

IFRISSE

MASTER INFORMATIQUE MEDICAL ET SCIENCES DES
DONNEES

COURS DE ENVIRONNEMENT - CLIMAT – SANTE /
Déterminants de la santé en rapport avec le climat
et l'environnement

ANNEE : 2020

ENSEIGNANT : Docteur D. Pascal A. YAKA

Table des matières

CHAPITRE I : LES RELATIONS ENVIRONNEMENT – CLIMAT ET SANTE	5
<i>I.INTRODUCTION GENERALE</i>	<i>5</i>
<i>II.QU'EST-CE QUE LA SANTE ?</i>	<i>9</i>
<i>III. LES DETERMINANTS DE LA SANTE</i>	<i>10</i>
<i>IV. LES AGENTS PATHOGENES</i>	<i>14</i>
CHAPITRE II : LA BIOMETEOROLOGIE.	20
<i>I.1 DEFINITION</i>	<i>20</i>
<i>I.2 LA BIOMETEOROLOGIE HUMAINE.....</i>	<i>21</i>
<i>II.LES ENJEUX DE LA BIOMETEOROLOGIE.....</i>	<i>23</i>
<i>III. LES DIFFICULTES RENCONTREES DANS LA RECHERCHE BIOMETEOROLOGIQUE.....</i>	<i>25</i>
III. 1. LES DIFFICULTES D'ORDRE GENERALE	25
III.2 LES TYPES DE CONFUSIONS SOUVENT RENCONTREES.	26
CHAPITRE III : METHODOLOGIE D'ETUDE EN BIOMETEOROLOGIE HUMAINE	29
<i>I.INTRODUCTION</i>	<i>29</i>
<i>II.APPROCHES METHODOLOGIQUES</i>	<i>30</i>
1.CHOIX D'UN CADRE D'ESPACE ET DE TEMPS.....	30
2.STATISTIQUES MEDICALES	30
3.TRAITEMENT DES DONNEES.....	31
<i>III.SCHEMAS GENERAL D'UNE ETUDE BIOMETEOROLOGIQUE.....</i>	<i>35</i>
<i>IV.LIMITE DE LA MODELISATION EN MATIERE DE PREDICTION DES MALADIES CLIMATODEPENDANTES..</i>	<i>36</i>
<i>V.ETUDE DE CAS SUR LA CONSTITUTION D'UNE BASE DE DONNEES CLIMAT- SANTE</i>	<i>37</i>

CHAPITRE IV : ETUDES DES INTERACTIONS ENTRE LE TEMPS, LE CLIMAT, L'ENVIRONNEMENT ET LA SANTE HUMAINE.....39

<i>I. CLASSIFICATIONS DES MALADIES INFECTIEUSES.....</i>	<i>39</i>
<i>II. ANALYSES DES INFLUENCES DU TEMPS, DU CLIMAT, DE L'ENVIRONNEMENT SUR LA SANTE HUMAINE.</i>	<i>40</i>
II. 1. LES TYPES D'INFLUENCES DENOMBRABLES.....	40
II.2. LES EFFECTS DIRECTS DU TEMPS ET DU CLIMAT SUR LA SANTE.....	41
II.3 CAS D'ETUDE : LES INDICES BIOCLIMATOLOGIQUES : FICHIER PPT.	43
II.4. LES EFFECTS INDIRECTS DU TEMPS ET DU CLIMAT SUR LA SANTE.....	43
II.5 L'INFLUENCE DU TEMPS ET DU CLIMAT SUR LES AGENTS INFECTIEUX	44
II.6 CAS D'ETUDE : LES INTERRELATIONS ENVIRONNEMENT – CLIMAT ET SANTE EN AFRIQUE SAHELIENNE.....	45
II.6.1 LES MALADIES CLIMATO-DEPENDANTES.....	48
II.6.2. DES RELATIONS ENTRE VARIABILITE CLIMATIQUE / ENVIRONNEMENTALE ET PALUDISME AU BURKINA FASO.	48
II.6.3 RELATIONS ENVIRONNEMENT – CLIMAT ET MENINGITE CEREBRO-SIPINALE AU BURKINA FASO.	52
II.6.4 ETUDE DE CAS : RELATIONS TEMPS- CLIMAT ET ASHME A ORAN (ALGERIE)...	

CHAPITRE VI : CHANGEMENTS CLIMATIQUES, MUTATIONS SOCIALES ET RESURGENCE DES MALADIES INFECTIEUSES.....61

<i>I.1 LE CHANGEMENT CLIMATIQUE GLOBAL ET LA DIFFUSION DES MALADIES INFECTIEUSES.....</i>	<i>61</i>
<i>II. MODIFICATIONS D'ECOSYSTEMES ET SANTE.....</i>	<i>62</i>
<i>III. UTILISATIONS DES SOLS, DEVELOPPEMENT AGRICOLE, AGRICULTURE INTENSIVE ET SANTE</i>	<i>64</i>
<i>IV. CROISSANCE DE LA POPULATION HUMAINE ET EVOLUTION DES MALADIES INFECTIEUSES.....</i>	<i>65</i>
<i>VI. TRAFIC ET COMMERCE INTERNATIONAL.....</i>	<i>66</i>
<i>VI.6. SECURITE ALIMENTAIRE, MALNUTRITION ET ENVIRONNEMENT.....</i>	<i>67</i>

CHAPITRE VI : POLLUTION ATMOSPHERIQUE ET MALADIES	71
<i>I.INTRODUCTION.....</i>	<i>71</i>
<i>II.PERCEPTION ET MANIFESTATION DE LA POLLUTION DE L'AIR.....</i>	<i>72</i>
<i>III.IMPACTS ET VULNERABILITES DE LA POPULATION FACE AUX EFFETS DE LA POLLUTION DE L'AIR.....</i>	<i>73</i>
<i>IV.ACTION DE L'HARMATTAN ET DES LITHOMETEORORES.....</i>	<i>74</i>
<i>V.POLLUTION DE L'AIR DANS LES HABITATIONS.....</i>	<i>78</i>
<i>VI.POLLUTION DE L'AIR EXTERIEUR ET SANTE DES POPULATIONS.....</i>	<i>82</i>

CHAPITRE I : LES RELATIONS ENVIRONNEMENT – CLIMAT ET SANTE

I. INTRODUCTION GENERALE

L'évidence que la santé humaine peut être affectée par la variation de certains paramètres climatiques, l'évolution (dégradation) des écosystèmes, est un développement récent, découlant de l'avancée et la précision de la connaissance scientifique moderne. Mais l'idée que la santé humaine et les maladies sont liées au climat remonte à l'antiquité.

