une fois la carte de ces zones établie, toutes sortes d'autres données qui servent à comprendre et à surveiller l'évolution du paludisme peuvent y être ajoutées. Ces techniques permettent de communiquer une grande quantité de renseignements sous une forme simple et peuvent servir d'outils d'analyse. Toute une gamme d'outils SIG de maniement facile est maintenant utilisable sur des ordinateurs personnels d'un prix abordable. Pour un système de pré-alerte moderne et efficace, il sera essentiel d'investir dans le matériel et le logiciel appropriés et d'apprendre aux techniciens du pays à s'en servir.

Une mise en garde cependant : un SIG peut exiger des ressources importantes et il faut étudier soigneusement la manière dont ce système est déjà utilisé dans le pays, par qui et ce qui reste à faire pour qu'il donne satisfaction.

HealthMap est un programme commun OMS/UNICEF qui a été confié au Groupe Maladies Transmissibles. En 1993, le programme a commencé à faire appel aux SIG pour gérer et suivre le programme d'éradication de la dracunculose. Répondant à la demande croissante de cartes et

données SIG pour les systèmes nationaux de surveillance sanitaire, l'équipe de HealthMap a mis au point un outil personnalisé –le « Healthmapper» – qui simplifie grandement les procédures d'élaboration des cartes destinées à la surveillance (Nuttall et col., 1998).

Cet outil est tout spécialement conçu pour permettre l'intégration immédiate d'informations à différents niveaux – du niveau local au niveau mondial en passant par les niveaux provincial, national et régional. Il sert actuellement, en Afrique occidentale, à surveiller la dracunculose, l'onchocercose et la situation sanitaire et nutritionnelle. Il est aussi en cours d'évaluation pour utilisation éventuelle dans la surveillance du paludisme en Afrique et en Asie. En Tanzanie par exemple, sous la direction du ministère de la santé et de son projet d'interventions sanitaires essentielles, il est actuellement entre les mains des équipes de gestion de la santé au niveau du district ; celles-ci testent ses performances comme base de données fondamentales pour entrer, afficher et communiquer au district, à la région et au pays les données tirées des systèmes d'information sur la gestion de la santé au niveau du district.

Il est possible d'incorporer immédiatement dans le Healthmapper des informations météorologiques et des "cartes des risques" reposant sur des données graphiques, comme celles que l'on peut simplement tirer des images de l'écart estimé de la pluviosité par rapport à la normale (à partir de données satellite) et qui indiquent les zones où peuvent survenir des épidémies liées aux pluies (Thomson et col., 2000b). L'expérience montre qu'en personnalisant et en intégrant des logiciels courants, on peut réduire le fardeau que ces technologies font peser sur le temps et les ressources du personnel des services de santé.

6.2.10 Préparer une stratégie et un plan de travail nationaux pour un système MEWS

Les résultats de l'évaluation des besoins de l'utilisateur, l'analyse des indicateurs de risque et l'inventaire et l'évaluation des systèmes actuels d'information serviront de base à l'élaboration d'une stratégie visant à améliorer les systèmes nationaux d'information du réseau MEWS. Cette stratégie devrait définir un ensemble prioritaire de renseignements nécessaires aux décideurs nationaux et un ensemble d'objectifs vérifiables. Un programme d'initiatives et d'activités permettant d'atteindre ces objectifs serait alors fixé, avec son calendrier, dans le cadre d'un plan de travail national. Il pourrait y être prévu de modifier les institutions pour parvenir à mieux intégrer l'information au sein des secteurs et des ministères et l'échanger entre eux, d'avoir recours aux nouvelles technologies et méthodes, de se doter de ressources humaines et d'investir dans des équipements et des logiciels nouveaux. Les initiatives à prendre dans les domaines de la collecte, de la gestion, de l'analyse et de la diffusion des données, devraient être envisagées sur la base des résultats de l'évaluation. Il faudrait concevoir le plan sous forme de modules ou d'étapes de façon à exécuter les activités prioritaires dans un ordre logique à mesure que les ressources le permettent. Il faudrait aussi spécifier les besoins en ressources intérieures pour mettre le plan en œuvre, ainsi que les domaines qui devraient recevoir une aide extérieure en priorité.

6.2.11 Renforcement des capacités

Il est évident que la mise au point d'un système MEWS efficace augmentera la charge de travail des ressources humaines dont disposent les ministères de la santé et les programmes nationaux de lutte antipaludique. Un tel système produira ses propres effets bénéfiques dans la mesure où il atténuera les souffrances et la mortalité dues aux épidémies, mais cette augmentation initiale des apports est une nécessité absolue. La mise en place de services de lutte antipaludique efficaces et durables demande le renforcement des capacités. Il y a là un problème qui est reconnu et qui mérite d'être examiné ici. Les paragraphes qui suivent sont adaptés d'un document OMS/Banque mondiale sur les problèmes opérationnels de la lutte antipaludique (Anon, 1995).

« ... beaucoup de programmes nationaux qui visaient à combattre le paludisme avec vigueur ont perdu leur caractéristiques essentielles : unité d'objectif, dynamique du personnel, détermination à obtenir des résultats sur le terrain et capacité de s'adapter à l'évolution des conditions épidémiologiques sur place. Pour être efficaces, les plans d'action contre le paludisme doivent être exécutés dans le cadre de programmes convenablement organisés et gérés. Voilà qui est plus facile à dire qu'à faire. Même dans des programmes verticaux ne concernant qu'une seule maladie, il n'a pas été facile de maintenir l'équilibre entre les besoins ressentis aux plans national ou intermédiaire (par exemple provincial, régional ou municipal), et sur le terrain (services de santé, collectivités et foyers de la périphérie). Lorsque le programme doit être intégré dans le cadre d'une approche soins



de santé primaires, les difficultés redoublent. Lorsque, en plus ces programmes intégrés sont décentralisés, aussi bien pour s'adapter dans la pratique aux tendances nationales et internationales à la décentralisation que parce qu'il s'agit d'une démarche inhérente aux programmes mêmes, le résultat est souvent un affaiblissement sensible des systèmes de prestation de services.

«Il en résulte aujourd'hui de façon évidente que dans beaucoup de pays en développement, à tous les niveaux de la structure administrative, on n'a plus les moyens de satisfaire aux conditions programmatiques techniques de la lutte contre la maladie. Beaucoup de pays souffrent actuellement du manque de spécialistes capables de diriger un programme de lutte antipaludique à l'échelle nationale, et sont gravement handicapés parce que leurs ressources sont insuffisantes, qu'il s'agisse de crédits à affecter à un tel programme, de personnel à plein temps, de moyens d'analyse permettant de prévoir une épidémie naissante, ou encore de moyens techniques et logistiques permettant d'offrir le traitement voulu en temps voulu. Tant que cette situation ne sera pas redressée il sera difficile, faute de mesures antipaludiques, d'inverser la tendance à l'augmentation rapide de la morbidité et de la mortalité palustres.»

Il ressort clairement de ce qui précède que l'institution d'un système MEWS doit être un des éléments d'un effort plus général engagé pour améliorer la lutte antipaludique dans le cadre des systèmes nationaux de santé dans les pays/districts sujets à épidémie. Il faut donc que les responsables reconnaissent qu'il sera nécessaire de soutenir plus fermement les partenariats, les institutions, le recrutement de ressources humaines supplémentaires, le développement et la formation du personnel, etc., pour parvenir à améliorer la lutte antipaludique dans les pays de l'Afrique subsaharienne. Détecter, endiguer et prévenir les épidémies sont autant d'éléments fondamentaux tant de la stratégie mondiale de lutte antipaludique que du projet Faire reculer le paludisme. Ces initiatives doivent permettre de trouver auprès des partenaires appropriés les ressources indispensables à un véritable bon en avant de la lutte antipaludique en Afrique subsaharienne.

6.2.12 Elaboration d'une "épi-météorologie"

La météorologie agricole est une discipline mûre, connue et respectée dans le monde entier étant donné le rôle économique important qu'elle joue dans l'amélioration de la production alimentaire et de l'exportation des produits agricoles. Si les données météorologiques sont si rarement utilisées par les services de santé, c'est principalement parce que la discipline scientifique qui associe les conditions atmosphériques à la maladie n'en est qu'à ses débuts et qu'il y a peu de professionnels de la santé, de l'agriculture et de la météorologie qui soient capables de parler le même langage technique et de communiquer efficacement. Si l'on veut vraiment développer les systèmes d'information sur l'environnement pour lutter contre les épidémies comme le paludisme, il faut combler ce fossé.

7. LES EPIDEMIES RECENTES DE PALUDISME EN AFRIQUE

7.1. Pourquoi un système de pré-alerte au paludisme

Au cours des deux décennies écoulées, beaucoup d'épidémies de paludisme à *Plasmodium falciparum*, souvent à l'origine de taux de létalité élevés dans de nombreux cas, se sont déclarées dans des zones de transmission instables en Afrique. Dans ces zones d'instabilité, il faut inclure celles où la transmission est limitée par la température (par exemple, les régions montagneuses d'Afrique orientale), les précipitations (par exemple, le Sahel) ou les deux (par exemple, les hauts plateaux d'Afrique australe).

Vu le nombre élevé d'épidémies notifiées dans les zones d'altitude d'Afrique orientale et australe entre 1985 et 1995, une équipe spéciale a tenu une réunion sur le paludisme dans les hauts plateaux africains grâce à un financement de TDR/OMS/CRDI. Elle s'est déroulée à Addis Abeba (Ethiopie) en mai 1996 et a donné naissance à plusieurs activités, notamment une étude de la question (Lindsay et Martens, 1998) et la mise en place d'un projet sur le paludisme dans les hauts plateaux (HIMAL) – dont la phase I (Prévisions spatiales) vient de se terminer (Cox *et al.*, 1999).

Il semble que les épidémies survenant après une période de sécheresse (lorsque de fortes précipitations suivent des années de sécheresse) soient un mal commun à de nombreux pays

africains (Connor *et al.*, 1999). En particulier, les épidémies dévastatrices qui ont sévi au Zimbabwe, au Botswana, au Mozambique, au Swaziland et en Afrique du Sud en 1996 à la suite de plusieurs années de sécheresse (Najera, 1998) ont poussé les services de lutte antipaludique à étudier et mettre au point des méthodes permettant de prévoir les épidémies et de lancer l'alerte le plus tôt possible. Au Sahel, des décennies de sécheresse prolongée ont eu pour résultat une forte diminution des taux de prévalence du paludisme (de 50 % à moins de 10 % dans certaines zones) ce qui a entraîné la baisse de l'immunité collective (Mouchet, 1998). Ainsi, des zones où le paludisme avait été endémique sont maintenant vulnérables aux épidémies (Julvez *et al.*, 1997), comme certaines zones semi-arides du Mali, où des épidémies de paludisme ont touché des populations non immunes à la suite de pluies particulièrement fortes en 1999 (Bagayoko *et al.*, 1999).

Comme la recherche s'intéresse de plus en plus aux conséquences du changement climatique sur la santé (Haines *et al.*, 2000), ce phénomène est mentionné dans de nombreux documents comme facteur important de la transmission du paludisme dans des zones où jusqu'alors celle-ci avait été maintenue à un faible niveau par des températures basses (Martens *et al.*, 1995 ; Martin et Lefebvre, 1995). Par exemple, certains ont avancé que l'élévation de la température (conséquence du changement climatique) était la variable qui expliquait le mieux les cas de paludisme dans les zones rwandaises situées en altitude (Loevinsohn, 1994). D'autres cependant émettent des doutes quant à l'importance du changement climatique dans le déclenchement des épidémies observées récemment sur les hauts plateaux. Ils contestent les hypothèses qui sous-tendent les modèles de transmission utilisés et soulignent que la médiocrité des services, la pharmacorésistance et les modifications de l'environnement local sont des facteurs importants de la montée du paludisme dans ces régions (Mouchet *et al.*, 1998 ; Malakooti *et al.*, 1998).

On a pensé, en particulier, que la modification de l'environnement était responsable de la montée spectaculaire du paludisme dans des zones d'altitude du Kenya (Knight et Nelville, 1991 ; Some, 1994) ainsi qu'au Burundi (Marimbu *et al.*, 1993) et au Rwanda (Vinkce et Jadin, 1946). Dans une étude approfondie des nouveaux modes d'utilisation des sols et de la transmission du paludisme, Lindblade et ses collaborateurs ont montré que la conversion, en Ouganda, des marais à papyrus en marais cultivés va de pair avec des températures locales nettement plus élevées, phénomène dont ces auteurs estiment qu'il est peut-être responsable de la montée des taux de prévalence observée dans les villages proches des marais cultivés (Lindblade *et al.*, 2000a). On a émis l'hypothèse que les faibles densités anophéliennes relevées dans les marais à papyrus étaient le résultat de sécrétions végétales toxiques pour les moustiques (McCrae, 1983). Un exemple analogue des effets de la transformation de l'environnement local sur la transmission du paludisme a été noté au Tigré, au nord de l'Ethiopie, où la construction de micro barrages aurait modifié le microclimat local et favorisé la transmission (Ghebreyesus *et al.*, 1999a).

Dans certaines zones, l'abandon des programmes traditionnels de pulvérisations a provoqué la résurgence du paludisme (par exemple, à Madagascar (Lepers *et al.*, 1990) et à Sao Tome (Baptista, 1996)). Les mouvements vers des zones d'endémie de populations non immunes venues de zones non impaludées sont un autre facteur de développement des épidémies (Kloos, 1990 ; Woube, 1997), de même que les mouvements de personnes porteuses de gamétocytes qui se déplacent d'une zone d'endémicité élevée à une zone d'endémicité moins élevée, comme cela s'est produit lorsque les combattants de la liberté sont revenus d'Angola à la fin de la guerre d'indépendance de la Namibie (Meek, rapport non publié).

Une vague d'épidémies liées aux précipitations a balayé l'Afrique orientale après les pluies torrentielles qui ont suivi le phénomène El Niño de 1997/98 (Brown *et al.*, 1998 ; Garay, 1998 ; Lindblade *et al.*, 1999 ; Kilian *et al.*, 1999). Ces événements ont stimulé la recherche nationale et internationale visant la conception d'outils de prévision utilisables dans la pratique par les services de santé pour améliorer les capacités de lutte contre l'épidémie. Trois domaines ont été l'objet d'une attention particulière – cartographie des zones à risque à partir des variables climatiques/environnementales, prévisions climatiques saisonnières et veille météorologique.

7.2. Cartographie des zones à risque

Dans les années 50, la carte de l'endémicité du paludisme a été dressée dans un certain nombre de pays grâce à des données tant épidémiologiques qu'environnementales, par exemple pour la Tanzanie et le Kenya (Anon, 1956 ; Anon, 1959). Au cours des quelques dernières années, on s'est de



nouveau avisé qu'il était souhaitable de créer des cartes détaillées de l'intensité de la transmission du paludisme en Afrique (Snow *et al.*, 1996 ; Thomson *et al.*, 1997). Comme on disposait de la technologie des systèmes d'information géographique et de données numériques sur les valeurs « normales » du climat à l'échelle du continent (distribution mensuelle moyenne à longue échéance des précipitations et des températures de surface), on a envisagé de cartographier l'endémicité du paludisme pour tout le continent africain en utilisant les taux de prévalence liés à l'âge. L'initiative ARMA/MARA (Atlas du risque de la malaria) puise dans les données épidémiologiques aussi bien qu'entomologiques tirées de sources fort diverses pour tenter de préciser les différentes situations épidémiologiques observées dans toute l'Afrique et le risque de paludisme que représente chacune d'entre elles (Le Sueur *et al.*, 1997). Cette information manquant pour la plus grande partie du continent, on a conçu, dans le cadre de ce projet, un modèle de risque stable de paludisme basé sur l'effet des paramètres environnementaux (précipitations et températures) sur la biologie des paramètres de transmission du paludisme (Craig *et al.*, 1999). Snow et ses collaborateurs ont poursuivi le travail de cartographie commencé et se sont efforcés de quantifier la morbidité et la mortalité en Afrique subsaharienne (Snow *et al.*, 1999a). Ces modèles donnent une idée assez grossière de l'endémicité, mais c'est précisément dans les zones où ils sont le moins performants (zones marginales) que l'information est nécessaire pour mettre les services de santé en alerte devant les modifications du risque de paludisme (Connor *et al.*, 1999). On a relevé deux défauts à cette approche. D'abord les modèles fondés sur l'observation du climat ne tiennent pas compte des processus hydrologiques qui peuvent fournir aux vecteurs des gîtes larvaires actifs même lorsque les précipitations sont faibles (Hay *et al.*, 1998b). Ensuite, les niveaux d'endémicité peuvent évoluer d'un endroit à l'autre et cela dans de vastes régions et dans des délais relativement courts : au Sénégal, par exemple, une modification profonde de l'endémicité s'est opérée entre le début des années 60 et le début des années 90, les précipitations s'étant atténuées et la sécheresse ayant gravement sévi par intermittence (Mouchet, 1998) ; au Niger, certaines zones, naguère mésoendémiques sont maintenant hypoendémiques, avec risque accru d'épidémie (Julvez *et al.*, 1997). Ainsi, les « normales » climatologiques qui ont servi à créer l'atlas ARMA (avec des données allant de 1920 à 1980) représentent vraisemblablement une surestimation du niveau des précipitations dans la région du Sahel au cours des deux dernières décennies.

On a proposé une autre approche de la stratification systématique du paludisme, qui repose à la fois sur le caractère saisonnier de la croissance de la végétation, tel qu'observé à partir de données satellite et sur les limites que la température impose à la transmission du paludisme. Par exemple, la stratification de l'endémicité du paludisme en Namibie pour 1995-1996 a été faite avec un logiciel mis au point par USAID/FAO (Connor, 1999) sur la base de l'analyse en composantes principales suivie par la classification non hiérarchique des indices de végétation obtenus par satellite (indice différentiel normalisé de végétation : NDVI). Dans cette analyse, les contraintes exercées par la température sur la transmission ont été estimées en altitude. Une analyse géospatiale de NDVI et des taux de prévalence chez les moins de cinq ans en Gambie, donne du poids à la prise en compte de l'état plus ou moins « vert » de la végétation saisonnière (Thomson *et al.*, 1999a). De telles cartes peuvent être régulièrement mises à jour avec les données fournies par des organismes de surveillance de l'environnement. Elles peuvent être particulièrement utiles dans les zones marginales où les fluctuations des processus climatiques/hydrologiques d'une année à l'autre peuvent aboutir à des épidémies.

Pour savoir quand et où une épidémie est susceptible de se produire dans les zones d'Afrique situées en altitude (souvent caractérisées par une population très dense), une riche base de données sur la survenue du paludisme dans les régions montagneuses du Cameroun, du Kenya, de l'Ouganda, de l'Éthiopie et de la Tanzanie, du Rwanda, du Burundi, du Zimbabwe et de Madagascar a été mise en place dans le cadre du projet HIMAL (Cox *et al.*, 1999). Une analyse tenant compte des taux de prévalence du paludisme selon l'âge et l'altitude montre que si dans certaines zones ces deux facteurs sont fortement corrélés, il n'en va pas de même partout et que, par conséquent, l'information sur la seule altitude ne peut servir de guide fiable pour l'évaluation de l'endémicité. On apprend aussi grâce à cette étude que :

- Si la température et les précipitations sont d'importants facteurs déterminants des zones à risque à l'échelle nationale ou régionale, leur signification peut être profondément faussée par des facteurs locaux non climatiques, en particulier ceux qui ont un effet sur l'environnement (facteurs dus à l'homme, par exemple) et qui déterminent la présence ou l'absence de vecteurs à tel ou tel endroit.

- L'effet de ces facteurs de risque à l'échelon local signifie que l'on ne peut guère compter sur des modèles généraux de risque de paludisme basés sur les conditions atmosphériques pour prévoir de façon fiable les taux de transmission dans tel ou tel endroit.
- Parmi les épidémies qui ont effectivement éclaté, les plus remarquables et les plus étendues se sont produites pendant et/ou après des phénomènes météorologiques anormaux.
- On n'a guère de preuve que des épidémies récentes aient été associées à des modifications à long terme des conditions climatiques.

Plusieurs études ont été publiées récemment sur le recours aux systèmes d'information géographique et à la télédétection pour établir les cartes des maladies à transmission vectorielle, y compris celle du paludisme en Afrique (Hay, 2000 ; Thomson et Connor, 2000). La stratification environnementale a joué un rôle important dans la délimitation des zones qui peuvent être sujettes aux épidémies de paludisme. Cependant, pour prédire la survenue d'une épidémie dans un avenir proche, il faut surveiller les modifications d'indicateurs précis de risque.