En effet, le médecin grec Hippocrate (400 ans avant J C) relate que les épidémies sont liées à la variabilité saisonnière du climat, et que celui qui veut s'appliquer convenablement à la médecine doit faire ce qui suit << considérer, premièrement, par rapport aux saisons de l'année, les effets (maladies) que chacune d'elles peuvent produire. En second lieu, les vents chauds et les vents froids, surtout ceux qui sont communs à tous les pays, puis ceux qui sont propres à chaque contrée. Il doit également considérer les qualités des eaux, car, autant elles diffèrent par leur saveur et par leur poids, autant elles diffèrent par leurs propriétés. Il doit examiner sa position et ses rapports avec les vents et avec le lever du soleil, car celle qui est exposée au nord, celle qui l'est au midi, celle qui l'est au levant, celle qui l'est au couchant, n'exercent pas la même influence. Il examinera si le sol est nu et sec, ou boisé et humide ; s'il est enfoncé et brûlé par des chaleurs étouffantes, ou s'il est élevé et froid. Enfin il connaîtra le genre de vie et le régime alimentaire auxquels les habitants se plaisent davantage >>.

Hippocrate poursuit en énonçant ceci : << C'est de semblables observations qu'il faut partir pour juger chaque chose. En effet, un médecin qui sera bien éclairé sur ces

circonstances ne tombera point dans les fautes qu'on doit vraisemblablement commettre si l'on n'a pas d'avance approfondi tous ces points. Pour chaque saison qui s'avance et pour l'année, il pourra prédire les maladies communes à tous (maladies générales) qui doivent affliger la ville en été ou en hiver... Après de telles investigations et avec la prévision des temps, il sera bien préparé pour chaque cas particulier, connaîtra les moyens les plus propres à rétablir la santé, et n'obtiendra pas un médiocre succès dans l'exercice de son art >>. (Hippocratic Writings. Lloyd G. E. R. ed. London, UK, Penguin, 1978)

Deux mille ans plus tard, Robert PLOT, secrétaire de la nouvelle société de la fondation royale Anglaise, fit en 1683 – 1684 des observations sur les types de temps et nota que si les mêmes observations étaient faites << dans plusieurs pays étrangers et partout au même moment >> nous pourrions << probablement à l'avance apprendre à prédire approximativement sur diverses situations de cas d'urgence « tels que les fortes chaleurs, les grands froids, la mortalité, la peste et autres épidémies désastreuses >>.

Entre ces deux périodes, (temps séparant les idées d'Hippocrate et de celles de Robert PLOT) d'innombrables désastres climatiques, causes de famines, d'épidémies, de crises économiques et aussi de la disparition de certaines civilisations ont affecté, partout dans le monde de nombreuses populations.

Ainsi à la lumière des idées nées dès l'antiquité, et qui ont perduré tout en s'enrichissant au fil du temps, de plus en plus de recherches sont entreprises de nos jours pour tenter de préciser les relations entre le climat, les milieux fortement anthropisés et la santé des sociétés humaines. Forte de cette idée, l'Organisation Mondiale de la Météorologie (O.M.M) le 23 mars 1999, célébra sa journée internationale sur le thème : «Temps, Climat et Santé».

Le climat est un des principaux facteurs de l'occurrence et de l'extension spatiale des maladies infectieuses

En Afrique de l'ouest, nous constatons au fil des années, que les épidémies de méningite cérébro-spinale surviennent régulièrement en saison sèche (fraîche et chaude), généralement de décembre à mai.

En saison des pluies, de juin à octobre, surviennent des pathologies liées directement ou indirectement à l'eau telles que le choléra, le paludisme, la filariose, la fièvre de la vallée du Nil ...

Durant la saison sèche marquée principalement par des épidémies de méningite, au plan climatique, on note la fréquence des vents d'est (harmattan), chargés de poussière. A cela s'ajoute une baisse notable du degré hygrométrique de l'air et une forte amplitude thermique journalière.

Ce qui suggère une hypothèse physiopathologique concernant une action irritante des poussières minérales contenues dans l'atmosphère sur les muqueuses rhinopharyngées fragilisées par la baisse hygrométrique des sujets porteurs. Les microtraumatismes facilitant la pénétration transpériéale du méningocoque et sa diffusion dans l'organisme.

Par ailleurs, durant ces dernières années, précisément depuis 1970, la fréquence et la sévérité des épidémies en Afrique sahélo-soudanienne coïncident avec des changements particuliers du milieu physique et la variation de certains paramètres climatiques.

Dans cette partie de l'Afrique, on note une baisse notable de la pluviométrie, une augmentation de la sécheresse et de l'aridité.

Il existe d'autres facteurs tout aussi importants comme ceux d'ordre socio-démographiques et économiques. Par exemple, la densité de population, le niveau de développement économique, l'alimentation, le statut immunitaire, l'accès aux soins, les migrations humaines, les transports, le commerce (phénomène de mondialisation), les

méthodes de contrôle des maladies infectieuses, la résistance aux médicaments et aux pesticides influent également sur l'occurrence des maladies infectieuses.

En somme, les activités humaines et le mode de vie, sont des facteurs déterminants pour la transmission des maladies infectieuses

A ce titre, des facteurs de modification environnementale comme la déforestation, le développement agricole, le mode d'utilisation des sols, les projets hydrauliques, les conditions environnementales locales et l'urbanisation sont aussi déterminants.

Ces facteurs socio-démographiques, économiques, environnementaux et écologiques, peuvent influencer en synergie ou de façon antagoniste avec les facteurs climatiques, exacerbant ou diminuant leurs impacts sur l'apparition et la transmission des maladies infectieuses.

En Afrique de l'ouest, on note également, une démographique galopante entraînant une anthropisation croissante des milieux naturels et une dégradation de grande ampleur des différents écosystèmes (érosion des sols, surpâturage, dégradation de zones herbeuses ou boisées).

Les données climatiques recueillies depuis 50 ans au Sénégal, en Mauritanie, au Mali et au Niger, au nord du Burkina, montrent que la teneur en poussières a quadruplé depuis 1968.

L'analyse des températures révèle que la température moyenne annuelle a augmenté de $1,17^{\circ}\text{C}$ entre 1951 et 1996, c'est-à-dire de $0,25^{\circ}\text{C}$ par décennie ; ceci s'explique par l'élévation des températures minimales due à une augmentation des poussières minérales (brume sèche, aérosols divers) induisant un effet de serre accru.

Toutefois les liens unissant les divers paramètres climatiques, la dégradation des écosystèmes, la survenue, la diffusion, la dynamique spatio-temporelle de la méningite cérébro-spinale sont toujours en cours d'investigation.

II. QU'EST-CE QUE LA SANTE ?

« C'est l'absence de maladie », serions-nous tentés de répondre à priori. Après mure concertation, l'OMS a estimé que « la santé n'est pas seulement l'absence de maladie, mais c'est aussi un complet bien être psychique, mental et social ».