7.3 Observation des zones à risque

En 1980 a été proposé un système de prévision des épidémies de paludisme en deux étapes, qui repose sur l'observation des variables météorologiques et des modifications du taux d'inoculation entomologique (Onori et Grab, 1980). Il ressort de la lecture d'Onori et Grab que leur système permet de prévoir le retour de flambées lorsque des systèmes d'observation intégrés sont déjà en place depuis un certain temps et que les services de lutte antipaludique y ont régulièrement recours. Malheureusement, la plupart des pays africains n'ont pas actuellement les moyens d'intégrer le suivi systématique du taux d'inoculation entomologique dans leur système de prévision. Connor et ses collaborateurs ont rapporté dans ses grandes lignes l'expérience du sous-continent indien en matière de prévision des épidémies et montré qu'elle pourrait servir en Afrique (Connor et al., 1999). Selon eux, pour mettre au point un système de pré-alerte pour l'Afrique, il est essentiel tout à la fois de suivre la vulnérabilité de la population à une transmission accrue du paludisme et de prévoir et observer les conditions météorologiques. Ils ont estimé que les systèmes d'information environnementale dont se servaient actuellement les organisations chargées du suivi de la sécurité alimentaire ou de la sécheresse étaient parfaitement adaptés à la mise au point de systèmes de pré-alerte et que l'on avait tout à gagner d'une approche intersectorielle, multimaladies (Thomson *et al.*, 2000b). L'unité OMS chargée de la lutte antipaludique en Afrique australe, qui prépare actuellement une initiative conjointe avec la Communauté de développement de l'Afrique australe, organisation

rompue à l'utilisation des systèmes d'information environnementale pour prévoir les sécheresses et les risques de pénuries alimentaires qu'elles entraînent, s'est rangée à cet avis.

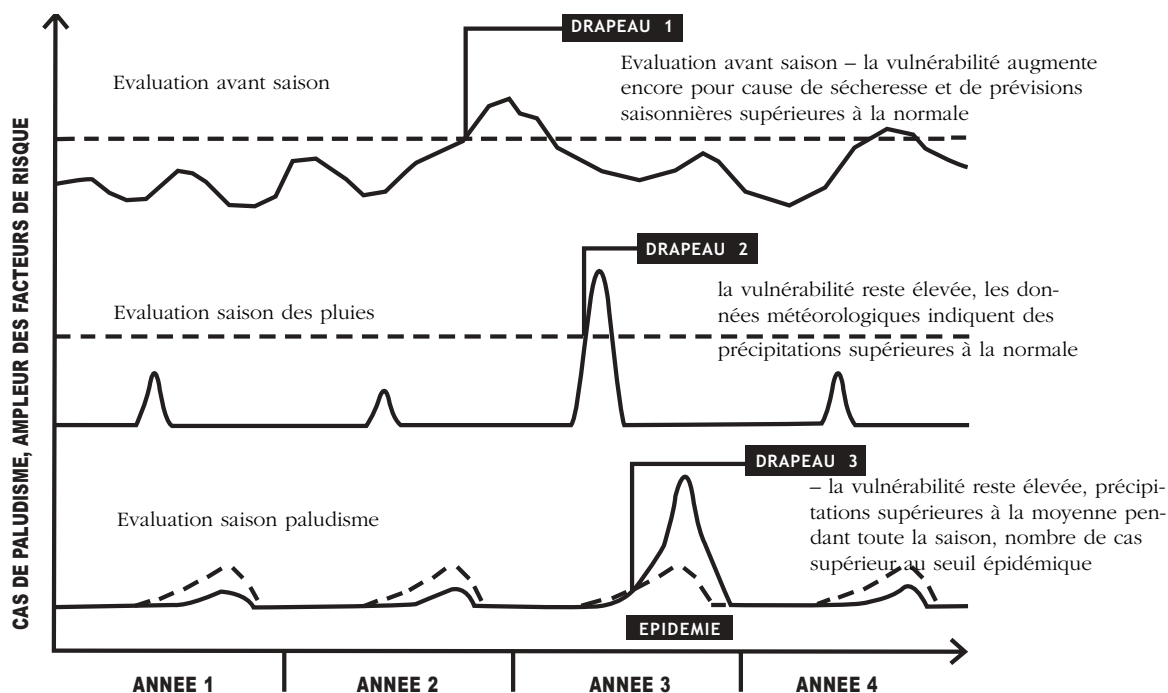


Figure 4. Modèle pour la prévision, la pré-alerte et la détection précoce émanant de la réunion de Salt Rock (Afrique du Sud), 1999 (Anon, 1999).



Le personnel chargé de la lutte antipaludique dans les ministères tanzanien, ougandais et kenyan de la santé, a proposé, conjointement avec l'équipe du projet HIMAL, la mise en place pour les zones montagneuses d'Afrique orientale d'une approche en trois étapes : prévision des épidémies, pré-alerte et détection précoce (Anon, 1999), chaque étape étant associée à des indicateurs et des réactions spécifiques. Dans l'exemple simplifié de la Figure 4, un premier drapeau (drapeau 1) est hissé au niveau régional lorsque les températures de surface de la mer indiquent la survenue proche d'une manifestation d'El Niño/La Niña. Les précipitations qui suivent sont observées directement dans le cadre d'un système de pré-alerte et, si elles sont trop fortes, le drapeau 2 est hissé. Les cas de paludisme sont suivis dans chaque centre, et si un seuil déterminé est franchi (drapeau 3) l'épidémie est déclarée.

Ainsi, un consensus se dégage peu à peu autour de l'idée qu'en Afrique, les indicateurs de risque utilisables systématiquement pour évaluer l'éventualité d'une épidémie dans un avenir proche (c'est-à-dire la saison de transmission suivante) sont notamment les prévisions climatiques saisonnières, le suivi des conditions météorologiques et de l'environnement, l'évaluation de la vulnérabilité et la surveillance de la morbidité. Les sections qui suivent donnent une brève description de ces indicateurs ainsi qu'un aperçu de leur emploi dans la mise en place de systèmes MEWS en Afrique.

7.4 Prévisions climatiques saisonnières

Au cours de la décennie écoulée, la modélisation et la prévision saisonnière du climat régional ont nettement progressé (Carson, 1998). On a de plus en plus de preuves que le phénomène de l'oscillation australe El Niño (ENSO) et la multiplication des cas de paludisme dans plusieurs régions du monde sont liés (Bouma et Dye, 1997 ; Bouma et Van der Kaay, 1994), ce qui permet d'espérer que grâce aux prévisions climatiques, on pourra prévoir des mois à l'avance une augmentation inhabituelle de la transmission. En gros, les modèles de prévision climatique sont de deux types : les modèles statistiques et les modèles dynamiques.

7.4.1 Modèles statistiques

L'avantage des méthodes statistiques est qu'elles ne demandent ni superordinateur ni paramétrisation détaillée de l'atmosphère. Elles se fondent sur des relations statistiques empiriques entre des ensembles d'observations faites au fil du temps sur des phénomènes comme le régime des précipitations et le diagramme des températures de surface de la mer (SST). Actuellement, des modèles statistiques entraînés sur des données historiques permettent d'obtenir, dans le cadre des activités courantes, de nombreuses prévisions saisonnières de bonne qualité (Palmer et Anderson, 1994). Cependant, ces modèles ont un grave inconvénient : l'absence de séries chronologiques exactes de données météorologiques pour entraîner les modèles. Lorsque ces séries existent effectivement, des modifications dans les méthodes d'enregistrement et dans l'environnement de la station météorologique locale peuvent avoir apporté au fil du temps d'importants changements dans les valeurs météorologiques enregistrées et lorsqu'elles sont cohérentes, l'éventail de leurs propres apports climatologiques risque d'entraver les prévisions. Ces problèmes peuvent être résolus si l'on utilise des modèles dynamiques.

7.4.2 Modèles dynamiques

La prévision climatique saisonnière (jusqu'à six mois à l'avance) à partir de modèles planétaires dynamiques s'est rapidement développée au cours de la décennie écoulée et plusieurs groupes de modélisation du climat atmosphérique ont fait la preuve de la qualité et de la fiabilité de leurs systèmes. Des événements récents ont conduit à la mise en place de modèles couplés océan-atmosphère, qui permettent des prévisions en temps réel de la température de la surface de la mer dans le monde entier. Ces modèles ont bien prévu la survenue et la fin du phénomène El Niño (ENSO) en 1997-98 et ses conséquences sur les conditions météorologiques en Afrique (Stockdale *et al.*, 1998). Les pluies surabondantes, correctement prévues par ces modèles en Afrique orientale ces années-là, ont été concomitantes à des épidémies catastrophiques de paludisme. C'est pourquoi, sachant aussi que l'on avait observé la multiplication des cas de paludisme au passage d'El Niño dans d'autres parties du monde (Bouma et Dye, 1997 ; Bouma *et al.*, 1997 ; Bouma et Van der Kaay, 1996), les milieux de la santé ont eu de plus en plus recours aux prévisions saisonnières pour prévoir les épidémies de maladies liées au climat.

Il est essentiel que les utilisateurs finaux des prévisions climatiques saisonnières puissent évaluer la fiabilité et la qualité de ces prévisions et, en particulier, saisir leur nature probabiliste et non pas déterministe (Blench, 1999). A ce jour, on n'a guère validé que quelques modèles dynamiques. D'après les quelques travaux accomplis dans ce domaine, les prévisions probabilistes ne sont fiables que pour certaines zones géographiques et n'ont pas la même qualité d'une année à l'autre suivant qu'elles sont ou non associées à une activité d'El Niño (Palmer *et al.*, sous presse). Dans le meilleur des scénarios, on estime que les prévisions climatiques saisonnières faites grâce à des systèmes multimodèles peuvent annoncer correctement des « phénomènes » climatiques 6 ou 7 années sur 10 (c'est-à-dire qu'elles risquent d'être erronées au moins 3 ou 4 années sur 10).

On s'efforce actuellement de voir où et quand ce type de prévision peut être efficace pour les pré-alertes au paludisme (Thomson *et al.*, 2000d). Un système MEWS ne peut évidemment pas trop dépendre des prévisions climatiques saisonnières ; sa fiabilité exige aussi que d'autres indicateurs de risque, comme le temps qu'il fait réellement et la vulnérabilité de la population soient suivis systématiquement.

On ne connaît pas encore les risques et les avantages éventuels du recours aux prévisions climatiques saisonnières pour la lutte antipaludique, mais les spécialistes en la matière ont encouragé l'approfondissement de la recherche opérationnelle sur la relation entre climat et maladie en Afrique. Des réunions sur la prévision climatique ont permis des rencontres entre personnalités clés appartenant au monde de la santé, de l'agriculture et de la météorologie et ont été pour beaucoup dans la reprise de la recherche dans ce domaine. Par exemple, à Maputo (Mozambique), en septembre 1999, le Forum régional sur l'évolution probable du climat en Afrique australe (SARCOF) a été axé sur une évaluation a posteriori pour la saison écoulée et une évaluation a priori pour la saison à venir et l'on a examiné ce que ces évaluations signifiaient pour divers secteurs y compris celui de la santé. D'autres « forums sur l'évolution probable du climat » ont été organisés en Afrique orientale et occidentale. Encore faudrait-il qu'ils aboutissent à l'élaboration de mesures vigoureuses dans le domaine de la santé. Le Centre africain pour l'application de la météorologie au développement (ACMAD), organisation panafricaine basée au Niger qui apporte son soutien à ces forums a notamment pour mandat de diffuser les prévisions climatiques et météorologiques en Afrique et de former des personnes venues de différents secteurs à la prévision météorologique et saisonnière.

7.4.3 Utilisation actuelle des prévisions climatiques saisonnières en Afrique

Malgré leurs nombreux points faibles, les prévisions climatiques saisonnières sont déjà mises à profit lors des décisions concernant la répartition des ressources pour la lutte antipaludique en Afrique. Par exemple, celles qui ont été faites à l'occasion de la réunion du SARCOF de 1998 ont servi à l'unité OMS/AFRO de lutte antipaludique en Afrique australe (SAMC) pour avertir les programmes de lutte antipaludique de cette région que les précipitations seraient plus fortes que d'habitude pendant la saison des pluies 1998/99 et que par conséquent, le risque d'épidémie augmentait. Plusieurs pays s'y sont ainsi mieux préparés.

On a pu voir ailleurs que la collaboration entre services météorologiques et services de lutte antipaludique nationaux donnait de bons résultats. Au Swaziland, les prévisions climatiques saisonnières communiquées en juillet 1997 à l'unité chargée de la lutte indiquaient une forte probabilité de précipitations supérieures à la moyenne pendant la première saison (septembre à décembre) et inférieures à la moyenne pendant la deuxième saison (décembre à avril). Les premières prévisions se sont révélées correctes et les services de lutte antipaludique ont pu prendre leurs dispositions plus tôt que d'habitude : début des pulvérisations un mois plus tôt et antipaludiques en quantité suffisante fournis avant novembre à tous les centres de santé (Kunene, 1998). Avant la courte période des pluies de 1997, les services de lutte antipaludique d'Afrique orientale ont été avertis de l'approche d'El Niño (et de précipitations vraisemblablement plus fortes). Ils ont alors augmenté les quantités de médicaments fournis dans certaines zones. Cependant, si les alertes ont eu pour résultat une certaine accélération des préparatifs dans des zones clés d'épidémie des hauts plateaux, les zones semi-arides du nord-est du Kenya ont connu une épidémie catastrophique aggravée par une grève du personnel infirmier (Allan *et al.*, 1998). Une unité de lutte antivectorielle surchargée devait en outre faire face aux craintes concernant des épidémies d'autres maladies transmises par des vecteurs, comme la fièvre de la Vallée du Rift. Il faut



absolument s'attacher à valider comme il convient l'utilité des prévisions climatiques saisonnières si l'on veut qu'elles soient couramment utilisées dans la lutte antipaludique.

7.5 Veille météorologique

Il faut absolument pouvoir surveiller l'évolution du climat dans les zones sujettes à épidémie pour donner aux services de lutte les moyens de les prévoir avant que ne soient atteints les seuils épidémiologiques traditionnels. Le type d'informations sur le temps recueillies par les stations météorologiques d'un bout à l'autre de l'Afrique n'est pas uniforme. Le plus couramment, les stations indiquent le niveau des précipitations quotidiennes/hebdomadaires/mensuelles puis les températures maximales et minimales et parfois aussi l'évapotranspiration potentielle (Etp), la pression de la vapeur d'eau et le déficit de saturation. De ces variables, on peut facilement tirer la température moyenne, l'humidité absolue, l'humidité relative, l'humidité spécifique et la pression de la vapeur à saturation. Il est souvent difficile aux services de santé d'un pays d'avoir accès aux données des stations météorologiques pour les raisons suivantes :

- ils ne savent pas quels renseignements demander ;
- ils ne savent pas à qui s'adresser ;
- l'accès aux données n'est pas gratuit ;
- les renseignements sont insuffisants étant donné la médiocre couverture des stations ;
- les renseignements sont de mauvaise qualité et de nombreuses valeurs manquent ;
- les renseignements sont difficiles à interpoler entre stations météorologiques ;
- les renseignements sont difficiles à interpréter quant à la transmission du paludisme et aux épidémies.

Cependant, ce sont les données enregistrées par une station météorologique, lorsque celle-ci est proche, qui rendent le plus exactement compte des conditions météorologiques actuelles et du passé dans un endroit déterminé ; elles constituent donc une source d'information inappréciable. Pour surmonter certaines des difficultés mentionnées ci-dessus, on a étudié la possibilité pour les services de lutte antipaludique d'utiliser les données météorologiques fournies par les satellites météorologiques (Connor *et al.*, 1999 ; Connor *et al.*, 1997 ; Connor *et al.*, 1998 ; Hay, 1997 ; Hay *et*

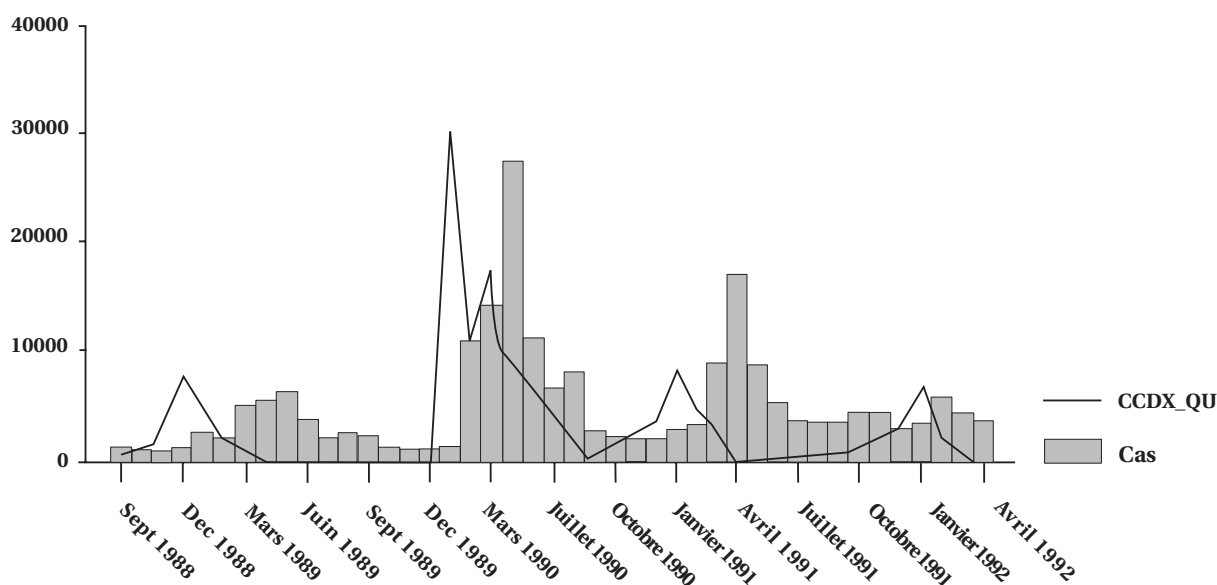


Figure 5. Nombre de malades du paludisme hospitalisés (CAS) dans 9 hôpitaux du district d'Ovamboland (Namibie) (Green, 1992) comparé à la durée de persistance des nuages froids (CCDX_QU), indicateur de substitution de la pluviosité tiré de données satellites (Connor *et al.*, 1998).

¹⁵ (<http://edcintl.cr.usgs.gov/adds/adds.html>)

¹⁶ Décade est souvent le mot utilisé pour une période de 10 jours.

al., 1998a ; Thomson *et al.*, 1996 ; Thomson *et al.*, 1997 ; Thomson *et al.*, 1999a). On peut sans difficulté extraire les données satellites des archives et les communiquer aux chercheurs qui travaillent au niveau du district ou, si besoin en est, assurer une formation à l'utilisation et à l'interprétation des données satellites historiques et des données en temps quasi réel, comme le font actuellement des organisations de suivi de la sécheresse au niveau des districts.

Il existe toute une littérature sur le recours au système de pré-alerte au paludisme qui était en place en Inde et au Pakistan avant l'indépendance (Connor *et al.*, 1999), mais on ne trouve guère de trace de leur utilisation sur le continent africain, à l'exception du Kenya, où un tel système fonctionnait dans les années 30 et 40. Ce système était basé sur les périodes de fortes précipitations après sécheresse (et la malnutrition qui en découlait) et servait à prévoir des flambées généralisées de paludisme (voir Encadré 4.1, page 22, Cox *et al.*, 1999).

Des méthodes spécifiques de pré-alerte fondées sur les variables météorologiques ont été proposées pour plusieurs situations. Freeman et Bradley, (1996) ont observé que des températures moyennes, en septembre au Zimbabwe, sont le signe avant-coureur d'un épisode de paludisme au-dessus de la moyenne à la saison suivante. Ces auteurs ont noté que les précipitations mensuelles n'étaient pas liées au nombre de cas de paludisme observés grâce à divers systèmes disparates de notifications, à l'exception des années de sécheresse, où les cas de paludisme étaient nettement moins nombreux. Le Zimbabwe n'a encore pas donné suite à cette constatation.

En revanche, on a noté qu'en Namibie, les précipitations (quantité et répartition) étaient un bon indicateur de morbidité palustre, une relation particulièrement étroite existant entre cas et nombre de jours de pluie ($r = 0,8, 95 \% \text{ CI} = 0,38-0,90$). On a noté aussi que la pluviosité et le taux d'humidité donnaient aussi des résultats intéressants (Scrimgeour, 1991). Cette analyse, selon laquelle les données pluviométriques en Namibie pourraient servir de système de pré-alerte au paludisme, a eu l'appui du consultant OMS de l'époque qui a proposé d'établir rapidement un tel système basé sur les données satellites de pluviométrie (Green, 1992). Une analyse ultérieure des cas de paludisme et de l'estimation des pluies fournie par Météosat (Connor *et al.*, 1998) a encore renforcé cette hypothèse (Fig. 5).

Les précipitations record tombées en Afrique orientale et associées au phénomène El Niño (ENSO) de 1997/98 ont provoqué des épidémies de paludisme non seulement au Kenya mais aussi en Somalie, en Ethiopie, en Ouganda et en Tanzanie. Cependant, elles n'ont pas nécessairement provoqué des épidémies de paludisme dans les zones de transmission instable de ces régions. Le phénomène s'est produit pendant une étude de la transmission du paludisme dans les monts Usambara de Tanzanie (Lindsay *et al.*, 2000). Une étude de la prévalence faite avant son apparition (août 1997) a été suivie d'une deuxième étude, en septembre 1998, sur les effets de ces précipitations, deux à quatre fois supérieures à la normale, sur la transmission du paludisme. Contrairement à ce que l'on attendait, les taux de prévalence relevés lors de la deuxième étude ont été nettement inférieurs, ce qui a conduit les auteurs à supposer que les pluies extrêmement fortes avaient détruit de nombreux gîtes larvaires et donc fait diminuer la transmission. Ainsi, s'il est clair que de fortes pluies augmentent la probabilité de la survenue d'une épidémie, la relation n'est absolument pas certaine et les précipitations ne sont peut-être pas, à elles seules, un indicateur de risque suffisant dans certaines zones.

Dans de nombreux pays, les services de santé ont accès aux données météorologiques par l'intermédiaire de leurs centres météorologiques nationaux qui mesurent et enregistrent la pluviosité, la température et parfois, l'hygrométrie sur la base de renseignements communiqués par plusieurs stations météorologiques de leur ressort. Cependant, dans beaucoup de zones, le réseau de stations en place pêche par un échantillonnage défectueux qui entraîne des problèmes d'interpolation lorsque les zones sont vastes et le relief perturbé. Dans plusieurs pays, comme l'Angola et le Soudan, l'accès aux données météorologiques pour certaines zones est aujourd'hui rare ou inexistant du fait de conflits et de troubles. Dans certains pays, où on a instauré le recouvrement des coûts ou la commercialisation partielle des services météorologiques, il est courant que les données des stations soient payantes. Les satellites météorologiques, y compris Météosat et NOAA, fournissent régulièrement des données sur le temps et l'environnement à de nombreux services météorologiques africains et aux responsables de la planification des ressources naturelles. On peut obtenir ces données sur Internet sans difficulté.¹⁵ Les produits largement utilisés de ces capteurs satellitaires sont les estimations des précipitations et les mesures de substitution de



la situation de la végétation ou de son état plus ou moins vert.

7.5.1 Persistance des nuages froids et estimations des précipitations

Dans presque toute l'Afrique tropicale, la pluie est le plus souvent le résultat de fortes tempêtes de type convectif et les nuages dont les sommets sont les plus froids produisent les plus fortes précipitations. Il est possible de procéder à des estimations de précipitations en mesurant les températures des sommets des nuages grâce à des images infrarouge obtenues toutes les demi-heures de Météosat canal 2 (résolution spatiale : 5 km). A un certain seuil de température (-40 à -70°C selon la latitude et la saison), les nuages se condensent et occasionnent des pluies. En mesurant la période pendant laquelle un nuage est à cette température seuil critique, période connue sous le nom de persistance des nuages froids (CCD), il est possible d'estimer la quantité réelle de pluie par des techniques de régression simples (Milford et Dugdale, 1990).

Les estimations RFE des précipitations pour le continent africain, calculées aussi bien à partir de la CCD qu'avec des modèles météorologiques sont distribuées tous les 10 jours¹⁶ sur Internet (USAID Africa Data Dissemination Service – ADDS).

Cette information (résolution spatiale 5 km) peut être facilement analysée en conjonction avec d'autres données numériques (sur la topographie, les sols, la végétation, etc.) au moyen d'un logiciel distribué gratuitement par les systèmes USAID/FAO d'alerte rapide aux risques de famine. Les images RFE se sont révélées de bons indicateurs des zones de pluies surabondantes pendant la courte période de pluies de 1997-98 en Afrique orientale ; elles correspondaient aux données des stations météorologiques des zones semi-arides du Kenya du nord-est et ont permis de donner l'alerte trois mois avant l'épidémie de paludisme de Wajir (Connor *et al.*, 1999).

7.5.2 Indice de végétation (NDVI)

Il est prouvé que la production de végétation primaire est étroitement liée aux précipitations dans les savanes tropicales, qui reçoivent entre 200 et 1000 mm de pluie par an. Cette relation permet, à partir de variables écologiques de substitution provenant de données satellites qui informent sur l'état de la végétation, de déduire aussi bien le moment des pluies que leur quantité. Le capteur du radiomètre perfectionné à très haute résolution (AVHRR) plate-forme de la NOAA s'est révélé être un outil extrêmement puissant de surveillance de l'environnement, parce qu'il a servi à évaluer l'état de la végétation à partir d'indices de végétation. Le NDVI (indice différentiel normalisé de végétation : Rouse *et al.*, 1974) est l'indice de végétation le plus largement utilisé et des données sont archivées depuis le début des années 80.

Il est prouvé que les modifications temporelles dans l'indice de végétation NDVI sont un bon indicateur de la saison du paludisme en Gambie, au Niger (Thomson *et al.*, 1997) et au Kenya (Hay *et al.*, 1998b). Cependant, comme le temps de battement entre cet indice et les cas est court (un mois au mieux) et comme les valeurs de NDVI peuvent être saturées après des périodes de précipitations maximales dans certaines zones (par exemple, les zones montagneuses d'Afrique orientale), il convient d'associer imagerie RFE et indices NDVI dans un système de pré-alerte au paludisme.

Les données NDVI fournies par le capteur Végétation relativement nouveau de SPOT (Satellite pour l'Observation de la Terre) offrent un produit très nettement meilleur quant à la qualité des données (résolution spatiale de 1 km). La FAO étudie actuellement ces données pour améliorer son Système mondial d'information et d'alerte rapide (Snijders, 2000). Cependant, les données de ce satellite commercial risquent d'être bientôt remplacées par celles que la nouvelle génération de satellites Météosat fournit gratuitement aux services météorologiques.

Dans les zones semi-arides, des indicateurs de substitution des précipitations et de la végétation tirés des données satellites semblent être les données les plus simples à utiliser dans un système MEWS fonctionnant au niveau central car ainsi il est possible d'analyser rapidement tout un pays ou toute une région (Hay *et al.*, 2000b ; Thomson *et al.*, 2000b). Comme les organismes de sécurité alimentaire et de surveillance de la sécheresse se servent aussi de cette information à l'échelon de la province et du district, il semblerait que le personnel chargé de la lutte antipaludique puisse tirer grand profit d'initiatives multisectorielles favorisant l'emploi d'un langage commun et d'outils communs et donnant un meilleur accès aux activités de renforcement des capacités (Thomson *et al.*, 2000a).

7.6 Hydrologie

Les seules précipitations peuvent ne pas être un bon indicateur du risque de transmission du paludisme dans les zones semi-arides chaudes où leur impact sur l'écologie locale est gouverné par le processus hydrologique associé à la topographie et au type de sol. Pour ces zones, un système de pré-alerte fondé sur la limnimétrie des rivières ou des barrages peut être plus utile, comme il a été proposé pour le bassin du Sénégal (Faye *et al.*, 1998).

La surveillance hydrologique est aussi particulièrement indiquée au Soudan où les crues sont un facteur de déclenchement de la multiplication des cas de paludisme dans certains lieux (El Sayed *et al.*, 2000). Les crues dépendront de la distribution et du moment des précipitations dans tout le bassin hydrographique plutôt que de précipitations locales. On a noté que la mesure dans laquelle les crues sont associées à l'augmentation des cas de paludisme dépend de la relation entre le moment des crues et d'autres facteurs comme les précipitations et l'humidité (Najera, 1999).

La modélisation hydrologique comme outil de prévision des taux d'agressivité d'*Anopheles gambiae* a été étudiée au Kenya (Patz *et al.*, 1998). Selon une étude récente faite en Afrique du Sud, il devrait être possible de prévoir le nombre de cas de paludisme au niveau du district au moyen d'une combinaison de variables hydro-climatologiques (observations depuis le sol, imagerie satellitaire et produits d'un modèle hydrologique) (Grass *et al.*, 2000).

7.7 Modèles statistiques contre modèles biologiques de maladies transmises par des vecteurs

Comme pour la prévision climatique saisonnière, il existe deux approches fondamentales pour l'élaboration de modèles prévisionnels des épidémies de paludisme. La première emploie des techniques statistiques basées sur des séries chronologiques pour mettre au point, à partir de données historiques, des modèles où la relation entre variables de prévision et indices paludométriques (par exemple, nombre de cas) est décrite mathématiquement. Il est difficile d'établir une corrélation entre les modifications temporelles dans les facteurs climatiques/environnementaux et les indices paludométriques (cas de paludisme, taux d'inoculation entomologique, etc.) dans les régions où la température est un facteur limitant, car il y a corrélation croisée et interaction entre les facteurs prédictifs. Par exemple, les précipitations peuvent être un bon facteur prédictif de paludisme dans les zones montagneuses, pour autant qu'elles se produisent à une époque où les températures sont favorables à la transmission. De plus, le temps de battement entre les variables précipitations et humidité d'une part et les cas de paludisme de l'autre peut évoluer en fonction de l'action de la température sur la vitesse des processus. De ce fait la corrélation statistique est particulièrement difficile à établir.

La seconde approche consiste à élaborer des modèles biologiques dans lesquels les cas sont prévus à partir des résultats du modèle et les résultats comparés aux données historiques. Un outil d'appui à la décision, qui fait appel à des modèles de capacité vectorielle et de taux d'inoculation entomologique dépendant du climat, permet une étude partielle de cette matière complexe (Worrall *et al.*, 2000).

7.8 Vulnérabilité

On a proposé une méthode de cartographie plus dynamique combinant les indicateurs de vulnérabilité et les indicateurs de risque de transmission au sein d'un système d'information géographique pour indiquer les zones où les populations courent les plus grands risques d'épidémie. Comme ces indicateurs de vulnérabilité et de risque changent l'un et l'autre au fil du temps, il est proposé une approche dynamique de la cartographie où les données satellites peuvent représenter une part importante de l'information utilisée. Par exemple, les zones où deux à trois années de sécheresse peuvent avoir abaissé le niveau normal d'immunité dans une population, peuvent aussi avoir connu des problèmes de sécurité alimentaire. Il est possible de procéder à partir de données satellites à une première évaluation de l'augmentation aussi bien de la transmission que de la vulnérabilité.

Par zones semi-arides on entend ici des zones de précipitations faibles à modérées très variables d'une année à l'autre. Des épidémies de paludisme se sont récemment produites dans de telles

¹⁷ <http://www.brad.ac.uk/research/ijas/>



zones en Afrique australe, orientale et occidentale (par exemple, nord du Botswana, 1996 ; Zimbabwe occidental, 1996 ; Kenya du nord-est, 1998 ; et Mali du centre-nord, 1999). Dans chacun des cas, il s'agit de districts qui ont connu des épidémies de paludisme et d'une population largement non immune.

De nombreuses zones touchées ont ceci de commun que, peu avant les épidémies, elles avaient subi une période de sécheresse et que l'on y avait constaté de graves problèmes de sécurité alimentaire. Il semble que les épidémies qui suivent une période de sécheresse prennent les services de santé au dépourvu, ce qui aboutit souvent à des taux de létalité élevés.

Des épidémies se sont aussi déclarées en 1997 au Zimbabwe et au Botswana après l'année d'épidémie de 1996. En 1997, le nombre de cas a été plus élevé que l'année précédente, mais le taux de létalité a été beaucoup plus faible. Ce dernier phénomène peut être attribué à une immunité accrue résultant de l'épidémie de 1996, au fait que la bonne récolte de 1996 a assuré une bonne nutrition et à une meilleure anticipation du Ministère de la Santé.

L'étude d'une épidémie dévastatrice enregistrée dans les zones montagneuses du district de Muleba en Tanzanie (au-dessus de 1200 m) où normalement, la transmission est saisonnière, corrobore l'idée que la sécurité alimentaire joue un rôle lors des épidémies de paludisme (Garay, 1998). On s'est aperçu que pendant l'épidémie de Muleba, le risque de mortalité palustre était sept fois plus élevé chez les enfants malnutris que chez les enfants bien nourris, ce qui vient confirmer l'opinion selon laquelle ce sont les communautés dont le droit à la nourriture est restreint qui souffrent le plus des conséquences d'une épidémie de paludisme.

Il devrait être assez facile de surveiller les facteurs de risque associés aux situations épidémiques d'après sécheresse, et les services de lutte auraient là une période pendant laquelle ils pourraient organiser la réaction appropriée. Par exemple, avec une veille météorologique et environnementale « en temps presque réel » associée à des données d'archives, on doit pouvoir déterminer les zones où des précipitations excessives ont touché une population à l'immunité faible ou réduite, et donc mettre les autorités en garde contre une épidémie de paludisme possible (Connor et Thomson, 1999 ; Thomson *et al.*, 2000b).

7.8.1 Comparaisons entre Système d'alerte rapide aux risques de famine (FEWS) et Système de pré-alerte au paludisme (MEWS)

Dans le cycle des épidémies de paludisme, on a distingué quatre étapes distinctes : pré-épidémique, vague épidémique, postépidémique et interépidémique (Onori et Grab, 1980). Les points communs entre le cycle épidémique du paludisme, les indicateurs de risque qui lui sont associés et ceux que l'on a définis dans les systèmes d'alerte rapide aux risques de famine apparaissent clairement (Tableau 4).

Les connaissances et les ressources tirées du système FEWS peuvent être largement utilisées pour mettre en place un système MEWS. La plupart des pays à risque feront partie d'un réseau régional FEWS et nombreux seront ceux qui auront un système national spécialisé, axé plus particulièrement sur les districts à risque. Comme pour les prévisions d'épidémie de paludisme, l'Inde avait des systèmes d'alerte rapide à la famine avant l'indépendance. En Afrique, l'intérêt pour l'alerte rapide à la famine a été stimulé lors des périodes de sécheresse entraînant des famines d'un bout à l'autre du Sahel à la fin des années 60 et au début des années 70, puis lors des événements très médiatisés qui se sont produits dans une grande partie du Sahel et dans la Corne de l'Afrique au début des années 80.

Au Sommet de Bonn, en 1985, les pays donateurs ont décidé de renouveler leurs efforts communs pour détecter et éviter la famine à l'avenir, en particulier en Afrique. C'est ainsi qu'ont été élaborés le système ARTEMIS (système d'information pour la surveillance environnementale de l'Afrique, en temps réel) de la FAO et le système FEWS, de l'USAID. Les résultats obtenus par le système FEWS ont été divers et l'on en a tiré des leçons utiles sur la confiance excessive dans les seuls indicateurs physiques (précipitations, développement des cultures saisonnières). Par exemple, le fait que souvent une famine sévise non pas parce que la nourriture manque totalement mais parce que les groupes les plus vulnérables n'ont pas droit à la nourriture a été clairement illustré (Sen, 1981). Il a donc été possible d'améliorer nettement l'exactitude des prévisions en combinant indicateurs physiques et indicateurs socio-économiques pertinents de vulnérabilité

(Hutchinson, 1998 ; Seaman, 1997). Il existe aussi un résumé de l'ensemble des recherches sur les problèmes que pose la réponse fondamentale aux alertes à la famine (Buchanan-Smith et Davies, 1995). On trouvera dans un numéro spécial de l'Internet Journal of African Studies « Using science against famine: food security, famine early warning and El Niño » (science contre famine : sécurité alimentaire, alerte rapide à la famine et El Niño)¹⁷, une vue générale utile de l'état d'avancement de la mise en place de systèmes FEWS et des questions connexes. Ce volume aborde les principaux aspects des liens entre sécurité alimentaire et famine, la capacité des systèmes FEWS à prévenir la famine, le rôle du phénomène ENSO dans ces systèmes et plusieurs études de cas sur l'utilisation des systèmes de prévision. En particulier, l'article qui concerne la sécheresse de 1991-92 en Afrique australe, qui avait toutes les marques distinctives d'une catastrophe internationale, montre le rôle crucial que le système FEWS de la région de la SADC a joué dans la prévention de la famine en fournissant l'information nécessaire suffisamment à temps pour permettre aux décideurs d'appliquer des programmes d'importation de vivres (Rook, 1997).

7.9 Les systèmes de pré-alerte pour les maladies autres que le paludisme

Si les systèmes de pré-alerte n'ont guère servi dans le cas du paludisme en Afrique jusqu'à ces dernières années, les systèmes d'informations géographiques et les techniques de télédétection pour délimiter les zones à risque d'épidémie d'autres maladies, transmises ou non par des vecteurs, ont soulevé un intérêt considérable.

C'est pour les maladies soumises à un facteur écologique qui change peu au cours du temps qu'il est le plus facile de délimiter les zones à risque d'épidémie. Le type de sol s'est révélé un important déterminant de la distribution du vecteur responsable des épidémies de kala azar au Soudan et, associée à des facteurs climatologiques, cette donnée a servi à prévoir les zones à risque (Thomson *et al.*, 1999b). Le type de végétation aussi peut être un déterminant écologique clé de la distribution des vecteurs bien que cette distribution puisse être nettement modifiée au fil du temps à la suite du déboisement et d'une nouvelle utilisation des sols. Le vecteur *Chrysops* de la filaire loa loa vit dans la canopée d'Afrique centrale et d'Afrique de l'Ouest, dont la distribution a été cartographiée à partir de données satellites (Thomson *et al.*, 2000c). Les facteurs environnementaux associés aux épidémies de maladie du sommeil en Afrique ont été étudiés grâce à des données satellites (Rogers, 1991). Ce travail découle d'un ensemble beaucoup plus important de travaux pour lesquels ont été utilisées des données de NOAA-AVHRR pour circonscrire l'habitat de différents vecteurs de la trypanosomiase (Rogers *et al.*, 1996 ; Robinson *et al.*, 1997).

Le caractère saisonnier de la méningite à méningocoque dans la région du Sahel en Afrique a été imputé à des processus climatologiques et on a de bonnes preuves qu'il en a effectivement été ainsi (Molesworth *et al.*, 2000). Cependant, même si l'on sait depuis longtemps que, dans cet environnement, les conditions météorologiques sont un déterminant important de la fin de la saison de la méningite, il n'est pas certain que les variables météorologiques peuvent servir ou non à prévoir le début d'une épidémie. Si l'on pouvait établir une telle relation, elle pourrait servir de base à un système de pré-alerte qui permettrait d'atténuer les effets catastrophiques de ces épidémies.

Un système de pré-alerte aux épidémies de fièvre de la vallée du Rift, au Kenya, basé sur des données météorologiques satellitaires, a été proposé pour la première fois en 1990 (Linthicum *et al.*, 1990). Des études ultérieures ont révélé que toutes les flambées de fièvre de la vallée du Rift observées en Afrique orientale de 1950 à mai 1998, ont suivi des périodes de précipitations anormalement fortes. L'analyse de ces données et des anomalies de la température de la surface de l'océan Pacifique et de l'océan Indien, associée à des données NDVI, montre que l'on peut prévoir une flambée de fièvre de la vallée du Rift en Afrique orientale jusqu'à cinq mois à l'avance. A la mi-décembre 1997, le ministère de la santé kenyan a reçu notification d'une flambée de fièvre hémorragique accompagnée de taux élevés de létalité qui émanait du nord-est du pays, région très touchée par les crues dues aux précipitations exceptionnelles d'octobre-novembre 1997 ; on a pu déterminer que la fièvre de la vallée du Rift était un facteur important (30 % à 40 %) mais non la cause principale de l'épidémie. Les épidémies de fièvre de la vallée du Rift en Afrique occidentale ont aussi été associées à des pluies particulièrement fortes, ce qui donne à penser que la surveillance météorologique peut aussi permettre de prévoir une élévation subite du nombre de cas chez les animaux et les hommes de cette région (Thonnon *et al.*, 1999).



On étudie aussi la possibilité de mettre des systèmes de pré-alerte en place pour diverses maladies parasitaires des animaux en Afrique. Les premières recherches semblent montrer que des mesures indirectes de la température données par la bande infrarouge thermique de Météosat peuvent être utiles aux fermiers de Namibie pour prévoir les épidémies saisonnières provoquées chez le mouton par le diptère *Oestrus ovis* (Flasse *et al.*, 1998). Un système d'évaluation du risque d'apparition saisonnière des douves *Fasciola hepatica* et *F. gigantica* en Afrique orientale a été essayé sur le terrain en Ethiopie (Malone *et al.*, 1998). Les résultats indiquent que des paramètres de prévision mensuelle, intégrés à un SIG avec des bases de données numériques sur les zones agro-écologiques et des bases de données climatologiques mensuelles, peuvent servir à préciser l'aire de

Tableau 4. Résumé des relations d'interaction entre systèmes d'alerte rapide aux risques de famine (FEWS)¹⁸ et systèmes de pré-alerte au paludisme (MEWS)

FEWS		MEWS			
Cycle de sécheresse : (D'après Chelagatt, 1997)	Début de la sécheresse	1	Cycle de l'épidémie (D'après Onori and Grab, 1980)	Avant l'épidémie	1
	Pendant la sécheresse	2		Pendant l'épidémie	2
	Récupération après sécheresse	3		Après l'épidémie	3
	Entre les sécheresses	4		Entre les épidémies	4
Cartographie/ évaluation de la vulnérabilité	Les sécheresses passées/variabilité climatologique		Cartographie	Les épidémies du passé/variabilité climatologique/malnutrition	
	Utilisation des sols/zones écologiques			Utilisation des sols/zones écologiques	
	Système d'exploitation agricole			Professions/activités à haut risque	
	Prévisions saisonnières à moyenne échéance			Prévisions saisonnières à moyenne échéance	
Suivi et surveillance	Distribution des précipitations		Suivi et surveillance	Distribution des précipitations/ températures	
	Etat de la végétation			Etat de la végétation	
	La production dans un passé récent			L'épidémiologie dans un passé récent	
	Etat de la vulgarisation agricole			Etat des activités de lutte courantes	
	Prix du marché des céréales/ du bétail			Coût des soins de santé	
	Rapport bétail/population			Rapport bétail/population	
	Malnutrition			Paludisme	
	Diminution des disponibilités ¹⁹ / alimentaires/droit à la nourriture ²⁰			Accès/droit aux soins de santé	
	Déplacements			Déplacements/migrations	
Mesures possibles	Maintenir les quantités de céréales disponibles		Mesures possibles	Réduire le potentiel de transmission du paludisme (ex. pulvérisations à effet rémanent, traitement des moustiquaires)	
	Campagnes de sensibilisation aux problèmes vétérinaires			Campagnes de sensibilisation aux problèmes de santé	
	Subventions à l'achat de bétail			Subventions pour moustiquaires /imprégnation d'insecticide	
	Secours d'urgence en santé et nutrition			Administration massive de médicaments/Dispensaires mobiles/Prise en charge des cas	

¹⁸ Surveillance de la sécheresse, systèmes de sécurité alimentaire.