A ce titre la santé pourrait être définie en la situant à trois niveaux :

1. Niveau somatique : c'est l'intégrité anatomique et psychologique de l'ensemble des organes.
2. Niveau cérébral (psychologique) : c'est le fonctionnement harmonieux du cerveau, dans ses rapports avec les organes qu'il gouverne et avec le monde extérieur, et dans sa propre conscience de ces rapports.
3. Niveau environnemental : c'est l'harmonie dans les rapports physiques et mentaux entre l'homme et l'ensemble de son environnement extérieur (nature, société, culture...)

Les liens qui existent entre ces trois niveaux sont évidemment étroits et intriqués. Par exemple, un organisme peut être biologiquement sain, alors que des troubles altèrent sa conscience des choses. Nous pouvons aussi concevoir un homme parfaitement sain de corps et d'esprit, mais qui éprouvent moralement la contariante de son environnement sur les plans physiques, idéologique, esthétique, etc...

La santé de l'homme n'est pas seulement dans l'intégrité et le bon fonctionnement de ses organes. Elle est aussi dans l'harmonie des rapports avec la nature et avec la société à travers leurs dimensions utilitaires, esthétiques et psychologiques. Elle est dans l'équilibre interne entre le corps et l'esprit. Elle est dans la liberté, c'est-à-dire dans la maîtrise des choses que l'homme a créées non pas pour en être l'esclave, mais pour être grâce à elles, davantage libre et transcendant.

III. LES DETERMINANTS DE LA SANTE

De la conception à la mort, la vie de la santé résultent des interactions entre l'homme et son milieu. Il est aujourd'hui reconnu que quatre types de facteurs influencent la santé :

- Les caractéristiques biologiques et génétiques ;
- Les comportements personnels
- L'environnement au sens large (ce qui inclut une dimension sociale)
- Les performances du système de soins

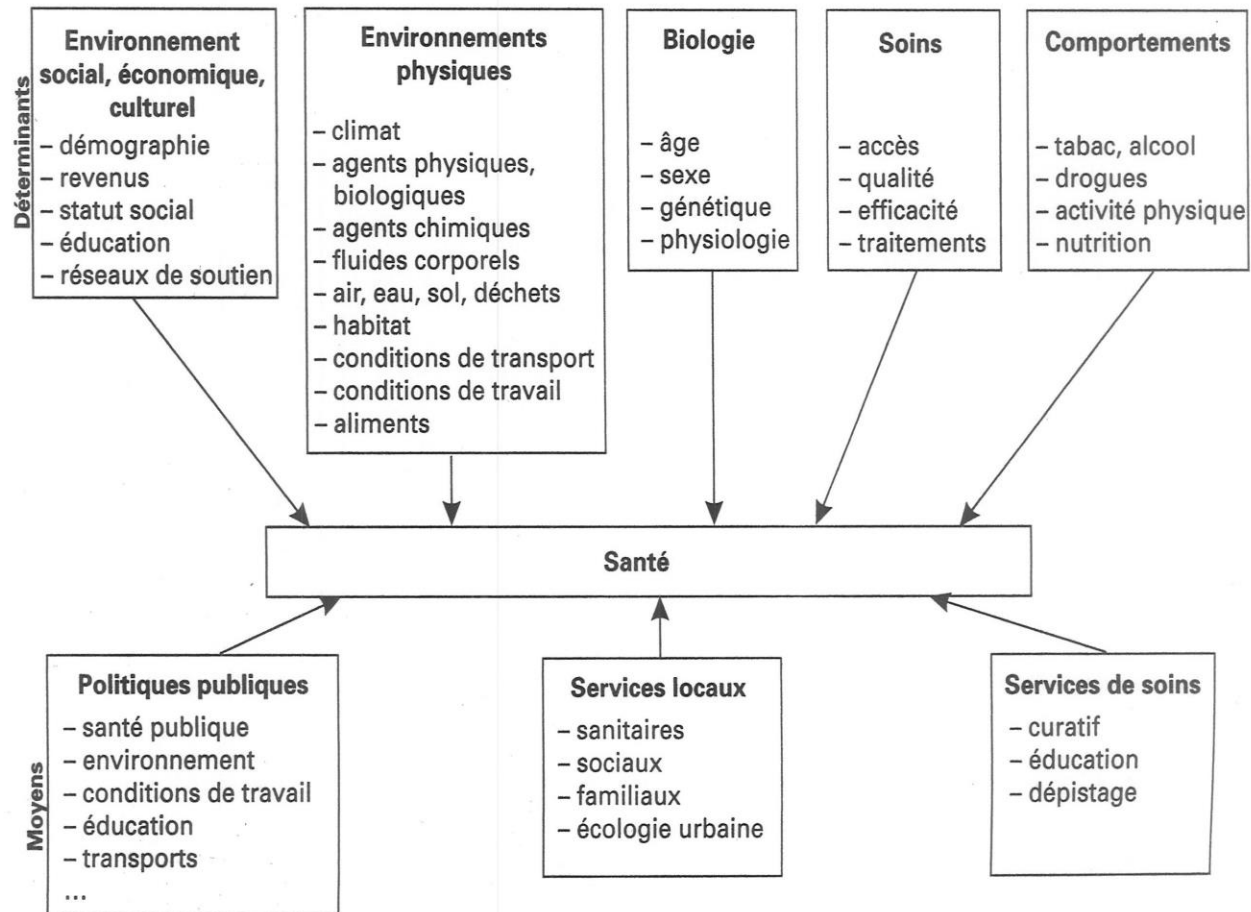
La place respective de ces différents déterminants n'est pas connue avec précision, mais l'idée importante est que la plupart des maladies résultent d'une conjonction de plusieurs facteurs.

Prenons l'exemple de l'Asthme, une maladie qui se caractérise par le rétrécissement des bronches qui peut conduire à la mort par asphyxie. Les personnes asthmatiques ont souvent un terrain favorisant qui est déterminé génétiquement. Pour déclencher une crise d'asthme, il faut être exposé un ou à plusieurs facteurs qui peuvent être de nature environnementale (pollution de l'air), alimentaire, médicamenteuse ou psychologique. Pour un malade en particulier, il est le plus souvent impossible de retrouver ce facteur déclenchant. Seule l'analyse de l'asthme dans la population permet de montrer que l'exposition à certains facteurs est associée à une plus grande fréquence de crises.

Certains déterminants des maladies sont modifiables (comportements, environnement) et d'autres ne le sont pas (le matériel génétique, encore que les nouvelles thérapies géniques laissent entrevoir ici des perspectives à la fois encourageantes et inquiétantes). Certains peuvent être contrôlés par les personnes (le fait de fumer ou non), et d'autres résultent d'actions collectives (la production d'eau potable, un des tout premiers déterminants de la santé au plan international, ne peut pas résulter d'un choix individuel).