¹⁹ Food availability decline (FAD) (d'après Sen, 1981)

²⁰ Food entitlement decline (FAD) (d'après Sen, 1981)

distribution géographique des deux espèces de *Fasciola*, les variations régionales de la distribution de leur intensité et les caractéristiques de leur transmission saisonnière à différents endroits.

7.10 Conclusion

Parmi les activités décrites plus haut, beaucoup ont évolué dans diverses directions au cours du temps mais il est clair que les outils communs (systèmes d'information géographique et télédétection, modélisation mathématique, analyse spatiale et des séries chronologiques, intégration des données de la télédétection et des données locales, utilisation d'indicateurs quantitatifs et qualitatifs) montrent les avantages potentiels importants d'une approche multidisciplinaire multimaladies. Pour en tirer parti, les partenaires des différents secteurs doivent apprendre à travailler différemment, à mettre en commun leurs données, leurs ressources et leurs idées pour améliorer la rentabilité de leurs programmes respectifs.

8 DETECTION PRECOCE DU PALUDISME EN AFRIQUE

8.1 Données fournies par la surveillance

La surveillance signifie généralement la collecte et l'analyse systématiques et continues d'une série de mesures quantitatives. Pour prévoir une épidémie à temps, il est essentiel de détecter et d'interpréter les modifications du profil des séries chronologiques construites. Les services de santé publique du monde entier utilisent toute une gamme de techniques d'analyse temporelle. Celles dont il est question ici sont axées sur les procédures qui permettent actuellement de détecter en temps utile le début d'une épidémie potentielle de paludisme dans le contexte africain, où les systèmes de surveillance ne sont pas toujours très au point. On ne peut utiliser les données des systèmes de surveillance pour la détection précoce d'une épidémie potentielle que si :

- la collecte et la notification des données sont faites en temps voulu (c'est-à-dire toutes les semaines) ;
- les données collectées sont représentatives ;
- les données sont interprétées en temps voulu (c'est-à-dire toutes les semaines) ;
- l'interprétation des données fournit une indication exacte de la survenue d'une épidémie.

Le personnel des divers établissements de soins peut détecter une épidémie locale de paludisme mais, pour assurer la coordination du suivi des données de la surveillance au niveau provincial ou national, il faut un système plus perfectionné. Les sources des données qui peuvent servir à la surveillance de la santé publique varieront d'un pays à l'autre suivant le stade de développement et de diversification des services de santé publique, la qualité et l'importance des services de laboratoire, les ressources humaines et les compétences en place, les caractéristiques de la transmission locale du paludisme et la possibilité d'utiliser des ordinateurs et des systèmes de communication rapide (réseaux informatiques, courrier électronique, Internet, radio).

Là où ils existent, les systèmes d'information sanitaire qui assurent la collecte centralisée des données émanant des installations de soins périphériques, pour un nombre déterminé de maladies/symptômes, en sont à leurs balbutiements dans beaucoup de pays africains. Des systèmes informatisés intégrés se sont développés ces 10 dernières années dans quelques pays, comme le Niger (Mock *et al.*, 1993), et offrent désormais de nouvelles possibilités de recourir aux données de la surveillance sanitaire pour planifier les ressources. En particulier, l'accent mis sur la notification rapide des maladies épidémiques a eu pour résultat l'élaboration de systèmes d'alerte fondés sur les seuils épidémiologiques. Malheureusement, comme normalement le paludisme n'est pas une maladie à déclaration obligatoire, il arrive qu'il ne soit notifié systématiquement aux systèmes sanitaires informatisés que tous les trois mois.

8.2 Les sites sentinelles

Comme il est courant que les renseignements qui émanent régulièrement des systèmes d'information sanitaire n'arrivent qu'au bout d'un certain temps (de quelques mois à quelques années dans certains pays africains), certains établissements de soins équipés d'installations de diagnostic des plasmodies peuvent être retenus comme sites sentinelles de surveillance dans les districts sujets à épidémie. Ils peuvent fournir chaque semaine des renseignements aux autorités



d'un district, d'une province ou du pays pour prévenir les services de lutte antipaludique qu'une épidémie potentielle se prépare. Ce système de notification hebdomadaire des sites sentinelles prend peu à peu un caractère régulier dans certains pays (comme le Zimbabwe) et permet de détecter une épidémie de paludisme au début de la vague épidémique. Le choix des sites sentinelles est critique. D'abord, le site doit être choisi eu égard au fait que des modifications spectaculaires dans le nombre de cas signifieront qu'une épidémie locale de paludisme va survenir. On évalue ce phénomène en se fondant sur la stratification environnementale et les épidémies passées dans le district, la taille de la population desservie par l'établissement, les mouvements de population dans la zone et, élément important, la qualité des prestations de santé, des services de diagnostic et de l'enregistrement des données.

8.3 Recours aux données sur le paludisme diagnostiqué en laboratoire

Dans beaucoup de zones impaludées d'Afrique, les services de santé fondent leur diagnostic essentiellement sur les symptômes cliniques de l'« accès fébrile » de paludisme pour décider du traitement. On sait depuis longtemps que tant que la recherche de plasmodies dans le sang n'a pas confirmé la chose, le recours aux seuls symptômes cliniques peut aboutir à de très nombreuses erreurs de diagnostic car de nombreux accès fébriles non paludiques seront diagnostiqués comme paludisme. Ce type de diagnostic abusif est particulièrement courant pendant la saison sèche où il arrive que l'on relève plus de 90 % d'erreurs (Julvez *et al.*, 1992). Non seulement ces erreurs gonflent les chiffres du paludisme, mais elles peuvent avoir pour résultat que la cause réelle de la maladie ne soit pas traitée. C'est une cause majeure de polychimiothérapie, un traitement inefficace suivant l'autre.

Ainsi, pour bien utiliser les données de la surveillance dans un système de pré-alerte au paludisme, il faut être extrêmement attentif à la mise en place et à l'amélioration des services de diagnostic en laboratoire et à l'enregistrement des données de laboratoire aussi bien dans les dossiers des consultants externes que dans ceux des malades hospitalisés.

8.4 Techniques de l'analyse temporelle

8.4.1 Cartes de contrôle de la qualité

On a mis au point dans l'industrie une série de méthodes de contrôle de la qualité permettant de suivre des séries chronologiques. La littérature sur la surveillance de la santé publique en a surtout retenu trois : le test de Shewhart, le simple test des sommes cumulées et le masque en V. Ces méthodes sont fondées sur une comparaison des valeurs fournies par les séries chronologiques et des valeurs constantes, en général définies empiriquement sur la base de données historiques. Les avantages de ces méthodes sont qu'il est facile d'établir le graphique des résultats et que ceux-ci peuvent être aisément incorporés dans un système d'information et clairement compris des décideurs (Nobre et Carvalho, 1994).

Pour le test de Shewhart, on n'utilise que la dernière observation, en la comparant à un objectif prédéfini ou à une valeur attendue. Une apparition anormale de cas est déclarée chaque fois que la différence absolue entre les valeurs observées et les valeurs attendues est supérieure à un seuil déterminé. Le test simple des sommes cumulées est basé sur l'addition des écarts entre les valeurs attendues et les valeurs observées. Ici, des phénomènes anormaux sont décelés lorsque la somme cumulée absolue est supérieure à une valeur limite déterminée.

Enfin, la méthode du masque en V, aussi connue sous le nom de méthode CUSUM, est fondée sur la construction du graphique des sommes cumulées des écarts entre valeur observée et valeur attendue. Pour cette méthode, un masque en V déplacé sur la série chronologique cumulative à laquelle on aboutit permet de détecter les points atypiques.

Une évaluation des trois méthodes donne à penser qu'outre le choix de valeurs constantes comme seuil épidémique, d'autres paramètres, comme le moment où le seuil est atteint, sont importants et peuvent servir efficacement à prévoir des épidémies (Frisen, 1992). On trouvera ci-après un exemple de seuil par comptage des cas utilisé couramment en surveillance du paludisme.

Méthode 1 : seuils par comptage constant des cas

Au Botswana, la prévision d'une épidémie de paludisme au niveau du district repose sur trois seuils

d'alerte établis à partir des cas non confirmés aussi bien que confirmés de paludisme. Dans ce système, un nombre absolu de 400 cas/semaine dans un district indique une situation inquiétante qui doit être traitée au niveau du district, 800 cas/semaine signalent qu'il faut informer les autorités nationales et 1200 cas/semaine indiquent une situation d'urgence nationale. La simplicité de cette méthode est renforcée par un système d'entrée de données dans lequel les nombres de cas supérieurs au seuil sont automatiquement soulignés en rouge, ce qui éveille l'attention de ceux qui examinent les données. Le Botswana se distingue d'une grande partie de l'Afrique par le fait que tous les cas suspects sont soumis à un diagnostic de laboratoire. Ce système paraît approprié à la structure des districts du Botswana, qui est largement déterminée par la taille de la population (environ 100 000 habitants).

8.4.2 Suivi statistique

Pour fixer les seuils épidémiques en Afrique, on compare le plus souvent le nombre moyen/médian normal de cas des années précédentes (au moins cinq) avec le nombre de cas de la période considérée pendant un temps déterminé (semaine ou mois par exemple). Au départ, il peut ne s'agir que de cas suspects mais le test de la goutte épaisse viendra ultérieurement confirmer ou infirmer la modification suspectée du nombre de cas.

Méthode 2 : moyenne + 2 écarts types

Il s'agit de calculer la moyenne à long terme des cas mensuels de paludisme (tirée d'un ensemble de données portant sur cinq ans au minimum d'où les années anormales ont été exclues) et un seuil épidémique fixé à deux écarts types de la moyenne. On a encouragé l'emploi de cette méthode en Afrique après les résultats prometteurs d'une étude faite en Thaïlande du nord au début des années 80 (Cullen *et al.*, 1984).

Cette méthode du seuil a été testée à Madagascar et l'on en a conclu qu'elle avait une grande sensibilité, mais que sa spécificité et sa valeur prédictive étaient faibles. Sur les 69 épidémies annoncées par ce système, 17 seulement ont été déclarées dans les 30 jours et, après examen plus approfondi, il a été démontré que pour 5 seulement il y avait eu une augmentation réelle des cas de paludisme. Les principales raisons pour lesquelles les alertes avaient été lancées tenaient à des notifications médiocres et à la fermeture d'établissements de soins dans le voisinage (Raveloson *et al.*, 1998 ; Albonico *et al.*, 1999).

Méthode 3 : médiane et 3e quartile

Depuis un certain temps, l'OMS utilise l'expression « voie épidémique normale » pour décrire le profil saisonnier du paludisme dans une zone (Najera, 1998). La méthode recommandée pour obtenir la voie normale consiste à calculer la valeur médiane mensuelle et le troisième quartile au moyen d'une série chronologique de données mensuelles. Les mois où le nombre de cas est supérieur au troisième quartile seront normalement déclarés mois d'épidémie. Cette méthode présente sur la méthode 2, l'avantage que ses résultats sont moins influencés par les années anormales et que les valeurs sont plus faciles à calculer, sans recours à l'informatique. Là encore, il faut un minimum de 5 ans. Cependant, si les données historiques ne comportent aucune année d'épidémie, tout chiffre marginalement supérieur à ceux qui ont été enregistrés, pourrait avoir pour résultat la déclaration d'une épidémie – même si le nombre de cas se situe à l'intérieur de la fourchette normale. En Ouganda, les données historiques sur la morbidité palustre (3 à 5 ans) émanant de sites sentinelles servent à définir la médiane et les quartiles de l'incidence mensuelle du paludisme. Les agents de santé ont appris à reporter les cas de paludisme sur ce graphique chaque semaine. Lorsque le nombre de cas est supérieur à la médiane, une déclaration est envoyée au médecin de district aux fins d'une première alerte. S'il est supérieur au troisième quartile, l'épidémie est déclarée et le médecin local, le ministère de la santé et les médecins des divers districts sujets à épidémie en reçoivent immédiatement notification (Anon, 1999).

Méthode 4 : seuils d'incidence

Les seuils d'incidence servent d'indicateurs de détection précoce d'une épidémie pour d'autres maladies épidémiques africaines comme la méningite à méningocoque. Dans les pays où la méningite à méningocoque est hautement endémique, il est nécessaire, comme pour le paludisme, de distinguer entre une épidémie naissante et une simple élévation saisonnière de l'incidence, avant de mettre les mesures d'urgence en œuvre. Les épidémies de méningite à



méningocoque dues aux sérogroupes A ou C de *Neisseria meningitidis* peuvent être jugulées par une vaccination massive avec un vaccin polysidique. Pour mettre en œuvre des contre-mesures opérationnelles efficaces, il faut que la détection de ces épidémies soit précoce. Une valeur seuil de 15 cas par semaine pour 100 000 habitants a été mise au point au départ pour le Burkina Faso (Moore *et al.*, 1992), puis adaptée par d'autres pays de la ceinture de la méningite. Cependant, lorsqu'un comité d'experts a évalué ce seuil dans toute la sous-région, il s'est rendu compte qu'il était très imparfait dans la mesure où sa sensibilité et sa spécificité variaient d'une zone climatique à l'autre (Chippaux *et al.*, 1998). Les experts ont recommandé que chaque pays fasse ses propres recherches pour déterminer le seuil d'alerte le plus approprié pour chaque zone. Au Niger, l'analyse de quatre méthodes différentes d'évaluation du seuil permettant de déceler une épidémie de méningite à méningocoque au niveau du district, a révélé qu'un seuil fixé à 5/100.000/semaine sur trois semaines était plus sensible, mais moins spécifique, qu'un seuil de 15/100.000/semaine sur deux semaines. Les résultats donnent aussi à penser que lorsqu'on ne dispose pas de données de recensement, on obtient en triplant le nombre de cas (par rapport à la même semaine de l'année précédente) une sensibilité et une spécificité plus élevées qu'en doublant le nombre de cas/semaine pendant trois semaines (Chaballier *et al.*, 2000).

En poussant la recherche sur l'utilisation des seuils épidémiques pour la méningite, on a trouvé que le temps jouait un rôle dans la sensibilité et la spécificité, en ce sens qu'un seuil franchi tôt devrait susciter une plus grande inquiétude que s'il est franchi tard. Depuis, l'OMS a recommandé que, pour la méningite, on considère deux seuils établis à partir des données de la surveillance (Anon, 2000a). Le premier, le seuil d'alerte, devrait servir a) à donner la première alerte et à lancer une enquête en début d'épidémie ; b) à vérifier que tout est prêt pour l'épidémie ; c) à démarrer une campagne de vaccination si une épidémie sévit dans une zone voisine ; d) à établir un rang de priorité entre les zones où organiser des campagnes de vaccination au cours de l'épidémie. Le deuxième seuil épidémique sert à confirmer ultérieurement la survenue d'une épidémie pour accélérer les contre-mesures, c'est-à-dire vaccination massive et prise en charge appropriée des cas. Ce dernier seuil dépend du contexte et lorsque le risque d'épidémie est élevé, il est recommandé de le placer assez bas pour plus d'efficacité.

La mise au point de seuils – un seuil de première alerte et un seuil de détection précoce – peut aussi se révéler utile pour la prévention et le contrôle des épidémies de paludisme. Selon toute vraisemblance, il faudra aussi fixer des seuils pour certaines localités particulières car leur sensibilité et leur spécificité sont susceptibles de varier en fonction de facteurs épidémiologiques locaux. C'est là un important domaine de recherche opérationnelle dans les zones sujettes à épidémie.

8.5 Analyse de séries chronologiques

L'analyse de séries chronologiques, conçue à l'origine pour la prévision économique et le traitement des signaux géophysiques, s'est révélée pertinente et précieuse dans le domaine de la santé publique (Diggle, 1990). Cet instrument peut remplir les fonctions suivantes :

- donner une description concise d'un ensemble de renseignements historiques sur la santé (statistiques récapitulatives ou graphiques) ;
- fournir des prévisions sur le nombre de cas attendus ;
- tenir compte de la corrélation sérielle lorsque sont établies des inférences sur les paramètres structurels ;
- approfondir la connaissance scientifique des mécanismes qui sous-tendent la production des données.

L'analyse de séries chronologiques repose notamment sur les notions fondamentales suivantes : tendance, corrélation sérielle et stationnarité.

La tendance est une composante générale systématique qui évolue au fil du temps et ne se reproduit pas au cours de la période correspondant aux données étudiées (par exemple, la pharmacorésistance peut aboutir à une augmentation du nombre de cas d'année en année alors qu'il n'y a aucune modification du potentiel réel de transmission du paludisme dans une zone). Plusieurs outils statistiques simples permettent d'évaluer s'il existe, ou non, une tendance dans les données.

La corrélation sérielle (ou autocorrélation) est la norme dans les séries chronologiques où les valeurs aléatoires dépendent généralement statistiquement d'au moins quelque paires de valeurs dans la séquence. Pour analyser des séries chronologiques, il faut disposer d'outils statistiques capables de tenir compte de la corrélation sérielle.

La stationnarité concerne le fait que la structure probabiliste des fonctions aléatoires qui décrivent les séries chronologiques n'est pas modifiée par un changement de l'origine temporelle.

Il existe toute une gamme d'outils d'analyse de séries chronologiques qui peuvent servir à la conception d'un système MEWS. On en trouvera quelques exemples ci-après.

8.5.1 L'analyse spectrale

Les modèles spectraux sont fondés sur le principe de la "décomposition en série de Fourier" pour adapter les fonctions cycliques aux séries chronologiques. Pour ce type de modèle, il faut généralement disposer d'une très longue série, c'est pourquoi il est rarement utilisé pour les études épidémiologiques.

On a étudié, par l'analyse de la densité spectrale, les mécanismes qui sous-tendent la période interépidémies d'un ensemble de données sur le paludisme recueillies sur 33 ans dans les montagnes du Kenya. Les auteurs ont conclu que c'était la dynamique intrinsèque de la population, et non les données météorologiques, qui expliquait le mieux les augmentations périodiques du nombre de cas (Hay *et al.*, 2000a).

8.5.2 Modèle ARMMI (autorégressif à moyenne mobile intégrée)

Presque toute l'attention s'est portée sur l'utilisation de la stratégie de modélisation de Box-Jenkins pour construire des modèles autorégressifs à moyenne mobile intégrée (ARMMI) pour des variables spécifiques de la santé. Cette stratégie permet d'analyser une longue série de valeurs en mode stationnaire. Comme la plupart des variables intéressantes pour la santé ne sont pas stationnaires, les analystes doivent recourir à des transformations préliminaires, comme la stabilisation de la variance, pour parvenir à la stationnarité. Après avoir choisi la transformation, ils passent à l'identification du modèle, puis à l'estimation du paramètre et enfin à la vérification du diagnostic. Les principaux outils de modélisation sont les fonctions d'autocorrélation et d'autocorrélation partielle.

Un article paru récemment examine les aspects pratiques de la modélisation ARMMI des séries chronologiques telles qu'appliquées à la surveillance des maladies infectieuses à déclaration obligatoire, avec référence spéciale au logiciel SSS1 produit par le Centre For Disease Control and Prevention et largement distribué (Allard, 1998).

8.6 Séries chronologiques : corrélation croisée et régression linéaire

La corrélation croisée décrit la corrélation entre deux séries chronologiques quantitatives. Les observations concernant une série (cas de paludisme, par exemple) sont corrélées à celles qui concernent une autre série (précipitations, par exemple) à divers intervalles de temps. Il est possible ainsi de préciser quelles variables sont des indicateurs précurseurs d'autres variables.

Les techniques de la régression linéaire peuvent servir à élaborer des modèles de prévision pour une variable dépendante (cas de paludisme, par exemple) à partir de toute une gamme de variables quantitatives. Elles sont basées sur l'hypothèse que, pour chaque valeur de la variable indépendante, la distribution de la variable dépendante doit être normale. La variance de la distribution de la variable dépendante doit être constante pour toutes les valeurs de la variable indépendante. La relation entre la variable dépendante et chaque variable indépendante doit être linéaire et toutes les observations doivent être indépendantes.

L'avantage de ces méthodes est que les techniques sont plus largement utilisées que pour le modèle ARMMI bien qu'il puisse être plus difficile de les ajuster correctement et bien que l'autocorrélation dans les données puisse être négligée.

Par exemple, les corrélations croisées entre les séries chronologiques concernant le paludisme, les conditions météorologiques et les moustiques pendant une année ont été calculées pour une



zone montagneuse de l'Ouganda où une épidémie de paludisme avait suivi une période de pluies particulièrement fortes, en 1997/98 et où les températures minimales avaient été plus élevées que la normale (Lindblade *et al.*, 1999).

Alors que l'on pensait que les pluies excédentaires étaient un facteur clé précipitant la survenue de l'épidémie, les techniques de corrélation croisée appliquées aux données relatives à l'année de l'épidémie n'ont pas permis de conclure que les précipitations et les températures anormales étaient associées aux cas de paludisme. Cependant, on a constaté une corrélation croisée significative des densités de vecteurs du paludisme se reposant à l'intérieur des habitations avec un décalage d'un mois. Cette étude illustre certains des problèmes posés par l'analyse de séries chronologiques dans une situation où deux variables météorologiques qui agissent l'une sur l'autre modifient la dynamique de la transmission. Par exemple, de fortes pluies et des températures basses n'auront pas le même effet sur la transmission que de fortes pluies et des températures élevées.

En ce qui concerne la densité de vecteurs au repos à l'intérieur des habitations, les résultats positifs peuvent être intéressants s'ils diffèrent sensiblement des années sans épidémie mais ils indiquent que le temps de battement réel entre la pullulation de moustiques et les cas de paludisme est court – moins d'un mois. Comme il y a un décalage d'environ deux semaines entre l'infection et la maladie, beaucoup de sujets auront déjà été infectés avant que ne soit donnée l'alerte à l'épidémie basée sur cette méthode.

On a évalué l'effet du climat sur l'épidémie de paludisme au Rwanda par l'analyse de séries chronologiques (Loevinshon, 1994). A la fin de l'année 1987, l'incidence du paludisme dans la zone étudiée s'est élevée de 337 % par rapport aux trois années précédentes. Les modifications de l'incidence dans la zone d'activité des moustiques ont été nettement associées à la température et aux précipitations. Le modèle le plus approprié mis au point (par la régression linéaire multiple) d'après cette étude a été le suivant :

Incidence mensuelle = $4,32 + 1,64 \cdot LN$ (température mensuelle minimale moyenne avec décalage d'un mois) + $0,83 \cdot LN$ (température moyenne minimale mensuelle avec décalage de deux mois) + $5,34 \cdot 10^{-4} \cdot$ (les précipitations étant décalées de trois mois) + $7,7 \cdot 10^{-4} \cdot$ (les précipitations étant décalées de quatre mois).

Cette équation autorégressive comportant le décalage temporel des effets de ces deux variables a expliqué 80 % de la variance de l'incidence mensuelle du paludisme. Depuis cette étude, d'autres auteurs ont indiqué que des modifications de l'utilisation des sols dans cette zone peuvent avoir eu un effet non négligeable sur la transmission du paludisme (Mouchet *et al.*, 1998).

On a procédé à l'analyse rétrospective de la mortalité et de la morbidité palustres au Venezuela et de la température de surface du Pacifique oriental tropical par les techniques de la corrélation croisée et de l'analyse de régression en série chronologique (Bouma et Dye, 1997). Les données concernant le paludisme ont d'abord été transformées pour en supprimer la tendance (cas pendant l'année n /cas pendant l'année $n-1$). Des équations de régression distinctes ont été faites pour toutes les années et pour les années El Niño avec des résultats positifs indiquant des modifications du paludisme pendant l'année n et des anomalies de la température de surface de la mer de juillet à septembre de l'année $n-1$. Les auteurs ont conclu que le paludisme avait augmenté de 36,5 % en moyenne après une année El Niño et que les anomalies de la température de surface de la mer peuvent servir à prévoir les épidémies de paludisme dans cette partie de l'Amérique du Sud.

Cependant, comme pour tout modèle ajusté, les résultats ont toutes les chances de mieux prévoir les données qui ont généré le modèle par rapport à des données extérieures au modèle ; il est donc essentiel de tester les résultats d'un modèle par rapport à de nouvelles données pour voir s'il est assez robuste pour pouvoir prévoir les futurs cas de paludisme.

9 CONCLUSION

Il y a toujours conflit, dans l'élaboration de modèles de prévision des épidémies, entre la simplicité commode et la complexité réaliste. Le travail scientifique est en soi un travail de longue haleine et requiert que la collecte et l'analyse des données couvrent des périodes de longue durée, alors que la prise de décisions en matière de santé publique concerne généralement le court terme. Toute approche scientifique doit se soumettre au principe du recours aux modèles les plus simples pour

une première approximation. Il va de soi que les données doivent être collectées et analysées avec le plus grand soin. Non seulement les meilleurs résultats sont le fruit de bonnes méthodes statistiques, mais une attention particulière doit aussi être portée à la fiabilité des données.

En réalité, les modèles doivent être relativement simples et compris, au moins en principe, par les décideurs, sans quoi ils ne seront pas utilisés. Pour y parvenir, la modélisation des épidémies de paludisme destinée à la mise en place d'un système MEWS doit, dès le départ, mobiliser les décideurs de façon à ce que la recherche soit dès le départ orientée vers les questions pratiques. Cela signifie aussi que les utilisateurs finaux sont coresponsables, avec les autres acteurs de la planification des enquêtes opérationnelles et de la mise en œuvre de mesures pratiques concernant les prévisions futures d'épidémies de paludisme, le choix des interventions. etc.



APPENDICE 1.

ORGANISMES ET INSTITUTS DE RECHERCHE INTERNATIONAUX A CONSULTER POUR L'ELABORATION D'UN SYSTEME MEWS

La liste qui suit est loin d'être exhaustive, mais les organismes énumérés peuvent fournir une première information et un premier appui technique permettant de trouver les instituts locaux appropriés.

CHAART	NASA Centre for Health Applications of Aerospace Related Technologies, Moffett Field, California USA http://geo.arc.nasa.gov/sge/health/chaart.html
CTE	Centre for Tropical Ecology, University of Durham, Durham UK http://www.dur.ac.uk/~dbl0www/Staff/Lindsay/slindsay.htm
CEPMMT	Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme, Reading (Royaume-Uni) http://www.ecmwf.int/services/seasonal/forecast/index.jsp
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Système de prévention et de réponse rapide contre les ravageurs et les maladies transfrontières des animaux et des plantes, Rome (Italie) http://www.fao.org/waicent/FaoInfo/Agricult/AGA/AGAH/EMPRES/EMPRES.HTM
ILRI	Institut international pour l'amélioration et la mise en valeur des terres, Université de Wageningen, Wageningen (Pays-Bas) http://www.ilri.nl/
INTREPID	NASA Interactive Research Partnership for Infectious Diseases, Greenbelt, Maryland USA http://eosdata-f.gsfc.nasa.gov/CAMPAIGN_DOCS/IDP/models/warning.html
IRI	Institut international de recherche sur la prévision du climat, Applications Research Group, Palisades, New York (Etats-Unis) http://iri.ldeo.columbia.edu/iri/
MALSAT	Groupe de recherche, Liverpool School of Tropical Medicine, Liverpool (Royaume-Uni) http://www.liv.ac.uk/lstm/malsat.html
ARMA/MARA	Atlas du risque du paludisme en Afrique et HIMAL Highland Malaria Project, Durban (République sud-africaine) http://www.mara.org.za/
NOAA	Office of Global Programs, Silver Spring, Maryland USA http://www.ogp.noaa.gov/programs/index.htm
NRI	Natural Resources Institute, University of Greenwich, Chatham UK http://www.nri.org/ESD/enviro.htm
SAMC	WHO Southern Africa Malaria Control Inter-country Team, Harare, Zimbabwe http://www.safrimal.org/
TALA	Trypanosomiasis and Land Use research Group, University of Oxford, Oxford UK http://users.ox.ac.uk/~zool0120/02%20TALA%20members.html
ADRAO	Association pour le Développement de la Riziculture en Afrique de l'Ouest – Health Consortium, Bouake (Côte d'Ivoire) http://www.cgiar.org/warda/research/health/index.htm
OMM	Organisation météorologique mondiale, institution des Nations Unies spécialisée dans le domaine de la météorologie, Genève (Suisse) http://www.wmo.ch/

APPENDICE 2. ORGANISMES COMPETENTS EN MATIERE DE PREVISION DU CLIMAT REGIONAL/NATIONAL, DE SERVICES METEOROLOGIQUES, ET DE SUIVI DE LA SECHERESSE ET DE LA SECURITE ALIMENTAIRE

(Les centres suivants ont l'appui de l'IRI, du NOAA et du CEPMMT, entre autres.)

Centre régional d'Afrique

Centre africain pour l'application de la météorologie au développement (ACMAD)
Niamey
Niger
www.acmad.ne/

Centres sous-régionaux

Bloc épidémiologique d'Afrique orientale

Kenya Drought Monitoring Centre
P.O. Box 30259
Nairobi
Tel: 254 2 567864
Fax: 254 2 567888/9
Telex: 22208
dmcnr@lion.meteo.go.ke
<http://www.meteo.go.ke/dmc/>

Drought Preparedness Intervention and Recovery Programme
Buttsons Building
P.O. Box 954
Nanyuki
Kenya
Tel: 0176 31641/2
Fax: 0176 31640
DRIRP@Ken.healthnet.org

GHARCOF (Forum régional sur l'évolution probable du climat dans la Corne de l'Afrique)

Ont contribué à cette entreprise commune sur les prévisions régionales, des représentants des services météorologiques de huit pays (Institut géographique du Burundi ; Météorologie nationale de Djibouti ; National Meteorological Services Agency of Ethiopia ; Kenya Meteorological Department ; Rwanda Meteorological Service ; Sudan Meteorological Authority ; Tanzania Meteorological Agency ; Uganda Meteorological Department) ainsi que des climatologues et autres experts appartenant à des institutions et organisations nationales, régionales et internationales (Centre de suivi de la sécheresse, Nairobi ; Centre de suivi de la sécheresse, Harare ; Centre international de recherche sur la prévision du Climat ; Organisation météorologique mondiale ; Programme des Nations Unies pour l'environnement). Le Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme, les Centres de prévision environnementale, l'Université d'Etat de Caroline du Nord et l'Office météorologique du Royaume-Uni ont également apporté leur contribution.

Bloc épidémiologique d'Afrique occidentale

Voir ACMAD ci-dessus et aussi :

Centre régional AGRHYMET
BP 11 011
Niamey
Niger
<http://www.agrhymet.ne>



PRESAO (les prévisions saisonnières de l'Afrique de l'ouest)

Les participants à ce forum régional sont notamment des représentants des services météorologiques de 12 pays (Bénin ; Burkina Faso ; Côte d'Ivoire, Ghana ; Guinée-Bissau ; Guinée-Conakry ; Mali ; Niger ; Nigéria ; Sénégal ; Tchad ; Togo), des climatologues ainsi que d'autres experts d'instituts nationaux, régionaux et internationaux (Centre africain pour l'application de la météorologie au développement ; Services d'information et de prévision climatologiques, Organisation météorologique mondiale ; Cooperative Institute for Mesoscale Meteorological Studies, Université d'Oklahoma ; Institut international de recherche sur la prévision du climat ; Laboratoire météorologique dynamique ; Météo France ; Université d'Etat de la Caroline du Nord ; National Centers for Environmental Prediction, Administration nationale de l'océan et de l'atmosphère ; ORSTOM, Brest ; United Kingdom Meteorological Office ; Université du Zululand). Le Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme a aussi apporté sa contribution.

Bloc épidémiologique d'Afrique australe

SSADC DMC-Harare
Box BE 150
Belvedere
Harare
Zimbabwe
Tel: 263 4 774890
Fax: 263 4 774890
Telex: 40004 ZW
<http://www.weather.utande.co.zw>
dmc@weather.utande.co.zw

SADC RRSU
Merchant House
43 Robson Manyika Ave
P.O. Box 4046
Harare
Zimbabwe
Tel: 263-4-736051/2 or 796847/8
Fax: 263-4-795345
<http://www.zimbabwe.net/sadc-fanr/rrsu/rrsu.htm>
rrsu@fanr-sadc.co.zw

SARCOF (Forum régional sur l'évolution probable du climat)

Ont contribué à ce forum des scientifiques représentant les services nationaux de 13 pays de la SADC : Afrique du Sud, Angola, Botswana, Lesotho, Malawi, Maurice, Mozambique, Namibie, République du Congo, Swaziland, Tanzanie, Zambie et Zimbabwe. Des contributions ont aussi été apportées par des climatologues et d'autres experts appartenant à des instituts nationaux, régionaux et internationaux, à savoir le Centre africain de l'application de la météorologie au développement, le Centre de suivi de la sécheresse d'Harare, le Centre de suivi de la sécheresse de Nairobi, l'Institut international de recherche sur la prévision du climat et l'Université du Zimbabwe. L'Office météorologique du Royaume-Uni a aussi apporté sa contribution.

ADDS

Données satellites (NDVI + RFE) fournies tous les 10 jours sur Internet à l'adresse suivante :

<http://edcintl.cr.usgs.gov/adds/adds.html>

Coordonnées des services météorologiques nationaux et centres de suivi de la sécheresse

Services météorologiques nationaux

Pays	Téléphone	Fax	Adresse électronique	Page d'accueil
Afrique du Sud	(+27)-12-290-2911	309-3020	daan@cirrus.sawb.gov.za	http://www.sawb.gov.za/www/
Angola	(+244)-2-33611A	n.d.	inament@netangola.com	non disponible
Botswana	(+267)-356281	356282	bots.met@info.bw non	non disponible
Lesotho	(+266)-324425	350325	bulane@lesoff.co.za	non disponible
Malawi	(+265)-694355	760542	malawimet@malawi.net	non disponible
Ile Maurice	(+230)-686-1031	686-1033	meteo@intnet.mu	non disponible
Mozambique	(+258)-1-491064	491150	mozmet@mozmet.uem.mz	non disponible
Namibie	(+264)-61-208-2197	208-2179	weather@iafrica.com.na	non disponible
Swaziland	(+268)-46274	n.d.	weather@realnet.co.sz	http://www.realnet.co.sz/real/weather/weather.html
Tanzanie	(+255)-51-32643	32591	met@costech.gn.apc.org	non disponible
Zambie	(+260)-1-253656	252728	zmd@zamnet.zm	http://www.zamnet.zm/zamnet/zmd.htm
Zimbabwe	(+263)-4-774890	774890	zimmeteo@harare.iafrica.com	http://weather.utande.co.zw/index2.htm
DMC Harare	(+263)-4-774890	774890	dmc@weather.utande.co.zw	http://weather.utande.co.zw/index2.htm
DMC Nairobi	(254)-2-567880	n.d.	dmcnrb@lion.meteo.go.ke	http://lion.meteo.go.ke/dmc/index.html
ACMAD Niamey	n.d.	n.d.	n.d.	http://www.acmad.ne/uk/climat/wclim.htm



APPENDICE 3. SYSTEMES NATIONAUX D'INFORMATION EVENTUELLEMENT OPERATIONNELS LOCALEMENT

Systèmes d'information agricole.

Souvent placés sous la direction du ministère de l'agriculture ou du Bureau national des statistiques, ces systèmes d'information donnent des renseignements sur divers domaines dont : profils et performances de la production agricole, commerce agricole, intrants agricoles, systèmes d'exploitation agricole et niveaux des revenus ruraux.

Systèmes d'information sur les sols, l'eau et le climat.

Ces systèmes donnent une information géoréférencée sur la topographie, la forme du relief, les caractéristiques des sols, le climat, les zones agro-écologiques, l'eau disponible et son utilisation, l'utilisation des sols et la couverture végétale, les terres arables, les potentialités et la productivité des sols, le régime foncier, l'irrigation, les droits sur l'eau et l'infrastructure liée à l'eau. Organisée en base de données de systèmes d'information géographique (SIG), cette information est utile à l'étude de plusieurs des principaux déterminants de la transmission du paludisme.

Systèmes d'alerte rapide aux risques de famine (ou systèmes de suivi de la sécheresse).

Les divers systèmes d'alerte précoce basés sur des indicateurs de production agricole pendant la saison des récoltes pour assurer en temps utile une production vivrière sur place et les projections concernant la demande, peuvent avoir un champ d'application très variable. Dans certains pays, ils ne s'occupent que des besoins en information concernant les disponibilités en aliments de base, alors que dans d'autres, ils portent sur un ensemble de variables plus larges, notamment l'accès à l'alimentation. Ils peuvent fournir des renseignements sur le suivi de la production agricole pendant la saison des récoltes, des prévisions sur la production agricole ou des estimations du niveau des stocks, ainsi que des informations sur les prix du marché, les besoins alimentaires, les importations et exportations d'aliments de base et les revenus des ménages.

Systèmes d'information sur la sécurité alimentaire et la nutrition des ménages.

Ces systèmes sont centrés sur la collecte et l'analyse de données au niveau infranational – le district, la communauté et les ménages en général. Les données peuvent porter sur la production vivrière et le niveau des stocks, le prix des produits alimentaires, les moyens de subsistance et les indicateurs de la santé et de la nutrition. Les systèmes d'information sur la sécurité alimentaire et la nutrition des ménages exigent de vastes réseaux de collecte de données primaires et secondaires et fonctionnent souvent en étroite collaboration avec d'autres systèmes nationaux et infranationaux d'information.

Systèmes d'évaluation de la vulnérabilité et de cartographie.

Ces systèmes permettent de décrire et d'analyser les facteurs de risque auxquels sont exposés les groupes vulnérables de la population. En général, ils utilisent largement les systèmes d'information géographique pour analyser et présenter de façon simple les ensembles de renseignements et des liens souvent complexes.

Systèmes d'information sanitaire.

Ils existent dans la plupart des pays et servent à informer régulièrement les ministères de la santé. Cependant, l'information sanitaire n'est pas recueillie par les seuls services de santé. Par exemple, dans beaucoup de cas, des enquêtes nationales sur la nutrition peuvent être faites régulièrement par un service spécialisé, intégré soit au ministère de la santé, soit, dans certains pays, au ministère de l'agriculture ou à un système d'alerte rapide aux risques de famine.

APPENDIX 4. LISTE DES ACRONYMES UTILISES

ACMAD	Centre africain pour l'application de la météorologie au développement, Niamey (Niger)
ADDAPIX	A Zoning and Classification Software Package produced by FAO
ADDS	Africa Data Dissemination Service
ARIMA	Autorégressif à moyenne mobile intégrée (ARMMI)
ARMA	Atals du risque de malaria
AVHRR	Radiomètre à très haute résolution sur les satellites de la NOAA
CCD	Persistance des nuages froids
CEPMMT	Centre européen pour les prévisions météorologiques à long terme
CRDI	Centre de Recherches pour le développement international
DFID	UK Department for International Development
ELISA	Titration avec immunoabsorbant lié à une enzyme
EIS	Environmental Information System
ENSO	El Niño Southern Oscillation (phénomène d'oscillation australe « El Niño »)
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
FEWS	Systèmes d'alerte rapide aux risques de famine
FSTAU	Food Security Technical and Administrative Unit
GIEWS	Système mondial d'information et d'alerte rapide sur l'alimentation et l'agriculture
GIS	Geographical Information System
GMCS	Global Malaria Control Strategy
HIMAL	ARMA Highland Malaria Project
HIS	Health Information System
IGAD	Autorité intergouvernementale pour la lutte contre la sécheresse et pour le développement
IRICP	Institut international de recherche sur la prévision du climat
INTREPID	Système d'alerte rapide aux risques de maladies infectieuses de la NASA
LSHTM	London School of Hygiene and Tropical Medicine (Ecole d'Hygiène et de Médecine tropicale de Londres)
LST	Land Surface Temperature
LSTM	Liverpool School of Tropical Medicine
MALSAT	Les groupes de recherche sur les systèmes d'information environnementale sur le paludisme
METEOSAT	Satellite européen pour la météorologie et l'observation des ressources terrestres
MIM	Multilateral Initiative on Malaria
MKP	DfID Malaria Knowledge Programme (LSTM & LSHTM)
NASA	Administration nationale de l'aéronautique et de l'espace (Etats-Unis)
NDVI	Indice différentiel normalisé de végétation
NOAA	Administration nationale de l'océan et de l'atmosphère (Etats-Unis)



NRI	Natural Resources Centre, Kent, UK
PHC	Primary Health Care
PRESAO	Prévisions saisonnières de l’Afrique de l’Ouest
OGP	NOAA’s Office of Global Programs
OMS	Organisation mondiale de la Santé
OMS-AFRO	Bureau régional de l’Afrique
OMS-EMRO	Bureau régional de la Méditerranée orientale
OMM	Organisation météorologique mondiale
RBM	Roll Back Malaria – Faire reculer le paludisme
RFE	Imagerie satellitaire d’estimation des pluies
RRSU	Unité régionale de télédétection de la SADC/FAO, Harare
RS	Remote Sensing
RVF	Rift Valley Fever
SADC	Communauté de développement de l’Afrique australe
SADC-DMC	Centre de suivi de la sécheresse de la Communauté de développement de l’Afrique australe
SAMC	OMS-Lutte contre le paludisme en Afrique australe
SARCOF	Southern Africa Climate Outlook Forum
SST	Température de surface de la mer
TALA	Trypanosomiasis and Land Use in Africa (Groupe de recherche)
TDR	Programme spécial PNUD/Banque mondiale/OMS de Recherche et de Formation concernant les Maladies tropicales
TIR	Thermal Infra Red
TSN	Technical Support Network
UKMO	UK Meteorological Office
UNDP	United Nations Development Programme
WINDISP	Windows Image Display and Analysis Software