On croit souvent à tort qu'il suffit de disposer de médecins, d'hôpitaux et de médicaments en quantité et en qualité suffisantes pour obtenir le meilleur état de santé possible. Pour importantes qu'elles soient, ces ressources ne suffisent pas. Il faut un regard de santé publique pour s'en apercevoir, et ce regard permet aujourd'hui de mieux cerner l'importance de l'environnement comme facteur de santé. Le schéma ci-dessus fournit une vision générale des déterminants de la santé et des outils dont la santé publique dispose pour améliorer la santé.

15



Les principaux facteurs qui influencent la santé

IV. LES AGENTS PATHOGENES

Un agent est dit pathogène en fonction des effets qu'il provoque sur les structures ou l'activité de l'organisme humain.

Ainsi, un agent physique comme la température ne peut être considéré comme pathogène qu'en deçà et au-delà d'un certain seuil de tolérance, quand il devient incompatible avec les fonctions vitales ou les diminue. Un agent chimique comme le fluor devient pathogène par excès ou par défaut, lorsqu'il est apporté en quantité trop grande ou trop faible par l'eau et les aliments. A moins de 0.5 mg/litre ou plus de 1.5 mg/litre apparaissent des altérations des dents et du squelette.

Le tableau suivant nous permet de classer les différentes catégories d'agents pathogènes.

Nature de l'agent pathogène	Exemples
agents physiques	Température Pression atmosphérique Bruit, vibrations Radiations Lumière Courant électrique
agents mécaniques	Objets contondants immobiles (chute) Courant ou masse d'eau (noyade) Projectiles, pierres, armes à feu... Objets contondants manipulés Machines Véhicules
agents biologiques	Micro-organismes Virus (grippe, rougeole, poliomyélite, hépatite...) Bactéries (tuberculose, diphtérie, typhoïde, choléra, staphylocoque...) Parasite (paludisme, bilharziose, vers...) Champignons : mycoses cutanées mycoses profondes Champignons toxiques Végétaux supérieurs : toxicité, allergie (Racines, fruits, feuilles, fleurs...) Animaux : – vénéneux (scorpions, serpents...) – agresseurs physiques – vecteurs de maladies l'homme : – agresseur – concurrent – vecteur passif de maladies

agents chimiques <ul style="list-style-type: none"> • solides • liquides • gazeux 	<p>Naturels : oxyde de carbone poisons minéraux (As, Pb, Hg...)</p> <p>Naturels concentrés par l'intervention de l'homme (métaux toxiques, hydrocarbures...):</p> <p>Synthétiques (acides, bases, divers composés chimiques, effluents...)</p>
agents psycho-sociaux	<p>Agressions physiques et violences</p> <p>Promiscuité</p> <p>Rapport sociaux de travail et de relation</p> <p>Agressions morale et physique</p>
agents socio-écologiques	<p>Urbanisation et ses conséquences</p> <p>Modifications du milieu naturel</p> <p>Epuisement des ressources naturelles</p>

B. *Le milieu vecteur.*

Pour qu'un agent pathogène quelconque atteigne l'organisme humain, il doit être véhiculé à partir de sa source, par les différents milieux avec lesquels l'homme est en relation. Les différents milieux vecteurs et les agents pathogènes qu'ils peuvent véhiculer sont représentés dans le tableau suivant :

milieu vecteur	agents pathogènes (exemples)
atmosphère	<ul style="list-style-type: none"> • agents physiques : température, rayonnement, bruit • agents biologiques : virus (grippe, rougeole) bactéries (tuberculose) moisissures pollens • agents chimiques : poussières, particules, fumées, gaz et vapeurs toxiques
milieu hydrique	<ul style="list-style-type: none"> • agents physiques : température (brûlures, gelure..) radio-activité • agents biologiques : virus (hépatite, entérovirus) bactéries (typhoïde, choléra) parasites (amibes, vers) • agents chimiques : métaux (As, Pb, Hg) effluents
milieu tellurique (sol)	<ul style="list-style-type: none"> • agents physiques : température, radiations • agents mécaniques : chutes, objets contondants • agents biologiques : tétanos, parasites • agents chimiques : effluents, pesticides..

	<p>drogues et produits domestiques d'origine industrielle (détergents, lessive..)</p> <p>produits esthétiques : savons, cosmétiques)</p> <p>produits pharmaceutiques (intolérance, allergies, mal prescription)</p> <p>effluents industriels contaminant le milieu</p> <ul style="list-style-type: none"> • agents psychogènes : <ul style="list-style-type: none"> stress liés à la vie sociale et aux rapports sociaux stress liés au milieu du travail stress liés au milieu familial stress liés au conflits politiques ou idéologiques stress liés aux besoins matériels de nourriture, de logement, de sécurité, de confort, intérieur et extérieur. stress liés aux compétitions sociales habitudes de consommation : alcool, tabac, drogues stress liés à la vie sexuelle • agents pathogènes organiques : <ul style="list-style-type: none"> diététique : obésité, diabète, malnutrition culture physique, sédentarité ou activité
milieu socio-culturel	<p>traditions, instruction et éducation, religion, politique arts, littérature, cinéma, loisirs moyens d'information audio-visuels sociologie (type urbain, rural, nomade, émigré)</p> <p>sont autant de facteurs qui se répercutent sur le mode de vie et les rapports sociaux et qui peuvent affecter l'homme dans sa santé physique et dans son bien être mental et social.</p>

L'interdépendance de l'homme avec son milieu naturel à travers les relations entre les facteurs organiques internes et les facteurs environnementaux externes peuvent être représentés de la sorte :