APPENDICE 5. GLOSSAIRE DES TERMES EPIDEMIOLOGIQUES, METEOROLOGIQUES ET ECONOMIQUES

Aléatoire	qui dépend du hasard.
Analyse de la variance	technique statistique qui consiste à isoler et évaluer la contribution de variables catégoriques indépendantes à la variation de la moyenne d'une variable dépendante continue..
Analyse de régression	technique statistique d'examen de la relation entre deux variables (voir aussi régression linéaire).
Analyse décisionnelle	application d'une théorie de probabilité visant à calculer la stratégie optimale à partir d'une série de choix entre plusieurs décisions, souvent représentée graphiquement sous la forme d'un arbre de décision. L'analyse décisionnelle est un outil qui permet aux décideurs de choisir parmi plusieurs options celle qui représente le choix optimal pour traiter ou combattre une maladie.
Analyse discriminante	technique statistique comparable à l'analyse de régression, mais dans laquelle la variable dépendante peut être dichotomique. C'est aussi une méthode statistique qui sert à faire entrer un individu dans un ou plusieurs groupes distincts.
Analyse multivariée	ensemble de techniques utilisées lorsqu'il faut étudier simultanément la variation de plusieurs variables. En statistique, toute méthode d'analyse permettant l'étude simultanée de deux variables dépendantes, ou davantage.
Apparition	indique la présence d'une maladie sans précision quant à la fréquence. C'est dans ce sens que le mot est utilisé dans les déclarations internationales de maladie.
Association	degré de dépendance statistique entre deux ou plus de deux phénomènes ou variables. Les phénomènes sont dits associés lorsqu'ils se produisent plus fréquemment ensemble que ce que le hasard ne laisserait escompter. Association n'implique par nécessairement relation causale. La vérification de la signification statistique permet de déterminer jusqu'à quel point il serait improbable que l'on puisse observer cette relation dans l'échantillon par hasard alors que, en fait, elle n'existe pas dans la population échantillonnée.
Base de données	ensemble de données, stockées dans un système informatique, concernant un sujet spécifique, comme une maladie.
Capacité vectorielle	le taux quotidien de futures inoculations qui peuvent découler d'un cas infecté au moment considéré. Représente parfois la mesure de la « réceptivité » d'un environnement ou d'une zone à la transmission du paludisme. Elle s'exprime comme suit : $V = ma^2Pn / -\ln P$ (où « ma » représente le nombre de piqûres reçues par personne pendant une période de temps déterminée, « P » la capacité de survie quotidienne, et « n » la durée du cycle sporogonique).
Cause nécessaire	variable qui doit toujours précéder un effet. Il n'est pas nécessaire que cet effet soit l'unique résultat d'une variable.
Climat	valeurs et fréquences moyennes et extrêmes d'éléments du temps, comme la température de l'air, l'humidité relative, le rayonnement solaire et la vitesse du vent.
Coefficient de corrélation	mesure d'une association indiquant le degré de relation linéaire suivi par deux séries d'observations ou davantage. Ce coefficient, représenté par la lettre « r », peut varier entre +1 et -1. Si « r » équivaut à +1, il existe une



	relation linéaire parfaite dans laquelle l'une des variables varie directement avec l'autre. Si « r » = -1, il y a, là encore, une association linéaire parfaite, mais l'une des variables varie en direction inverse de l'autre.
Communauté	groupe social ayant des caractéristiques, une identité ou des intérêts communs – considéré aux fins du présent document, comme partageant un espace géographique (même village, ville, district, etc.).
Courbe épidémique	histogramme dans lequel l'axe des X représente le moment de l'apparition des cas de maladie et l'axe des Y le nombre de cas. C'est un outil précieux pour déterminer l'épidémiologie de l'apparition d'une maladie dans le cadre de l'analyse d'une flambée.
Cycle sporogonique	période de développement de <i>Plasmodium spp.</i> à l'intérieur du moustique vecteur.
Déficit de saturation	pression exercée par la vapeur d'eau qui pourrait exister dans l'air saturé (pression de vapeur saturante) moins la pression effective de la vapeur (pression effective exercée par la vapeur d'eau existante).
Dénominateur	partie inférieure d'une fraction dans le calcul d'un taux ou d'un rapport (par exemple, la population à risque) (voir aussi numérateur).
Déterminant	tout facteur, caractéristique ou phénomène qui, lorsqu'il est modifié, peut amener un changement dans l'état de santé ou dans d'autres caractéristiques déterminées. Par exemple, toute variable ou tout facteur associé à une maladie qui, s'ils sont supprimés ou modifiés, aboutissent à une modification de l'incidence de la maladie dans une population, sont des déterminants de cette maladie.
Distribution normale	distribution continue symétrique de fréquence dont les deux extrémités tendent vers l'infini; la moyenne arithmétique, le mode et la médiane sont identiques. Sur un graphique, c'est une courbe en cloche dont l'amplitude et la forme sont intégralement déterminées par la moyenne et la variance.
Distribution spatiale	relation entre les cas de maladie et le lieu où se trouve un sujet ou un groupe de sujets.
Distribution temporelle	relation entre cas et temps.
Données	relevés/faits de toute sorte.
Données catégoriques	données qualitatives qui peuvent concerner des groupes spécifiques. Elles peuvent être nominales (c'est-à-dire dénommées, par exemple, type de sol) ou ordinales (c'est-à-dire ordonnées, par exemple, risque élevé, moyen ou faible), ou encore dichotomiques (par exemple, présence/absence).
Données continues	données quantitatives ayant un nombre potentiellement infini de valeurs dans un continuum
Données nominales	type de données dans lesquelles il existe des catégories comportant peu d'options mais aucune hiérarchie, comme sexe ou couleur des yeux.
Données ordinales	type de données dans lesquelles il existe des catégories comportant peu d'options exprimées, du degré le plus bas au degré le plus élevé (comme la gravité de la maladie).
Données qualitatives	données qui rendent compte de caractéristiques spécifiques comme groupe ethnique ou sexe (voir données nominales).
Ecart type	mesure de dispersion ou de variation égale à la racine carrée positive de la variance. La moyenne est le lieu où les valeurs concernant un groupe sont concentrées. L'écart type indique à quelle distance les valeurs sont dispersées autour de la moyenne dans la population.

Echantillon aléatoire	échantillon d'une population assemblé de façon que chaque membre de la population ait une chance égale et non nulle d'être choisi.
Echantillon stratifié	suppose que l'on divise la population en sous-groupes distincts en fonction d'une caractéristique importante, par exemple taille du village/quartier, et que l'on sélectionne un échantillon aléatoire dans chaque sous-groupe.
Echantillon systématique	procédure de sélection selon quelques règles systématiques simples, par exemple, retenir un patient sur cinq parmi ceux qui entrent dans un établissement de santé. Un échantillon systématique peut conduire à des erreurs qui invalident les généralisations.
Echantillonnage	tentative de choix d'un certain nombre de sujets représentatifs de l'ensemble des sujets d'un groupe particulier. Les conclusions fondées sur les résultats d'un échantillon ne peuvent s'appliquer qu'à la population échantillonnée (voir aussi échantillon aléatoire).
El Niño	apparition périodique d'une température chaude de surface de la mer dans l'Océan Pacifique central et oriental au large de la côte du Pérou. Phénomène associé à une probabilité accrue de sécheresse dans certaines régions du monde et de pluies excédentaires dans d'autres. El Niño représente la phase chaude du phénomène ENSO (El Niño-Oscillation australe) (voir aussi la Niña).
Endémicité, paludisme	mesure du niveau de prévalence du paludisme dans une zone. (Bruce-Chwatt, 1991). Souvent définie comme suit :
Holo-endémique :	indice plasmodique constamment supérieur à 75 % chez les 2-9 ans, faible chez les adultes
Hyperendémique :	indice plasmodique constamment supérieur à 50 % chez les 2-9 ans
Mésoendémique :	indice plasmodique entre 11 % et 50 % chez les 2-9 ans
Hypoendémique :	indice plasmodique inférieur ou égal à 10 % chez les 2-9 ans
Enquête Delphi	technique d'animation de groupe (largement utilisée dans le domaine des sciences de la santé et des sciences sociales), qui repose sur un processus itératif destiné à amener ce groupe à un consensus à partir d'opinions individuelles.
Enquête	recherche pour laquelle l'information est collectée systématiquement.
Epidémie	apparition dans une population ou une région d'un nombre de cas de maladie clairement supérieur à la normale attendue. S'agissant du paludisme : élévation brutale, périodique ou occasionnelle, de l'incidence du paludisme dans une population où la maladie était inconnue. Peut aussi signifier une élévation inhabituelle, saisonnière ou autre, du nombre de cas cliniques de paludisme dans une zone d'endémie faible ou modérée (calculée d'après des seuils épidémiques tirés de données historiques). Les groupes d'âge sont pratiquement tous touchés dans la même mesure.
Epidémiologie	étude de la distribution et des déterminants d'états et de phénomènes liés à la santé, dans une population,.
Erreur de type I	erreur qui se produit lorsqu'on utilise des données provenant d'un échantillon et qui démontre une association statistiquement significative alors qu'une telle association n'existe pas dans la population. Est égale au niveau de signification (alpha). Une erreur de type II est une erreur qui se produit lorsqu'une association statistiquement significative n'est pas démontrée, alors qu'elle existe dans la population.



Erreur d'échantillonnage	lorsqu'un échantillon est pris sur une population de grande taille, la moyenne ou toute autre statistique calculée à partir de cet échantillon aura une valeur différente de la valeur réelle, c'est-à-dire de ce qu'elle aurait été si toute la population avait été mesurée. La différence entre la valeur correspondant à l'intégralité de la population et son estimation calculée à partir de l'échantillon est appelée erreur d'échantillonnage.
Erreur systématique	erreur due à des facteurs autres que le hasard, comme des instruments de mesure défectueux.
Erreur type	mesure de variabilité d'une variable statistique visant à établir une relation spécifique entre une moyenne observée et la moyenne existant véritablement dans la population. Valeur calculée à partir d'un échantillon et résumant les observations, destinée généralement à estimer un paramètre de la population.
Estimation des pluies (RFE)	estimation des pluies, tirée de données satellites associées à des données de stations au sol et à des résultats de modèles.
Etude de la prévalence	voir étude transversale.
Etude rétrospective	étude fondée sur des données historiques. Une étude cas-témoin est rétrospective car elle part des effets connus pour déterminer les causes.
Etude transversale	étude faite sur un échantillon représentatif de la population pour examiner la relation entre une maladie ou un autre point lié à la santé et d'autres variables pertinentes, telles qu'elles existent dans une population définie à un moment déterminé.
Evapotranspiration potentielle (ETP)	mesure de substitution pour le bilan d'humidité du sol. Quantité d'évapotranspiration qui pourrait se produire si la quantité d'eau du sol était illimitée. Calculée sur la base de conditions météorologiques telles que le vent et la température, et de facteurs biologiques comme le couvert végétal.
Evapotranspiration	taux de perte réelle d'eau du sol due à la fois à l'évaporation et à la transpiration des plantes dans une zone donnée, en un temps donné.
Exactitude	indique à quel point une mesure ou une estimation fondée sur des mesures, représente la valeur vraie de l'attribut mesuré (voir aussi Précision et Validité, qui sont deux composantes de l'exactitude).
Facteur de confusion	un facteur (ou une variable) de confusion est distribué de façon non aléatoire par rapport à la variable indépendante (exposition) et est associé à la variable dépendante (résultat) à l'étude. L'association avec la variable dépendante est généralement établie à partir des résultats d'études précédentes.
Facteur de risque	attribut ou exposition, qui accroît la probabilité que le risque se concrétise.
Facteur	fait ou caractéristique amenant une modification dans l'état de santé. Implique souvent un rôle causal.
Famine	insécurité alimentaire prolongée et étendue à un point tel que les mécanismes normaux de production vivrière et de lutte sont impuissants.
Faux négatif	résultat négatif d'un test individuel alors que la maladie ou l'affection est présente.
Faux positif	résultat positif d'un test individuel alors que la maladie ou l'affection n'est pas présente.
Fiabilité	(pour un système de prévision probabiliste). « Si ce système prévoit des précipitations à 30 % au-dessus de la normale, à 10 % normales, et à 60 % inférieures à la normale en 100 années, les précipitations devraient être supérieures à la normale pendant 30 ans, normales pendant 10 ans, et

	inférieures à la normale pendant 60 ans pour que l'on estime que le système est parfaitement fiable ».
Flambée	apparition d'une maladie dans une population, à un niveau plus élevé qu'on ne l'attendrait normalement là où l'épidémie est limitée quant à la population et à la zone géographique touchées.
Fréquence	nombre de fois qu'un fait se produit dans une population déterminée en un temps déterminé.
Géoréférence	enregistrement de la localisation de données dans un système cartographique connu de coordonnées (par exemple, latitude et longitude) ou de projection.
Gradient vertical	variation de la température de l'atmosphère en fonction de l'altitude. Sa valeur moyenne est de 6,5°C pour 1000 m.
Grille	matrice uniforme de valeurs discrètes – utilisée dans certains SIG (de quadrillage géographique) pour représenter des surfaces de données continues comme la température moyenne ou l'estimation des pluies ou encore diverses caractéristiques associées à des entités cartographiées. Certains SIG utilisent le terme « canevas » de préférence à « grille ».
Groupe de population	groupe déterminé dont chaque membre a la possibilité d'interagir avec un autre, et qui peut se distinguer d'autres groupes.
Humidité absolue	quantité de vapeur d'eau exprimée en grammes par mètre cube d'air
Humidité relative	l'humidité relative (%) est la quantité de vapeur d'eau contenue dans un échantillon d'air, divisée par la quantité que l'échantillon pourrait contenir s'il était saturé, multipliée par 100.
Humidité spécifique	quantité de vapeur d'eau exprimée en grammes par kilogramme d'air.
Hypothèse nulle	hypothèse selon laquelle il n'y a pas d'association entre deux variables ou il n'y a pas de différence entre les distributions de deux populations ou davantage.
Hypothèse	proposition qui peut être mise à l'épreuve des faits, qui est connue, ou qui peut être obtenue. Assertion qu'une association entre deux variables, ou davantage, ou qu'une différence entre deux groupes, ou davantage, existe dans la population à étudier.
Immunité collective	résistance d'un groupe de sujets à l'invasion et à la propagation d'un agent infectant, caractérisée par le fait qu'une forte proportion des membres du groupe (mais pas tous) résistent à l'infection.
Immunité	résistance d'un individu à une infection ou à une maladie due à un agent particulier. L'immunité peut être innée (naturelle), passive (par exemple, maternelle ou résultant de l'administration d'un immunosérum), ou active (acquise par l'exposition ou la vaccination).
Incidence	nombre de nouveaux cas de maladie ou autre affection qui se déclarent dans une population déterminée pendant une période donnée.
Indicateur de risque	facteur de risque qui peut être suivi régulièrement aux fins d'un système de pré-alerte.
Indicateurs de substitution	estimations concernant des variables environnementales tirées de données satellites.
Indice différentiel normalisé de végétation (NDVI)	indice de substitution couramment utilisé pour rendre compte de l'état de la végétation. L'indice NDVI est obtenu en manipulant les données de



	deux gammes d'ondes présentées sous forme de rapport [NDVI = (proche infrarouge –rouge)/(proche infrarouge + rouge)]. On a souvent recours à cet indice dans le suivi régulier du développement de la végétation saisonnière en fonction de la distribution régionale des pluies.
Indice oocystique	proportion d'anophèles vecteurs capturés au cours d'une période de temps déterminée et porteurs d'oocystes dans l'abdomen.
Indice plasmodique	proportion de sujets appartenant à un groupe d'âge déterminé et présentant une parasitémie décelable ("taux de parasites" souvent utilisé à tort, "taux" suggérant une mesure par unité de temps).
Indice sporozoïtaire	proportion de moustiques vecteurs capturés pendant une période de temps déterminée et porteurs de sporozoïtes dans leurs glandes salivaires.
Inférence	opération qui consiste à passer de l'observation à la généralisation.
Interpolation	détermination de valeurs intermédiaires dans un réseau, une série ou une gamme de valeurs connues.
La Niña	phase froide de l'oscillation australe El Niño. Comme son « frère » El Niño, la Niña est associée à la variabilité périodique de processus climatiques régionaux (voir El Niño)
Limites de confiance	intervalle dont les extrémités peuvent être calculées à partir de données d'observation et qui a une probabilité spécifiée de contenir les paramètres étudiés.
Maladie endémique	maladie ou agent infectieux présents en permanence ou à certaines saisons dans une zone géographique ou un groupe de population donnés. Suppose aussi une prévalence habituelle dans la zone ou la population. S'agissant du paludisme, l'incidence tant des cas de la maladie que de sa transmission naturelle dans une zone déterminée pendant un certain nombre d'années est une constante mesurable. Il est admis que s'il n'y a pas transmission de la maladie pendant au moins trois ans, on peut présumer qu'elle n'est plus endémique dans la zone, même si les vecteurs subsistent.
Médiane	valeur centrale d'un ensemble d'observations organisées par ordre de grandeur.
Microclimat	valeurs et fréquences moyennes d'éléments du temps, y compris ses extrêmes (comme la température de l'air, l'humidité relative, le rayonnement solaire et la vitesse du vent) dans une petite zone géographique.
Mode	valeur apparaissant le plus fréquemment dans un ensemble d'observations. Un ensemble d'observations donné peut avoir plus d'un mode.
Modèle conceptuel	représentation d'un système ou d'un processus, généralement sous forme de diagramme, montrant d'importantes relations entre ses différents éléments (voir aussi modèle mathématique).
Modèle déterministe	modèle mathématique dans lequel toutes les relations sont fixées et le concept de probabilité n'a aucune place, de sorte qu'une entrée donnée produit une prévision exacte comme résultat (voir modèle stochastique).
Modèle mathématique	représentation d'un système ou d'un processus sous une forme mathématique dans laquelle les équations servent à simuler le comportement du système ou du processus à l'étude (voir aussi modèle conceptuel).
Modèle stochastique	modèle mathématique fondé sur les propriétés de la probabilité de telle sorte qu'une entrée donnée produise une gamme de sorties possibles gouvernées par le seul hasard (voir modèle déterministe).
Modèle	représentation ou simulation d'une situation ou d'un processus réels.

Moyenne arithmétique	mesure de la tendance centrale calculée en additionnant toutes les valeurs individuelles et en divisant leur somme par leur nombre.
Moyenne géométrique	mesure de la tendance centrale, calculable uniquement pour les valeurs positives, qui consiste à transformer par ordinateur les valeurs en données logarithmiques, à calculer leur moyenne arithmétique, puis à les reconverter en unités originales par les antilogarithmes.
Multigestes	femmes enceintes pour la deuxième fois ou davantage
Niveau de signification	également appelé taux d'erreur de type alpha ou de type I. Probabilité d'annoncer une différence alors qu'il n'y en a pas.
Normale	se situe à l'intérieur de la gamme habituelle de variations dans une population ou un groupe de population donné ; ou se produit fréquemment dans une population ou un groupe donné.
Normales climatologiques	moyennes climatologiques à longue échéance, généralement mensuelles, calculées sur une période standard de 30 ans.
Numérateur	partie supérieure d'une fraction servant à calculer un taux ou un rapport.
Observations aberrantes	observations si différentes du reste des données que l'on en vient à suspecter qu'une erreur grossière dans le relevé a probablement été commise ou que ces valeurs proviennent d'une population différente.
Odds ratio	rapport entre deux probabilités. Dans une étude cas-témoin, rapport des probabilités d'exposition parmi les cas, aux probabilités d'exposition parmi les non-cas. Dans l'étude d'une cohorte ou dans une étude transversale, rapport des probabilités de maladie chez les sujets exposés, aux probabilités de maladie chez les non-exposés. Le calcul mathématique de l'odds ratio est le même pour tous les types d'étude.
Paludisme instable	voir paludisme stable.
Paludisme stable	niveau élevé de transmission sans fluctuation d'intensité prononcée d'une année à l'autre. Paludisme stable et paludisme instable doivent être considérés comme les deux extrêmes d'une échelle d'endémicité (Macdonald 1951). Le paludisme instable est une situation dans laquelle la transmission varie d'année en année. Metselaar et van Thiel (1959) pensent que les degrés hypoendémique et mésoendémique du paludisme « peuvent être considérés comme instables, et qu'il peut aussi survenir des variations dans le paludisme hyperendémique, mais sans épidémie grave. Le paludisme holo-endémique est certainement stable. »
Paramètre	caractéristique descriptive sommaire d'une population (voir statistique – mesure d'une variable faite à partir d'échantillons).
Persistance des nuages froids (CCD)	période de temps pendant laquelle le sommet d'un nuage est à une température inférieure à un seuil particulier mesuré par Météosat – souvent utilisée dans les algorithmes d'estimation des pluies.
Pluies	quantité de pluie mesurée au pluviomètre pendant une période déterminée (par exemple 24 heures pour les pluies d'une journée). Le terme « précipitations » peut être utilisé ; il désigne également la neige, la neige fondue, la grêle, etc.
Porteur de gamétocytes	personne ayant des gamétocytes dans le sang et pouvant donc les transmettre à un vecteur du paludisme.
Pouvoir infectant	capacité d'un agent d'entrer, de survivre et de se multiplier dans un hôte sensible. En épidémiologie, proportion de sujets exposés à un agent qui deviennent infectés.
Précision	qualité de ce qui est défini ou exprimé distinctement. Caractérise la capacité d'un test ou d'un instrument de mesure de donner des résultats



	cohérents lorsque appliqués de façon répétée. Parfois appelée « reproductibilité » (Voir aussi validité). Un bon test se définit à la fois par la précision et la validité, qui sont les deux composantes de l'exactitude.
Pression de la vapeur	pression exercée dans une masse d'air déterminée par les molécules de vapeur d'eau qu'elle contient.
Pression de vapeur saturante	pression partielle exercée par les molécules d'eau dans une masse d'air, si saturée à une température donnée. (Peut se calculer à l'aide de thermomètres à bulbe mouillé ou à bulbe sec)
Prévalence	proportion de cas d'une maladie ou autre affection présents dans une population, sans aucune distinction entre cas anciens et nouveaux. Utilisé sans autre précision, le terme désigne généralement le nombre de cas en tant que proportion de la population à risque à un moment précis (prévalence à un moment donné).
Prévision déterministe	type de prévision qui annonce un résultat spécifique, par exemple précipitations de 20 mm, température de 22°C (mais ne donne aucune indication de fiabilité).
Prévision numérique du temps (PNT)	la première méthode de prévision météorologique. Il s'agit de résoudre un ensemble d'équations basées sur des valeurs initiales observées.
Prévision probabiliste	indique dans quelle mesure il est vraisemblable qu'un phénomène donné se produise. Une prévision de type probabiliste comporte un certain degré de certitude. Ce type de prévision peut être plus fiable qu'une prévision déterministe qui ne donne aucune indication quant à la certitude.
Primigestes	femmes enceintes pour la première fois.
Procédure statistique aléatoire	procédure d'échantillonnage utilisée pour sélectionner des individus dans une population de telle sorte que chacun ait une chance égale d'être sélectionné dans l'échantillon.
Proportion	fraction dans laquelle le numérateur est un sous-ensemble du dénominateur.
Puissance	probabilité de trouver une différence entre deux groupes ou davantage, étant donné qu'une différence existe. Puissance = 1-Bêta = 1-probabilité d'erreur de type II.
Qualité	la qualité de prévision signifie l'exactitude relative d'un ensemble de prévisions par rapport à certains ensembles de prévisions standard ou de référence.
Rapport coûts-avantages	rapport entre la valeur présente nette (généralement monétaire) d'avantages mesurables et les coûts. Sert à déterminer la faisabilité économique ou la probabilité de réussite d'un projet ou programme à exécuter selon un calendrier précis.
Rapport	expression de la relation entre un numérateur et un dénominateur, l'un et l'autre étant des quantités séparées et distinctes, c'est-à-dire que le numérateur n'est pas inclus dans le dénominateur.
Réceptivité, paludisme	le concept de réceptivité qui, associé à la vulnérabilité, sert à mesurer le potentiel paludogène d'une zone donnée, a été mis au point aux fins de la phase d'éradication de la lutte contre le paludisme (OMS, Comité d'experts sur le paludisme : OMS TRS, N 324). Les zones réceptives ont été classées en trois catégories, selon la capacité vectorielle pendant la saison la plus favorable à la transmission du paludisme : a) là où la transmission est possible – faible réceptivité ; b) là où la transmission réapparaît facilement – réceptivité moyenne ; c) là où la transmission risque d'aboutir à une épidémie foudroyante – réceptivité élevée. Dans ce contexte, la vulnérabilité dépend de l'introduction d'anophèles infectés dans une zone et plus encore, de l'arrivée massive d'individus et/ou de groupes infectés dans une zone réceptive. L'échelle de vulnérabilité suivante a été établie : a) faible –

importation de cas peu nombreux/exceptionnels ; b) moyenne – mouvements réguliers (saisonniers) dans les zones sensibles ; c) élevée – existence de mouvements réguliers et importants de populations passant de zones impaludées à des zones sensibles (voir vulnérabilité).