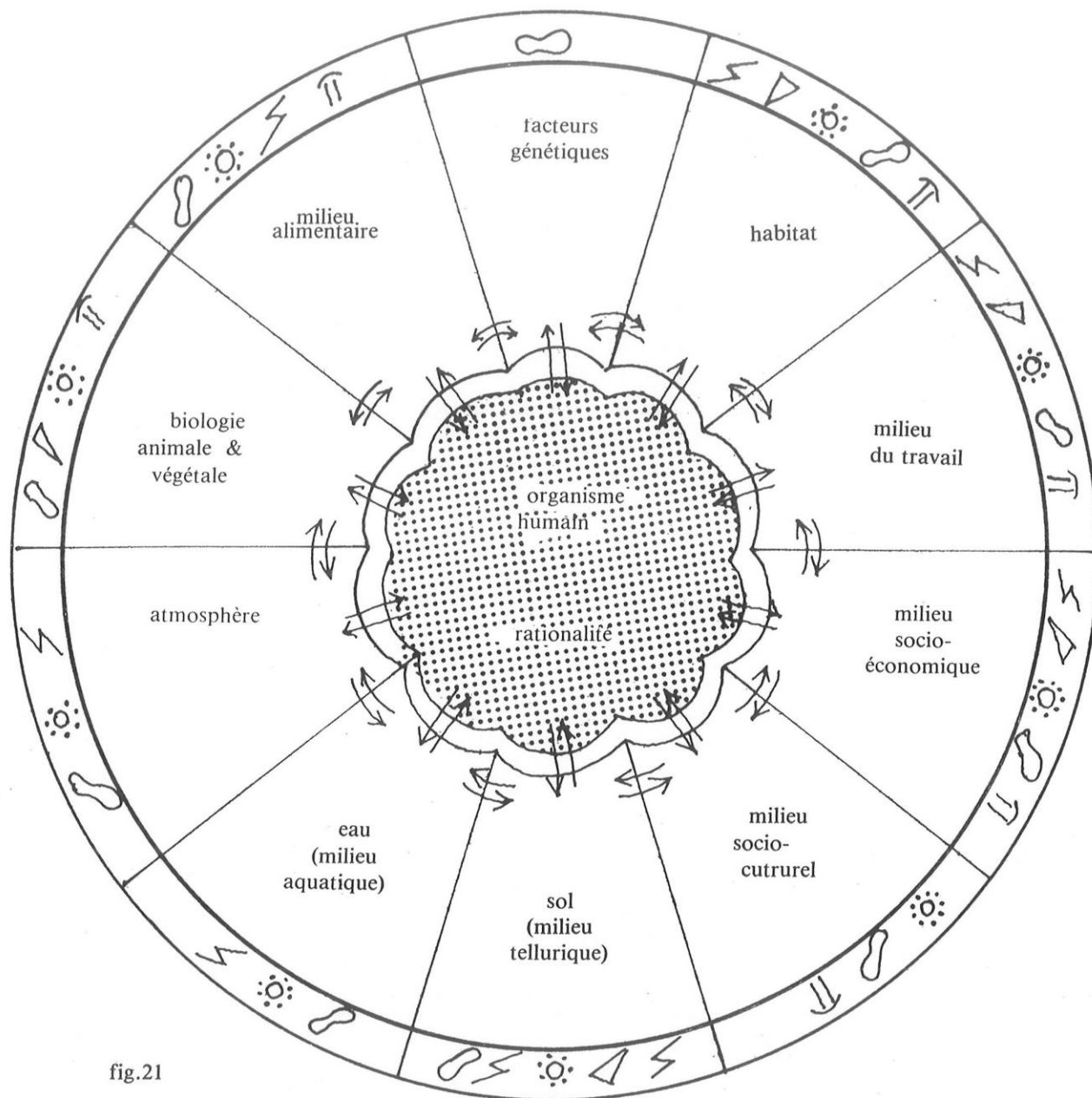


fig.21

L'homme dans son milieu

Les agents du milieu :

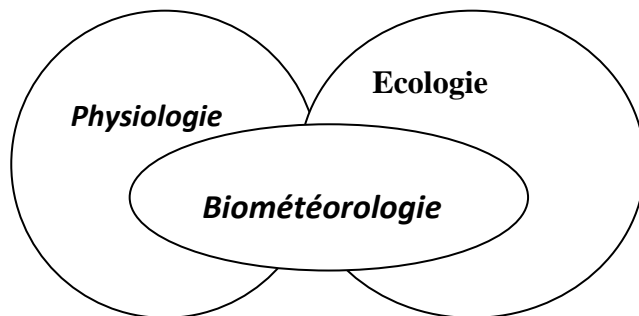
- agents physiques : ⚡
- agents mécaniques : ⚙
- agents chimiques : ☼
- agents biologiques : 🍄
- agents psychogènes : ↑

CHAPITRE II : LA BIOMETEOROLOGIE.

I.1 DEFINITION

La biométéorologie (contraction des termes "bio" qui veut dire "vie" et le mot "météorologie», d'où le nom de biométéorologie), est l'étude des relations qui existent entre les phénomènes météorologiques et les phénomènes biologiques. Elle traite donc de l'action du milieu vital, atmosphérique ou océanique sur tous les organismes vivants, qu'il s'agisse de l'homme, des végétaux, des animaux ainsi que des influences que ces organismes peuvent exercer occasionnellement sur l'atmosphère.

Elle est en faite la résultante des relations unissant le milieu physiologique et le milieu écologique.



Le domaine d'étude de cette science consacré uniquement à l'être humain est appelé *Biométéorologie humaine*.

I.2 LA BIOMETEOROLOGIE HUMAINE

La santé de la population de nos jours n'est plus l'affaire des seuls médecins: la médecine de nos jours se présente sous deux grands axes, qui sont la médecine curative, domaine et œuvre propre du médecin et la médecine préventive où peuvent intervenir de nombreux praticiens et chercheurs, tels que les sociologues, les démographes, les économistes, les biologistes...et les météorologistes.

Le rôle des météorologistes dans la prévention des maladies est d'une grande importance, dans la mesure où ils contribuent conjointement à déceler les facteurs exogènes favorables à l'apparition des maladies et à permettre leurs localisations spatiales et temporelles.

Cela s'explique par le fait que d'une façon générale, l'apparition et la transmission des maladies sont influencées de façon complexes par des facteurs liés entre eux tels que la température locale, l'hygrométrie, le régime des précipitations, l'altitude, la densité des végétaux, la composition et l'espacement des espèces d'arbres, la structure des sols, les modes de culture ainsi que la stabilité, l'immunité, la mobilité et le comportement des populations humaines locales.

Ces facteurs conditionnant la santé et la vie humaine dépendent entièrement du milieu physique qui lui fournit l'air qu'il respire, la chaleur et la lumière qui lui viennent du soleil, l'eau qu'il boit, les sels minéraux qui entrent dans son alimentation, les aliments (protéines, graisses et sucres) qu'il prélève du monde animal, les matériaux pour se vêtir, se loger, se défendre.

Ce milieu physique, régulateur de toute sorte de vie sur terre, se trouve conditionné par l'atmosphère, ce « matelas gazeux » qui entoure la terre, où s'effectuent les échanges chimiques et énergétiques entre les êtres vivants, ainsi que les autres systèmes environnants, et dont l'altération qualitative et / ou quantitative peut être la cause d'affection organique.

Il s'avère donc que toute stratégie de prévention médicale doit tenir compte de la complexité et de l'interdépendance entre la santé de l'homme et son environnement quasi dépendant des éléments climatiques.

Forts de cette réalité, les météorologistes dans leurs soucis quotidiens de rendre le cadre de vie humaine plus sain, plus confortable et rassurant, sont arrivés à mettre en évidence l'influence du temps qu'il fait ou du climat, sur le fonctionnement de l'organisme humain dans l'état de santé et de maladie, donnant ainsi naissance à une nouvelle discipline scientifique appelée : **BIOMETEOROLOGIE humaine**.

Cette science pluridisciplinaire, recouvre tous les aspects des sciences médicales qui sont liées à l'environnement atmosphérique. Elle s'adresse à l'homme qu'il soit en bonne santé ou exempt de maladie, ou au contraire physiquement ou psychologiquement faible ou malade.

La biométéorologie humaine peut être subdivisée en quatre grandes parties à savoir :

- **L'étude de la surexposition** consistant à déceler l'influence de l'atmosphère ou de ses fluctuations rapides sur le confort et le bien-être de l'homme (effet de chaleur, du froid, des rayonnements..)
- **L'étude de la météorosensibilité** consistant à mettre en évidence les facteurs et les fluctuations atmosphériques accroissant la sensibilité de certains individus à des types d'affections (maladies) particulières telles les allergies, (maladies cutanées, ophtalmologiques) l'asthme (sensibilité aux vents), la drepanocytose (sensibilité aux températures et à la pression atmosphérique).
- **L'étude de la météoropathologie** consistant à mettre en évidence les facteurs et les fluctuations atmosphériques influant sur la transmission, le développement, et la gravité des maladies.
- **La bioclimatologie** s'intéressant à l'étude de l'effet bénéfique ou au contraire néfaste de certains climats régionaux, locaux, ou de microclimats sur la santé des humains. (cure climatique) Elle oriente l'individu en quête de cure climatique sur les

possibilités d'adaptation aux conditions climatiques de la région où il vit par l'analyse des différents milieux et habitats en vue de déterminer laquelle est propice à un bon rétablissement (environnement montagneux, rural, urbain).

Elle traite aussi de certains aspects écologiques, par exemple des dangers que font courir à l'homme certaines zones conditionnées par un climat particulier, favorables à certaines maladies (schistosomiase, bilharziose, méningite...) et l'existence d'insectes vecteurs dont la présence est favorisée par un climat précis et qui transmet à l'homme des parasites, causes de maladies (paludisme, onchocercose, maladie du sommeil ..)

II. LES ENJEUX DE LA BIOMETEOROLOGIE

Il est à noter que l'un des résultats les plus utiles de la recherche sur les diverses maladies n'est pas nécessairement un traitement ou un vaccin ; ce peut d'être de prédire comment, pourquoi et où les risques de mortalités augmentent, et de mettre en œuvre des mesures de lutte pour prédire ces risques avant même que la transmission n'augmente.

Prenant en compte cette réalité, les biométéorologistes, au delà de la description et de l'interprétation de ses observations, par soucis d'efficacité et d'objectivité, arrivent de nos jours à mettre sur pied des modèles pour des fins de prévision.

Ainsi, des modèles de prévision sur certaines pathologies (maladies cardio-vasculaires, maladies des voies respiratoires, allergies) suivant les fluctuations des éléments climatiques ont permis d'anticiper l'effet thérapeutique des médecins et de réduire considérablement les risques de morbidité et de mortalité, et de savoir les zones et les modes de transmission de certaines maladies (paludisme, méningite).

Intervenant dans tous les secteurs de la vie, les recherches biométéorologiques, sont de plus en plus sollicitées par le grand public, les services hospitaliers, des institutions de recherches diverses, des organisateurs des compétitions sportives, les services militaires en vue d'applications diverses telles que :

- Caractérisation des liens climat-pathologies
- Caractérisation des liens climat-rendement physiologique
- Prévission et Prévention des épidémies et des pathologies (Modélisation) suivant la fluctuation des paramètres climatiques
- Implantation et évaluation des prestations des centres de soins
- Choix de lieux de cure
- Redynamisation de nouvelles techniques en matière de protection humaine
- Facteurs pouvant jouer sur la performance de sportifs
- Aménagement territorial

Ainsi, il decoule que nous pouvons repartir les domaines d'intervention de la biométéorologie en quatre domaines :

- **physiologique** (étude de l'influence du temps et des climats sur l'homme en bonne santé);
- **sociale** (étude des facteurs météorologiques pour le traitement de larges groupes de populations);
- **pathologique** (étude de l'influence des phénomènes atmosphériques sur l'apparition, l'aggravation ou la guérison des maladies);
- **urbaine** (étude de l'action du microclimat des villes, des maisons et de leur pollution, sur la santé de l'homme).

III. LES DIFFICULTES RENCONTREES DANS LA RECHERCHE BIOMETEOROLOGIQUE

III. 1. LES DIFFICULTES D'ORDRE GENERALE

Bien qu'elle soit très ancienne, elle est longtemps restée l'ombre d'elle même au sein de la communauté scientifique internationale, compte tenu de l'absence de rigueur qui a souvent caractérisée sa démarche initiale.

Cela s'explique en partie par le fait que les mesures effectuées par les services météorologiques n'ont pas été initialement axées sur des études biologiques, mais plutôt, pour une connaissance générale du climat et des principaux facteurs énergétiques qui régissent l'évolution de l'atmosphère, en vue de permettre la prévision du temps et de faciliter l'archivage des données prélevées à diverses échelles spatio-temporelles.

Les séries numériques mises à notre disposition (des biométéorologistes) s'avèrent d'un précieux recours pour la climatopathologie, mais elles ne sont pas toujours suffisantes ou bien exploitables et cela pour multiples raisons :

- le maillage des réseaux météorologiques est presque partout lâche
- l'emplacement des stations de collecte de données coïncident rarement avec les plus fortes concentrations de population
- les relevés sous-abri ne sont guère représentatives des dispositions auxquelles l'organisme est effectivement confronté
- certains paramètres, qui paraissent plus influents pour la santé ne font pas l'objet de mesure de routine ; tel est notamment le cas des phénomènes radioactifs, de l'état de l'électricité de l'atmosphère, de l'ionisation et des décharges électromagnétiques.

III.2 LES TYPES DE CONFUSIONS SOUVENT RENCONTREES.

III. 2.1. La notion d'échelle.

L'importance relative des différentes causes dépendra partiellement de l'échelle qui est choisie : à quelle période et sur quelle échelle d'espace devrait être définie une étude sur les interrelations climat santé ? D'où la nécessité de réviser certaines notions fondamentales en matière de climatologie.

III.2.2 Les notions de temps, de climat et de variabilité climatique

En climatologie, les termes temps et climat sont souvent utilisés de façon interchangeable, mais ils représentent en réalité des parts différentes d'un même spectre.

Le temps représente les changements quotidiens des conditions atmosphériques.

Le climat correspond à un état moyen de l'atmosphère influant sur le sol, l'eau, l'écosystème d'une région particulière, pour une période de temps bien définie. Par exemple la normale climatique correspond à l'état moyen de l'atmosphère, symbolisé par la moyenne des différents paramètres climatiques mesurés dans une région bien définie, sur une période de trente années.