Régression linéaire	méthode statistique employée pour étudier la relation entre variable indépendante et variable dépendante lorsque la variable dépendante est faite de données continues.
Régression multiple	méthode d'analyse permettant de déterminer la relation entre une variable dépendante et deux variables indépendantes, ou davantage.
Risque relatif	rapport de l'incidence de la maladie chez les sujets exposés à un facteur hypothétique à l'incidence chez les sujets qui ne sont pas exposés ; mesure d'association couramment utilisée dans les études de cohorte (voir aussi Odds Ratio).
Risque (= Risk)	probabilité qu'un phénomène se produise dans un délai déterminé (par exemple qu'un individu soit infecté, soit gravement malade ou meure avant l'expiration d'une certaine période ou avant un certain âge).
Risque (= Odds)	rapport de la probabilité qu'un événement se produise à la probabilité qu'il ne se produise pas; ou rapport de la probabilité qu'une chose soit ainsi à la probabilité qu'elle ne le soit pas.
Sécheresse	période prolongée de mauvaise distribution des pluies aboutissant à la détérioration des ressources naturelles.
Sensibilité (synonyme : taux de vrais positifs)	proportion de sujets porteurs de la maladie (ou de l'infection) considérée dont les tests donnent des résultats positifs. C'est une mesure de la probabilité qu'un sujet malade soit correctement reconnu tel par le test.
Seuil épidémique	nombre de cas ou taux d'incidence qui, s'il est atteint au cours d'une période déterminée, aboutit à une déclaration d'épidémie.
Signification statistique	par les méthodes statistiques on peut estimer la probabilité que le degré d'association observé entre variables indépendantes se situe en dehors de l'hypothèse nulle. A partir de cette estimation, il est possible d'exprimer la « signification » statistique d'un résultat. En général, le niveau de signification statistique s'exprime au moyen de la valeur « P » ou valeur de la probabilité.
Site sentinelle	lieu ou établissement qui peut servir au suivi et à l'évaluation systématiques du niveau de stabilité ou des modifications des cas de maladie – généralement sélectionné comme représentant le mieux une population plus importante que celle qui est effectivement échantillonnée.
Spécificité (synonyme : de vrais négatifs)	proportion de sujets qui ne sont pas atteints de la maladie considérée et dont le test donne un résultat négatif. C'est la mesure de la probabilité qu'un sujet qui n'a pas contracté la maladie considérée soit correctement reconnu tel par le test.
Sporadique	maladie apparaissant irrégulièrement et peu fréquemment, en général sans aucune logique sous-jacente apparente.
Statistique	science et art de traiter les variations dans des données que l'on recueille, classe et analyse dans les règles.
Statistiques spatiales	tests d'association tenant compte du lieu, de la distance et de la proximité des observations les unes par rapport et aux autres et de variables supplémentaires présentant un intérêt.
Suivi	observation visant à mesurer l'évolution, par exemple de la distribution des variables météorologiques ou de la prévalence ou l'incidence d'une maladie. Souvent utilisé pour établir le diagramme de la progression d'un programme de lutte contre une maladie, ou pour évaluer son efficacité (voir



	aussi Surveillance).
Surveillance	observation d'une population sensible (non infectée) en vue de détecter précocement les cas d'une maladie particulière et de prendre rapidement les contre-mesures voulues (voir aussi Suivi). La surveillance est souvent de deux types : passive et active. La surveillance passive est le deuxième usage qui est fait de données recueillies systématiquement dans quelque autre but, comme le service de diagnostic. La surveillance active est la collecte courante de données dont l'objectif premier est la surveillance.
Système d'information géographique (SIG)	base de données informatique de stockage, gestion, analyse et visualisation de données géoréférencées en relation spatiale.
Taux	expression de la modification d'une quantité par unité de temps. C'est un rapport dont la caractéristique essentielle est que le temps est un élément du dénominateur, et où il existe une relation distincte entre numérateur et dénominateur (voir aussi rapport et proportion).
Taux d'inoculation entomologique (h)	mesure du niveau de la transmission du paludisme dans une zone. Normalement calculé en multipliant l'indice d'agressivité (nombre moyen de piqûres par personne, par nuit, par population de vecteurs) par l'indice sporozoïtaire (pourcentage d'anophèles femelles porteuses de sporozoïtes dans les glandes salivaires).
Taux de gamétocytes	proportion de sujets appartenant à un groupe d'âge déterminé et porteurs de gamétocytes détectables au cours d'une période de temps donnée.
Taux de létalité	proportion des sujets qui ont contracté une maladie et meurent de cette maladie au cours d'une période de temps déterminée.
Taux par âge	taux qui s'applique à un groupe d'âge spécifique.
Taux spécifique	exprime la fréquence d'une caractéristique par unité de dimension d'une population spécifique.
Téledétection	observation à distance de la surface de la terre et de ses processus physiques, biologiques, hydrologiques et atmosphériques. Signifie généralement que des données sont recueillies par des capteurs embarqués sur des avions ou des satellites.
Température de surface de la mer	température de l'eau à la surface des océans, souvent obtenue à partir de canaux thermiques de satellites en tant qu'indicateur de substitution.
Température maximale	température la plus élevée (maximale) enregistrée pendant une période de temps déterminée (par exemple, période de 24 heures pour la température quotidienne maximale).
Température minimale	température la plus basse (minimale) enregistrée pendant une période de temps déterminée (par exemple, période de 24 heures pour la température minimale de la journée).
Temps (=climat)	variation sur le court terme des conditions atmosphériques : pression, vent, température, hygrométrie, nébulosité, précipitations et visibilité. C'est un phénomène qui varie beaucoup d'un jour à l'autre, et même d'une heure à l'autre.
Tendance séculaire	tendance sur le long terme de l'apparition d'une maladie ou d'une autre affection.
Tendance	mouvement de longue durée dans une série ordonnée (par exemple une série chronologique), caractérisé essentiellement par le fait que s'il peut être irrégulier sur le court terme, ce mouvement suit régulièrement la même direction sur le long terme.

Transmission de l'infection	transport d'un agent infectieux d'un sujet infectant à un sujet sensible au sein d'une population infectée ou d'un sous-groupe de population infecté.
Valeur prédictive	dans les tests de dépistage et les tests diagnostiques, la valeur prédictive d'un test positif est la proportion de sujets dont les résultats ont été positifs et qui ont effectivement la maladie. La valeur prédictive d'un test négatif est la probabilité qu'un sujet dont le résultat a été négatif n'ait pas la maladie. La valeur prédictive d'un test est déterminée par la sensibilité et la spécificité du test et par la prévalence de l'affection au moment où il est employé.
Validité	indique dans quelle mesure une étude ou un essai mesure ce qu'il est prévu de mesurer (voir aussi Précision). Un bon essai se caractérise à la fois par la précision et la validité, qui sont les deux composantes de l'exactitude.
Variable dépendante	variable ou facteur dont la valeur dépend – y compris par hypothèse – de l'effet d'une ou de plusieurs autres variables [causales] dans l'étude (résultat/variable réponse).
Variable indépendante	caractéristique observée ou mesurée dont on pose comme hypothèse qu'elle influe sur un phénomène. Une variable indépendante n'est pas influencée par le phénomène ou la manifestation, mais peut en être la cause ou contribuer à sa modification.
Variance	la variance d'une série d'observations est la somme des carrés de l'écart entre chaque observation et la moyenne arithmétique des observations divisée par le nombre d'observations moins un.
Vecteur	organisme vivant (souvent un arthropode) qui transporte un agent infectieux d'un sujet infecté, ou de ses déchets, à un individu sensible, à ses aliments ou à son environnement immédiat. Les vecteurs peuvent être mécaniques – par contamination externe ou passage de l'agent par le tractus gastro-intestinal – ou biologique – lorsque la propagation (multiplication), le développement cyclique, ou une combinaison des deux est nécessaire avant que le vecteur ne puisse transmettre la forme infectante de l'agent.
Vecteur-SIG	le mot vecteur est couramment utilisé en SIG pour décrire des caractéristiques telles que points, lignes et polygones. Etant donné la confusion que peut provoquer son emploi dans les études sur les maladies à transmission vectorielle, il est peut-être préférable d'employer les termes « arcs » et « arc-based », comme dans le logiciel SIG-Arc/info.
Virulence	degré de gravité de la maladie produite par un agent dans un hôte donné. En épidémiologie, la virulence est la proportion d'individus atteints de la maladie qui en développent une forme grave ou en meurent. Le taux de létalité est une mesure de la virulence.
Vulnérabilité	toute la gamme des facteurs qui font qu'un individu risque l'infection palustre, le paludisme ou la mort par paludisme. Le degré de vulnérabilité d'un individu, d'un foyer ou d'un groupe de personnes est déterminé par leur exposition aux facteurs de risque et leur sensibilité au paludisme ou à la mort par paludisme s'ils sont infectés (voir réceptivité).



References

- Albonico, M., De Giorgi, F., Razanakolona, J., Raveloson, A., Sabatinelli, G., Pietra, V. and Modiano, D. (1999) Control of epidemic malaria on the highlands of Madagascar. *Parassitologia* **41**, 373-6.
- Allan, R., Nam, S. and Doull, L. (1998) MERLIN and malaria epidemic in north-east Kenya. *The Lancet* **351**, 1966-1967.
- Allard, R. (1998) Use of time-series analysis in infectious disease surveillance. *[Application de l'analyse des séries chronologiques à la surveillance des maladies infectieuses]* *Bulletin de l'Organisation mondiale de la Santé*, **76**, 327-333 (résumé en français)..
- Anon (1956) *Atlas of Tanganyika*. Department of Land Surveys: Dar es Salaam.
- Anon (1959) *Atlas of Kenya*. Surveys of Kenya: Nairobi.
- Anon (1995) Operational issues in Malaria Control. WHO/World Bank: Airlie, Virginia, USA.
- Anon (1999) Developing new approaches for the surveillance and control of malaria epidemics in the highlands of East Africa. Highland Malaria Project and Mapping Malaria Risk in Africa: Salt Rock, South Africa.
- Anon (2000a) Detecting meningococcal meningitis epidemics in highly endemic African countries: WHO recommendation. *Weekly Epidemiological Record* **38**, 305-312.
- Anon (2000b) Comité OMS d'experts du paludisme, vingtième rapport, p.84, OMS, Genève.
- Bagayoko, M. M., Connor, S. J., Flasse, S. J., Toure, Y. T. and Thomson, M. C. (1999) Forecasting and real-time management of malaria epidemic in the sahelian band of Africa using satellite data. Liverpool School of Tropical Medicine: Liverpool.
- Baptista, J. L. (1996) The history of malaria in Sa Tome. Considerations on an epidemic. *Acta Medica Portuguesa* **9**, 259-65.
- Beier, J. C., Perkins, P. V., Koros, J. K., Onyango, F. K., Gargan, T. P., Wirtz, R. A., Koech, D. K. and Roberts, C. R. (1990) Malaria sporozoite detection by dissection and ELISA to assess infectivity of afrotropical Anopheles (Diptera: Culicidae). *Journal Of Medical Entomology* **27**, 377-84.
- Bergquist, N. R., Malone, J. B. and Kristensen, T. K. (2000) Schistosomiasis information systems and control of snail-borne diseases. *Parasitology Today* **16**, 363-364.
- Blench, R. (1999) Seasonal climatic forecasting: who can use it and how should it be disseminated? *Natural Resource Perspectives* **47**.
- Bouma, M. J. and Dye, C. (1997) Cycles of malaria associated with El Niño in Venezuela. *Journal of the American Medical Association* **278**, 1772-4.
- Bouma, M. J., Poveda, G., Rojas, W., Chavasse, D., Quiñones, M., Cox, J. and Patz, J. (1997) Predicting high-risk years for malaria in Colombia using parameters of El Niño Southern Oscillation. *Tropical Medicine and International Health* **2**, 1122-7.
- Bouma, M. J. and van der Kaay, H. J. (1994) Epidemic malaria in India and the El Niño southern oscillation [letter] [see comments]. *Lancet* **344**, 1638-9.
- Bouma, M. J. and van der Kaay, H. J. (1996) The El Niño Southern Oscillation and the historic malaria epidemics on the Indian subcontinent and Sri Lanka: an early warning system for future epidemics? *Tropical Medicine and International Health* **1**, 86-96.
- Brabin, B. J., Agbaje, S. O. F., Ahmed, Y. and Briggs, N. D. (1999) A birthweight normogram for Africa as a malaria control indicator. *Annals of Tropical Medicine and Parasitology* **93**, S43-S57.
- Brown, V., Issak, M. A., Rossi, M., Barboza, P. and Paugam, A. (1998) Epidemic of malaria in north-eastern Kenya. *The Lancet* **352**, 1356-1357.
- Bruce-Chwatt, L. J. (1991) *Essential Malariology*. Heinemann Medical Books. Ltd.: London.
- Buchanan-Smith, M. and Davies, S. (1995) *Famine Early Warning and Response: the missing link*. IT Publications: London.
- Burt, P. J. A., Colvin, J. and Smith, S. M. (1995) Remote sensing of rainfall by satellite as an aid to *Odealeus*



- senegalensis (Orthoptera: Acrididae) control in the Sahel. *Bulletin of Entomological Research* **85**, 455-462.
- Carson, D. J. (1998) Seasonal forecasting. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* **124**, 1-26.
- Chabalier, F. d., Hassane, A. and Chippaux, J. P. (2000) Evaluation of surveillance thresholds for prediction of meningitis epidemics using ongoing surveillance data at the district level, in Niger. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine & Hygiene* **94**, 233-352.
- Charlwood, J. D., Smith, T., Billingsley, P. E., Takken, W., K Lyimo, E. O. and Meuwissen, J. H. E. T. (1997) Survival and infection probabilities of anthropophagic anophelines from an area of high prevalence of *Plasmodium falciparum* in humans. *Bulletin of Entomological Research* **87**, 445-453.
- Chippaux, J. P., Soula, G., Campagne, G. et Rey, M. (1998) Optimiser la riposte aux épidémies de méningite à méningococoque : rapport d'un atelier d'experts réunis au CERMES (12 au 14 janvier 1998, Niamey, Niger)- Santé, 8, (3) : 245-248.
- Connor, S., Thomson, M. and Molyneux, D. (1999) Forecasting and prevention of epidemic malaria: new perspectives on an old problem. *Parassitologia* **41**, 439-448.
- Connor, S. J. (1999) Malaria in Africa: the view from space. *Biologist* **46**, 22-25.
- Connor, S. J., Flasse, S., Perryman, A. and Thomson, M. C. (1997) The contribution of satellite derived information to malaria stratification monitoring and early warning. World Health Organization: Geneva.
- Connor, S. J. and Thomson, M. C. (1999) Mapping malaria in Africa. *Postgraduate Doctor* **21**, 46-52.
- Connor, S. J., Thomson, M. C., D'Alessandro, U., Green, C. and Cresswell, M. P. (1998) Developing environmental information systems for improved malaria control planning in Africa. In: *Ninth International Congress of Parasitology (ICOPA IX)*: Makuhari, Chiba, Japan.
- Cox, J., Craig, M., Le Sueur, D. and Sharp, B. (1999) Mapping malaria risk in the highlands of Africa, pp. 96.
- Craig, M. H., Snow, R. W. and le Sueur, D. (1999) A climate-based distribution model of malaria transmission in Africa. *Parasitology Today* **15**, 105-111.
- Cullen, J. R., Chitprarop, U., Doberstyn, E. B. and Sombatwattanangkul, K. (1984) An epidemiological early warning system for malaria control in northern Thailand. *[Un système épidémiologique de pré-alerte pour la lutte antipaludique dans le nord de la Thaïlande]* *Bulletin de l'Organisation mondiale de la Santé* **62** (1) 107-114 (résumé en français).
- Delacollette, C. and Van der Stuyft, P. (1993) High parasitaemia incidence rates can be used to estimate malaria morbidity rates. *Annals of Tropical Medicine & Parasitology* **87**, 537-539.
- Diggle, P. (1990) *Time series: A biostatistical introduction*. Clarendon Press: Oxford.
- El Sayed, B. B., Arnot, D. E., Mukhtar, M. M., Baraka, O. Z., Dafalla, A. A., Elnaiem, D. E. and Nugud, A. H. (2000) A study of the urban malaria transmission problem in Khartoum. *Acta Tropica* **75**, 163-71.
- Faye, O., Gaye, O., Konate, L., Molez, J., Feller-Dansokho, E. and Herve, J. (1998) Prévision et prévention des épidémies de paludisme dans la vallée du fleuve Sénégal. *Santé* **8**, 347-352.
- Flasse, S., Walker, C., Biggs, H., Stephenson, P. and Hutchinson, P. (1998) Using remote sensing to predict outbreaks of *Oestrus ovis* in Namibia. *Preventive Veterinary Medicine* **33**, 31-38.
- Freeman, T. and Bradley, M. (1996) Temperature is predictive of severe malaria years in Zimbabwe. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine & Hygiene* **90**, 232.
- Frisen, M. (1992) Evaluations of Methods for Statistical Surveillance. *Statistics in Medicine* **11**, 1489-1502.
- Garay, J. (1998) Epidemiological survey and situation analysis: Malaria epidemic Nshamba Division, Muleba District (Tanzania), pp. 47pp. MSF Spain.
- Ghebreyesus, T. A., Haile, M., Witten, K. H., Getachew, A., Yohannes, A. M., Yohannes, M., Teklehaimanot, H. D., Lindsay, S. W. and Byass, P. (1999a) Incidence of malaria among children living near dams in northern Ethiopia: community based incidence survey. *British Medical Journal* **319**, 663-6.
- Ghebreyesus, T. A., Witten, K. H., Getachew, A., O'Niell, K. and Bosman, A. (1999b) Community-based malaria control in Tigray, Northern Ethiopia. *Parassitologia* **41**, 367-371.
- Gillies, H. M. (1993) Epidemiology of malaria. In: *Bruce-Chwatt's Essential Malariology*, pp. 124-163. Ed. H. M. G. D.

A. Warrell. Arnold: London.

Grass, D., Jasinski, M., Aparicio, M., Govere, J. and Myers, M. (2000) Evaluating hydroclimatic variables as predictors of malaria infection.

Green, C. A. (1992) Short-term WHO consultancy in entomology to strengthen the National Malaria Control Programme coordination unit of the Ministry of Health and Social Services of Namibia., pp. 26. WHO.

Haines, A., McMichael, A. J. and Epstein, P. R. (2000) Environment and health: 2. Global climate change and health. *Canadian Medical Association Journal* **163**, 729-734.