En terme plus simple, le climat est ce à quoi nous nous attendons et le temps est ce que nous vivons !

La variabilité climatique est la variation d'un ou de plusieurs paramètres climatiques autour de la moyenne climatique (normale climatique). Cela comprend les variations mensuelles, saisonnières, interannuelles des différents paramètres climatiques tels que la pluviométrie, la température, l'humidité, le vent...

Si ces différences entre le temps, le climat et la variabilité climatique ne sont pas appliquées de façon rigoureuse dans les études d'impact sur la santé, cela pourrait donner lieu à des confusions et des lacunes d'interprétation.

Les prévisions du temps s'opèrent sur plusieurs types d'échelle de temps et d'espace.

Des modèles météorologiques permettent la mise en évidence de la distribution de la pression atmosphérique, des vents, de la température, de la pluviométrie à la surface de la terre. Ces modèles à macro échelle sont appelés modèles de la circulation générale (MCG).

D'autres types de modèles, à l'échelle synoptique, décrivent des phénomènes atmosphériques évoluant de l'ordre de centaines ou de milliers de kilomètres carrés. Les attributs d'échelles synoptiques, (comme les cyclones) ont une durée variant entre quelques jours et quelques semaines.

D'autres éléments relatifs aux types de temps de tous les jours, s'opèrent à la méso échelle, qui est de l'ordre de dizaines de kilomètres carrés, et pour des périodes aussi brèves qu'une heure (pluies de convection) .

La fine échelle à laquelle on assiste à des très petits transferts de chaleur et d'humidité s'opère à la micro échelle, telle que la surface d'une simple feuille.

Le climat est typiquement défini par l'étude statistique des paramètres climatiques tels que les températures, les précipitations, les vents, l'humidité, la couverture nuageuse.

Les données des stations météorologiques correspondent à des normes standards dictées par l'Organisation Mondiale de la Météorologie (OMM). La valeur de la moyenne d'un élément météorologique pour une station donnée, calculée sur trente années est considérée comme étant la normale climatique. Les normales climatiques sont utilisées pour comparer les conditions présentes et sont réactualisées tous les dix ans.

Par exemple, la normale climatique des années 1990 était la période s'étalant de 1960 à 1990. Cela a été la base de référence de la tendance des analyses climatiques résumées dans le troisième rapport de Groupe intergouvernemental d'Etude sur le Climat (GIEC). En janvier 2002, le calcul de la normale climatique est passée à la période de 1971 à 2000.

Les climatologues se réfèrent aux normales trentenales quand il s'agit de mettre en évidence les caractéristiques d'une année donnée ou d'une suite d'années. Ils tiennent

aussi compte de la localisation des stations, des instruments utilisés, des méthodes d'observation du temps afin éviter des conclusions erronées.

En effet, la normale climatique est simplement une moyenne ; de ce fait, elle permet de définir les conditions climatiques moyennes d'une station ou d'un ensemble de stations.

Il est à noter que les moyens financiers, matériels et humains mis à la disposition des centres de recherches biométéorologiques influent énormément sur les résultats et les succès escomptés.

De nos jours grâce aux progrès technologiques et à l'avancée notable des différentes disciplines et de la science en générale, ainsi qu'aux financements, la biométéorologie a retrouvée toutes les considérations scientifiques, notamment par le biais de la rigueur de sa démarche et par l'application de ses théories qui demeurent très satisfaisantes.

CHAPITRE III : METHODOLOGIE D'ETUDE EN BIOMETEOROLOGIE HUMAINE

I. INTRODUCTION

Une investigation sur l'apparition des maladies climato-dépendantes devrait naturellement être focalisée sur les causes à court terme et à long terme des variations spatio-temporelles de la maladie.

Les chercheurs s'investissent pour comprendre les processus par lesquels le temps et le climat peuvent affecter la santé humaine et pour déterminer la localisation, l'ampleur, la période et les types d'effets de la pathologie.

Les scientifiques et les décideurs politiques sont intéressés par l'ampleur des effets potentiels des maladies et leurs distributions, notamment les régions, les populations qui pourraient être les plus affectées, les raisons, les périodes ; comment peut on réduire la vulnérabilité et comment accroître la capacité d'adaptation?

Les fluctuations saisonnières de l'occurrence des maladies infectieuses sont souvent liées à la fluctuation de certains paramètres climatiques. Cependant, pour prouver un lien causal avec le climat, les influences non climatiques doivent être considérées (Patz A. and al., 2003).

De ce fait, pour préciser l'influence du climat sur l'apparition de certaines maladies, il est indispensable de faire une étude rigoureuse des paramètres climatiques sur plusieurs années par le biais d'une investigation statistique appropriée (Burke, D. et al., 2001).

Cela est un bon atout pour mettre en évidence les relations entre la variabilité climatique à court ou à long terme et l'occurrence des maladies. Ces relations, permettront d'élaborer des modèles prédictifs sur les futures régions vulnérables à des épidémies pour des fins de contrôle et de gestion (Patz A. and al., 2003).

II. APPROCHES METHODOLOGIQUES

L'étude des relations entre la santé d'une population humaine et l'évolution de l'atmosphère dans un domaine approprié (topo-climat) comporte plusieurs étapes à savoir :

1. CHOIX D'UN CADRE D'ESPACE ET DE TEMPS

Une étude biométéorologique prend sa place dans une région géographique caractérisée par :

- Une homogénéité vis à vis des conditions météorologiques
- Une couverture parfaite des activités d'un centre médical qui fournit les données cliniques.
- Une couverture parfaite de la veille météorologique ; la météorologie nationale disposant de séries d'observations standardisées, continues, souvent depuis plusieurs décennies et couvrant une large gamme de paramètres mesurés, puis archivés en fichier informatique d'accès aisé.

2. STATISTIQUES MEDICALES

Elles consistent à évaluer :

- la variabilité du nombre quotidien de cas cliniques autour de la valeur moyenne : histogrammes (définitions de seuils de gravité clinique)
- la répartition des occurrences selon l'heure de la journée, les saisons, les types particuliers de temps ou de climat, des jours de la semaine (influences des jours fériés)

- tests d'homogénéité pour comparer des séries cliniques sur deux périodes différentes ou en des lieux voisins.
- étude comparative des taux cliniques quotidiens de plusieurs maladies (disponibilité de plusieurs fichiers médical)

3. TRAITEMENT DES DONNEES

Le traitement des données comporte en générale deux étapes :

3.1 Traitement descriptif

3.1.1 Etude par régionalisation

Analyse des cas de morbidité et de mortalité en fonction des zones climatiques en vue de classer les différentes zones de la plus morbide à la plus saine et de savoir si les maladies affectant la population s'effectuent de façon aléatoire ou si elles sont fonction du type de climat.