Hay, S. I. (1997) Remote sensing and disease control: past, present and future. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine & Hygiene* **91**, 105-106.

Hay, S. I. (2000) Earth observation, geographic information systems and *Plasmodium falciparum* malaria in sub-Saharan Africa. In: *Remote Sensing and Geographical Information Systems in Epidemiology Vol. 47*, pp. 174-206. Eds. S. I. Hay, S. Randolph and D. J. Rogers. Academic Press: London.

Hay, S. I. and Lennon, J. J. (1999) Deriving meteorological variables across Africa for the study and control of vector-borne disease: a comparison of remote sensing and spatial interpolation of climate. *Tropical Medicine and International Health* **4**, 58-71.

Hay, S. I., Myers, M. F., Burke, D. S., Vaughn, D. W., Endy, T., Ananda, N., Shanks, G. D., Snow, R. W. and Rogers, D. J. (2000a) Etiology of interepidemic periods of mosquito-borne disease. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **97**, 9335-9339.

Hay, S. I., Rogers, D. J. and Snow, R. W. (2000b) Early warning of malaria epidemics in Kenya. In: *GEOMED'99*: Paris.

Hay, S. I., Rogers, D. J., Toomer, J. F. and Snow, R. W. (2000c) Annual *Plasmodium falciparum* entomological inoculation rates (EIR) across Africa: literature survey, internet access and review. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine & Hygiene* **94**, 113-127.

Hay, S. I., Snow, R. W. and Rogers, D. J. (1998a) From predicting mosquito habitat to malaria seasons using remote sensed data; practice, problems and perspectives. *Parasitology Today* **14**, 306-313.

Hay, S. I., Snow, R. W. and Rogers, D. J. (1998b) Predicting malaria seasons in Kenya using multitemporal meteorological satellite sensor data. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine & Hygiene* **92**, 12-20.

Hielkema, J. U. and Snijders, F. L. (1994) Operational use of environmental satellite remote-sensing and satellite communications technology for global food security and locust control by FAO—the ARTEMIS and DIANA systems. *Acta Astronautica* **32**, 603-616.

Hutchinson, C. F. (1998) Social science and remote sensing in famine early warning. In: *People and Pixels*, pp. 189-196. Eds. D. Liverman, E. F. Moran, R. R. Rindfuss and P. C. Stern. National Academy Press: Washington D.C.

Jaffer, S., Van Hensbroek, M. B., Palmer, A., Schneider, G. and Greenwood, B. (1997) Predictors of a fatal outcome following childhood cerebral malaria. *American Journal of Tropical Medicine & Hygiene* **57**, 20-24.

Julvez, J., Develoux, M., Mounkaila, A. and Mouchet, J. (1992) Diversité du paludisme en zone Sahelo-saharienne; Une revue a propos de la situation au Niger, Afrique de l'Ouest. *Annales de la Société Belge de Médecine Tropicale* **72**, 163-177.

Julvez, J., Mouchet, J., Michault, A., Fouta, A. and Hamidine, M. (1997) The progress of malaria in sahelian eastern Niger. An ecological disaster zone. *Bull Soc Pathol Exot* **90**, 101-4.

Kilian, A., Langi, P., Talisuna, A. and Kabagambe, G. (1999) Rainfall pattern, El Niño and malaria in Uganda. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine & Hygiene* **93**, 22-23.

Kloos, H. (1990) Health aspects of resettlement in Ethiopia. *Social Science And Medicine* **30**, 643-56.

Knight, R. and Nelville, C. (1991) The malaria situation in Kenya, seasonal epidemic and non-endemic ecozones.

Kunene, S. (1998) Use of meteorological information in malaria forecasting and control in Swaziland. In: *Trop Med 98: Clone, Cure and Control*, pp. 121: Liverpool.

Le Sueur, D., Binka, E., Lengeler, C., de Savigny, D., Snow, R., Teuscher, T. and Toure, Y. (1997) The Mapping Malaria Risk in Africa (MARA)/Atlas du Risque de la Malaria en Afrique (ARMA) Initiative. *Africa Health* **19**, 24.

Lepers, J. P., Fontenille, D., Andriamangotiana-Rason, M. D., Deloron, P. and Coulanges, P. (1990) [Ecological factors



in the renewed outbreak of malaria in Madagascar]. *Bulletin de la Société Pathologie exotique*. **83**, 330-41.

Lindblade, K. A., Walker, E. D., Onapa, A. W., Katungu, J. and Wilson, M. L. (1999) Highland malaria in Uganda: prospective analysis of an epidemic associated with El Niño. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine & Hygiene* **93**, 480-487.

Lindblade, K. A., Walker, E. D., Onapa, A. W., Katungu, J. and Wilson, M. L. (2000a) Land use change alters malaria transmission parameters by modifying temperature in a highland area of Uganda. *Tropical Medicine and International Health* **5**, 263-274.

Lindblade, K. A., Walker, E. D. and Wilson, M. L. (2000b) Early warning of malaria epidemics in African highlands using *Anopheles* (Diptera: Culicidae) indoor resting density. *Journal of Medical Entomology* **37**, 664-667.

Lindsay, S. W., Bodker, R., Malima, R., Msangeni, H. A. and Kisinza, W. (2000) Effect of 1997-98 El Niño on highland malaria in Tanzania [letter]. *lancet* **355**, 989-90.

Lindsay, S. W. and Martens, W. J. (1998) Malaria in the African highlands: past, present and future. [*Le paludisme sur les hauts plateaux africains : situation passée, actuelle et future*]. *Bulletin de l'Organisation mondiale de la Santé*, 1998, 76, 33-45 (résumé en français).

Lindsay, S. W., Parson, L. and Thomas, C. J. (1998) Mapping the ranges and relative abundance of the two principal African malaria vectors, *Anopheles gambiae* sensu stricto and *An.arabiensis*, using climate data. *The Royal Society, London. Series B*. **265**, 847-854.

Linthicum, K. J., Bailey, C. L., Tucker, C. J., Mitchell, K. D., Logan, T. M., Davies, F. G., Kamau, C. W., Thande, P. C. and Wagateh, J. N. (1990) Application of polar-orbiting meteorological satellite data to detect flooding of Rift Valley Fever virus vector in mosquito habitats in Kenya. *Medical and Veterinary Entomology* **4**, 433-438.

Loevinsohn, M. E. (1994) Climatic warming and increased malaria incidence in Rwanda. *Lancet* **343**, 714-8.

Malakooti, M. A., Biomndo, K. and Shanks, G. D. (1998) Reemergence of epidemic malaria in the highlands of western Kenya. *Emerging Infectious Diseases* **4**, 671-6.

Malone, J. B., Gommès, R., Hansen, J., Yilma, J. M., Slingenberg, J., Snijders, F., Nachtergaele, F. and Ataman, E. (1998) A geographic information system on the potential distribution and abundance of *Fasciola hepatica* and *F. gigantica* in east Africa based on Food and Agriculture Organization databases. *Veterinary Parasitology* **78**, 87-101.

Marimbu, J., Dnyiragije, A., Lebras, M. and Chaperon, J. (1993) Environnement et paludisme au Burundi. A propos d'une épidémie de paludisme dans une région montagneuse non endémique. *Bulletin de la Société de Pathologie Exotique* 86 (5 Pt2) : 399-401.

Martens, W. J., Niessen, L. W., Rotmans, J., Jetten, T. H. and McMichael, A. J. (1995) Potential impact of global climate change on malaria risk [see comments]. *Environmental Health Perspectives* **103**, 458-64.

Martin, P. H. and Lefebvre, M. G. (1995) Malaria and climate: sensitivity of malaria potential transmission to climate. *Ambio* **24**, 200-207.

McCrae, A. W. R. (1983) Oviposition by African malaria vector mosquitoes. I. Temporal activity patterns of caged, wild-caught, freshwater *Anopheles gambiae* Giles sensu lato. *Annals of Tropical Medicine and Hygiene* **77**, 615-625.

Milford, J. R. and Dugdale, G. (1990) Estimation of rainfall using geostationary satellite data. In: *Applications of remote Sensing in Agriculture, Proceedings of the 48th Easter School on Agricultural Science, University of Nottingham, July, 1988 Vol. 9*, pp. 97-110. Butterworth: London.

Mock, N., Setzer, J., Sliney, I., Hadizatou, G. and Bertrand, W. (1993) Development of information-based planning in Niger. *International Journal of Technological Assessment in Health Care* **9**, 360-368.

Molesworth, A. M., Djingary, M. H. and Thomson, M. C. (2000) Seasonality of meningococcal disease in Niger, West Africa: a preliminary investigation. In: *GEOMED '99: Paris*.

Moore, P. S., Plikaytis, B. D., Oxtoby, M. J., Yada, A., Zoubga, A., Reingold, A. L. and Broome, C. V. (1992) Detection of meningitis epidemics in Africa: a population-based analysis. *International Journal of Epidemiology* **21**, 155-162.

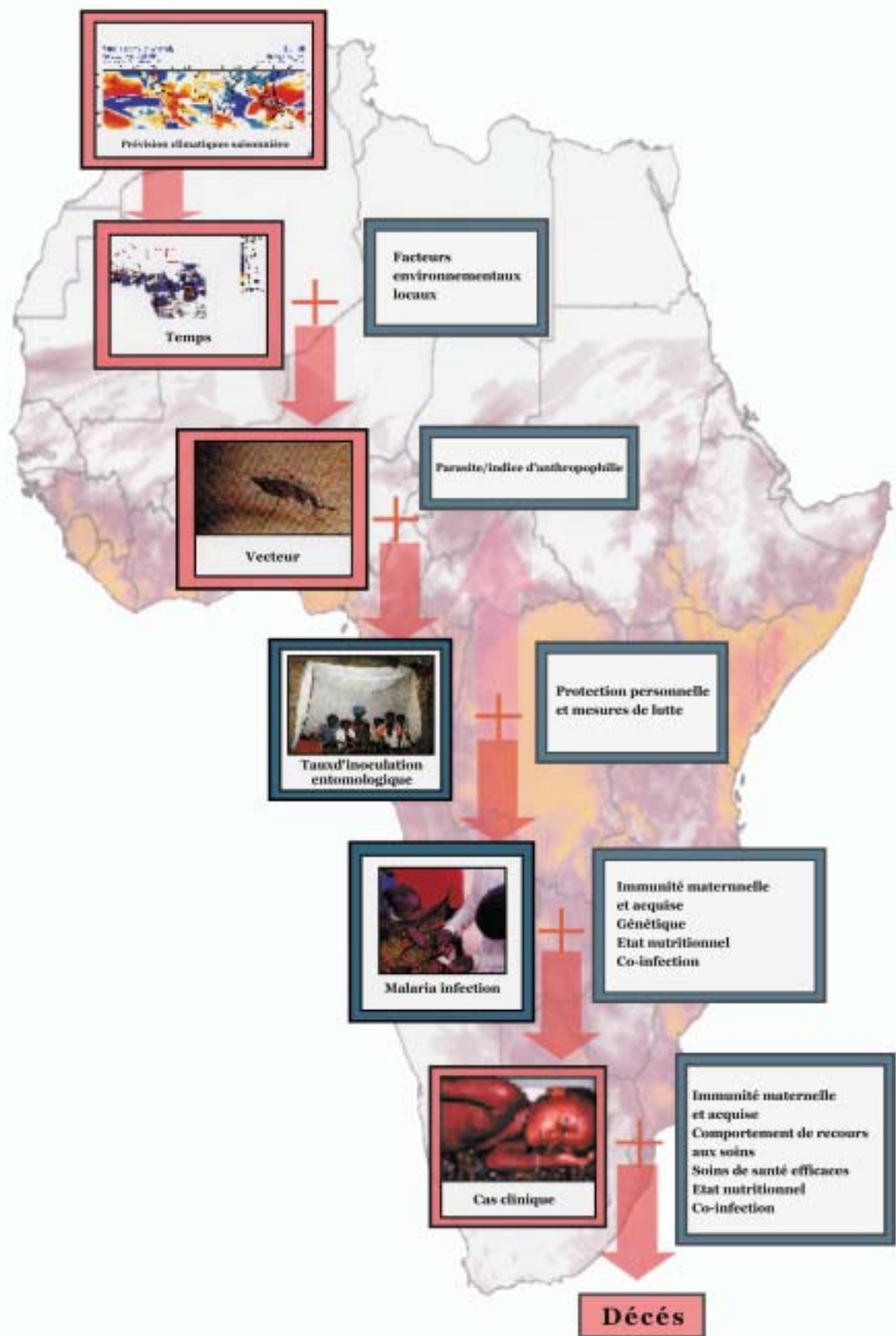
Mouchet, J., Mangiun, S., Sircoulon, J., Laventure, S., Faye, O., Onapa, A., Carnevale, P., Julvez, J., Fonenille, D. (1998) Evolution of malaria in Africa for the past 40 years: impact of climatic and human factors. *Journal of the American Mosquito Control Association* **14**, 121-130.

Mouchet, J., Manguin, S., Sircoulon, J., Laventure, S., Faye, O., Onapa, A. W., Carnevale, P., Julvez, J. and Fontenille, D.

- (1998) Evolution of malaria in Africa for the past 40 years: impact of climatic and human factors. *Journal Of The American Mosquito Control Association* **14**, 121-30.
- Najera, J. A., Kouznetsov, R.L., Delacollette, C. (1998) Malaria epidemics: detection and control, forecasting and prevention. *WHO/MAL/98.1084*.
- Najera, J. A. (1999) Report of a mission to Uganda. WHO.
- Nobre, F. F. and Carvalho, M. S. (1994) Spatial and Temporal Analysis of Epidemiological Data. In: *GIS for Health and the Environment*. Eds. D. de Savingny and P. Wijeyaratne. IDRC: Colombo, Sri Lanka.
- Nuttall, I., O'Neill, K. and Meert, J. P. (1998) [Systems of geographic information and the campaign against tropical diseases]. *Medecine Tropicale* **58**, 221-7.
- OMS (1993) Stratégie mondiale de lutte antipaludique. Genève, Organisation mondiale de la Santé, 1994
- OMS (1998) Faire reculer le paludisme : Partenariat mondial. RBM/Draft/1 Organisation mondiale de la Santé, Genève.
- Onori, E. and Grab, B. (1980) Indicators for the forecasting of malaria epidemics. *[Indicateurs pour la prévision des épidémies du paludisme] Bulletin de l'Organisation mondiale de la Santé, 1980, 58, 91-98 (résumé en français)*.
- Palmer, T. and Anderson, D. (1994) The prospects for seasonal forecasting—a review paper. *The Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* **120**, 755-793.
- Palmer, T. N., Brankovic, C. and Richardson, D. S. (in press) A probability and decision-model analysis of PROVOST seasonal multi-model ensemble integrations. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*.
- Patz, J. A., Strzepek, K., Lele, S., Hedden, M., Greene, S., Noden, B., Hay, S. I., Kalkstein, L. and Beier, B. C. (1998) Predicting key malaria transmission factors, biting and entomological inoculation rates, using modelled soil moisture in Kenya. *Tropical Medicine and International Health* **3**, 818-827.
- Raveloson, A., Razanakolona, J. and De Giorgi, F. (1998) The surveillance system in the central highlands of Madagascar, pp. 5. WHO: Geneva.
- Robinson, T., Rogers, D. and Williams, B. (1997) Mapping tsetse habitat suitability in the common fly belt of Southern Africa using multivariate analysis of climate and remotely sensed vegetation data. *Medical and Veterinary Entomology* **11**, 235-245.
- Rogers, D. J. (1991) Satellite imagery tsetse and trypanosomiasis in Africa. *Preventative Veterinary Medicine* **11**, 201-220.
- Rogers, D. J., Hay, S. I. and Packer, M. J. (1996) Predicting the distribution of tsetse flies in West Africa using temporal Fourier processed meteorological satellite data. *Annals Of Tropical Medicine And Parasitology* **90**, 225-41.
- Rook, J. M. (1997) The SADC Regional Early Warning System: Experience gained and lessons learnt from the 1991-92 Southern Africa Drought. Special Issue from the "Usable Science" Conference, Budapest, Hungary, 25-28th October 1993. *Internet Journal of African Studies*.
- Scrimgeour, D. (1991) Malaria control in Namibia, pp. 14. WHO.
- Seaman, J. (1997) The food economy approach to vulnerability assessment and the RiskMap computer program. Annex 3. In GIEWS Report ES: GCP/INT535/EEC. UNFAO: Rome.
- Sen, A. (1981) *Poverty and Famines: an essay on entitlement and deprivation*. Clarendon Press: Oxford.
- Snijders, F. L. (2000) Incorporating the use of VEGETATION data in FAO's programmes. In: *VEGETATION—2000: Lake Maggiore—Italy*.
- Snow, R. W., Craig, M., Deichmann, U. and Marsh, K. (1999a) Evaluation de la mortalité, de la morbidité et des incapacités dues au paludisme dans les populations africaines, femmes enceintes exceptées. *Bulletin de l'Organisation mondiale de la Santé, Recueil d'articles, 2000, 2 : 64-80*.
- Snow, R. W., Ikoku, A., Omumbo, J. and Ouma, J. (1999b) The epidemiology, politics and control of malaria epidemics in Kenya: 1900-1998, pp. 108: Nairobi, Kenya.
- Snow, R. W., Marsh, K. and Le Sueur, D. (1996) The need for maps of transmission to intensity to guide malaria control in Africa. *Parasitology Today* **12**, 455-457.
- Some, E. S. (1994) Effects and control of highland malaria epidemic in Uasin Gishu District, Kenya. *East African Medical Journal*, 2-8.



- Stockdale, T. N., Anderson, D. L. T., Alves, J. O. S. and Balmasada (1998) Global seasonal rainfall forecasts using a coupled ocean-atmosphere model. *Nature* **392**, 370-373.
- Sudre, P., Breman, J. G. and Koplan, J. P. (1990) Delphi survey of malaria mortality and drug resistance in Africa. *TheLancet* **335**, 722.
- Tappen, G. G., Moore, D. G. and Knausenberger, W. I. (1991) Monitoring grasshopper and locust habitats in Sahelian Africa using GIS and remote sensing technology. *International Journal of Geographical Information Systems* **5**, 123-135.
- Thomson, M. C. and Connor, S. J. (2000) Environmental information systems for the control of arthropod vectors of disease. *Medical and Veterinary Entomology* **14**, 227-244.
- Thomson, M. C., Connor, S. J., Milligan, P. J. W. and Flasse, S. (1996) The ecology of malaria—as seen from earth observation satellites. *Annals of Tropical Medicine and Parasitology* **90**, 243-264.
- Thomson, M. C., Connor, S. J., Milligan, P. J. W. and Flasse, S. (1997) Mapping malaria risk in Africa—what can satellite data contribute? *Parasitology Today* **8**, 313-318.
- Thomson, M. C., Connor, S. J., O’Niel, K. and Meert, J. P. (2000a) Environmental Information for prediction of epidemics. *Parasitology Today* **16**, 137-138.
- Thomson, M. C., Connor, S. J., O’Niell, K. and Nuttall, I. (2000b) Environmental information systems for multi-Disease surveillance and epidemic prediction. In: *GEOMED’99 Vol. 0*, pp. 000-000: Paris.
- Thomson, M. C., Connor, S. J., Rowlingson, B., Diggle, P., Cresswell, M. and Greenwood, B. M. (1999a) Predicting malaria infection in Gambian children from satellite data and knowledge of bednet usage: the importance of spatial correlation in the interpretation of the results. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* **6**, 2-8.
- Thomson, M. C., Elnaiem, D. A., Ashford, R. W. and Connor, S. J. (1999b) The development of a kala azar risk map for Sudan based on the environmental determinants of *Phlebotomus orientalis*. *Tropical Medicine and International Health* **4**, 105-113.
- Thomson, M. C., Obsomer, V., Dunne, M., Connor, S. J. and Molyneux, D. H. (2000c) Satellite mapping of Loa loa prevalence in relation to ivermectin use in west and central Africa. *The Lancet* **356**, 1077-78.
- Thomson, M. C., Palmer, T., Morse, A. P., Cresswell, M. and Connor, S. J. (2000d) Forecasting disease risk using seasonal climate predictions. *The Lancet (Letter)* **355**, 1559-1560.
- Thonnon, J., Picquet, M., Thiongane, Y., Lo, M. A., Sylla, R. and Vercruysse, J. (1999) Rift valley fever surveillance in lower Senegal river basin: update 10 years after the epidemic. *Tropical Medicine and International Health* **4**, 580-585.
- Vincke, I., Jadin B. (1946) Contribution à l’étude de l’anophélisme en pays d’altitude. *Ann. Soc. Belge. Med. Trop* **26**, 483-500
- Worrall, E., Connor, S. J. and Thomson, M. C. (2000) A Decision Support Framework for Planning of Control Intervention in Epidemic Malaria Outbreaks. MALSAT/LSTM: Liverpool.
- Woube, M. (1997) Geographical distribution and dramatic increases in incidences of malaria: consequences of the resettlement scheme in Gambela, SW Ethiopia. *Indian Journal of Malariology* **34**, 140-63.



Faire Reculer le Paludisme



Faire Reculer le Paludisme (Roll Back Malaria), Organisation mondiale de la Santé,
Avenue Appia 20, CH-1211 Genève 27, Suisse

Tel: +41 (22) 791 2891, Fax: +41 (22) 791 4824,

E-mail: rbm@who.int Web site: www.rbm.who.int/