3.1.2 Etude suivant la structure démographique.

Pour chaque maladie, on relèvera l'âge et le sexe de tous les cas étudiés (pour les différentes années) et nous calculons le taux de morbidité par tranche d'âge de cinq années (division OMS) pour chaque sexe. Les différents taux sont repartis sous forme graphique faisant ressortir l'incidence des maladies auxquelles elles (populations) sont affectées.

3.1.3 Etude des variations saisonnières

Représentation graphique des cas de morbidité et mortalité annuelles, mensuelles, journalières, saisonnière en vue de déterminer les variations temporelles et

particulièrement les cas comportant de grands pics, de les étudier séparément dans le but de faire ressortir les saisons et les types de temps favorables à chacun d'eux.

3.2 Traitement statistique et modélisation

Les modèles de prédiction permettent d'estimer pour une région donnée, le degré de risque attendu à une période donnée.

La détection et la prévision des impacts de la variabilité climatique dépendent en grande partie de la bonne qualité des données et de l'historique de la série des données intervenant dans l'étude. Pour mieux comprendre et anticiper les conséquences de la variabilité climatique sur la santé, cela nécessite un usage de connaissances et de théories pour développer des modèles empirico statistiques et biophysiques (Ebi K. and al., 2003).

La modélisation est également fonction, d'une part, des performances statistiques des outils utilisés et, d'autre part, d'une raisonnable analyse des faits et de l'interprétation des liens entre les variables modélisées (Burke, D. et al., 2001).

Il consiste à l'établissement de corrélations (mesures des liens) entre variables prédicteurs (choix rationnel des variables explicatives / météorologiques) et prédictands (variables à expliquer / médicales)

Le plus souvent son but est de parvenir à une modélisation.

La modélisation consiste à établir une relation de cause à effet pouvant se traduire sous forme d'une équation de prévision de l'occurrence de la pathologie en fonction des facteurs du climat.

Le traitement peut se faire de deux façons :

3.2.1 Statistique univariée ou unidimensionnelle.

Elle consiste à étudier séparément l'influence individuelle de chaque variable x_i (prédicteur) sur y (prédicte)

Cette démarche permet d'isoler l'information particulière que porte chaque variable x_i au sujet de y . On peut de la sorte mettre en évidence sous tous ses multiples aspects individuels, la liaison statistique éventuelle entre chacune des variables x_i et y . L'avantage évident de cette démarche est la simplicité, la possibilité d'utiliser des méthodes graphiques, des tests précis, l'application d'outils statistiques que l'on peut contrôler par visualisation directe. Elle peut être réalisée par des moyens informatiques modestes, une calculatrice scientifique peut suffire à remplir cette fonction

3.2.2 Statistique multivariée ou multidimensionnelle.

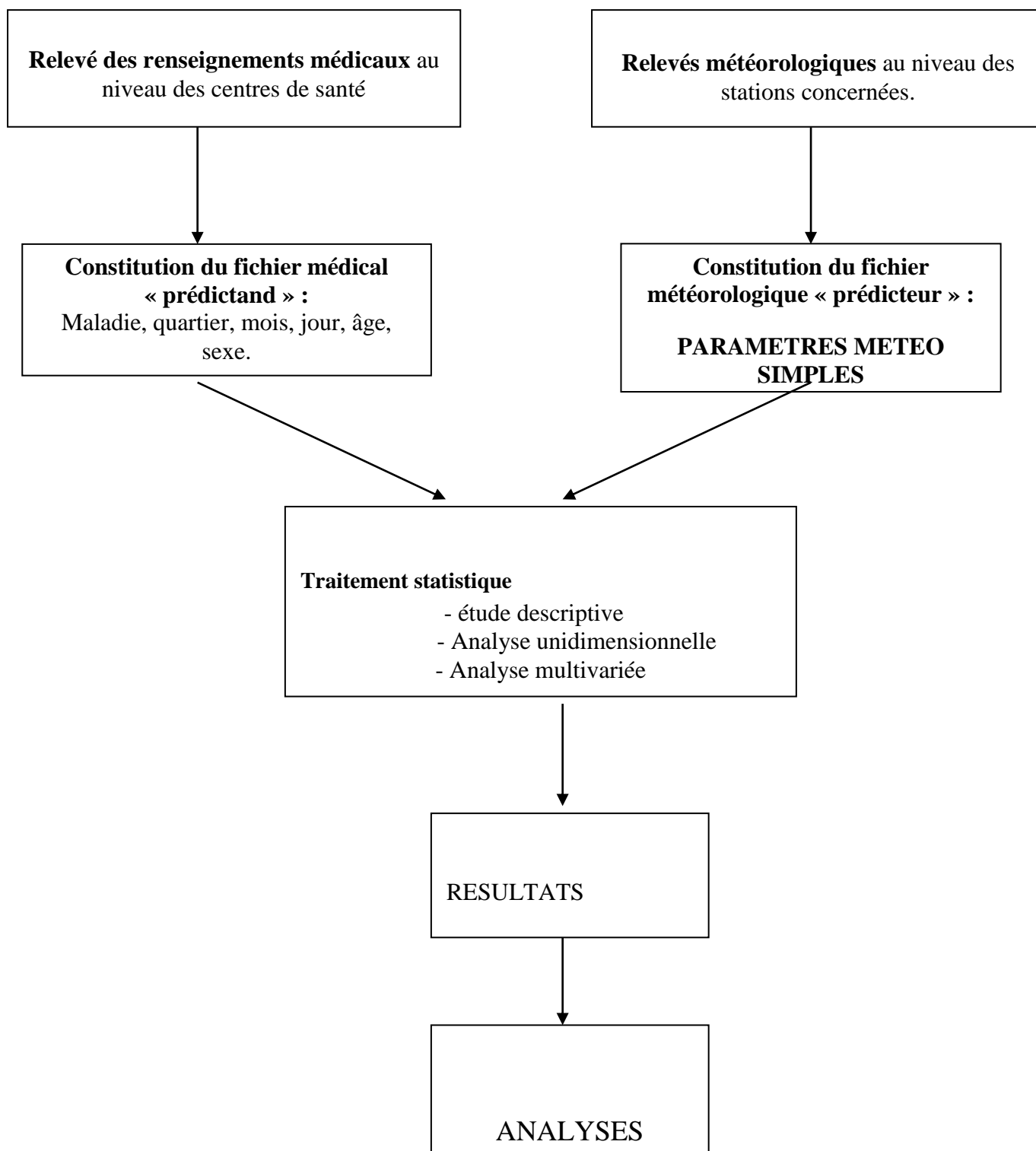
Dans ce cas les relations statistiques entre y (prédicte) et les x_i (prédicteurs) sont étudiées dans leurs interconnexions globales.

Cette approche est la plus proche de la réalité, car dans la nature, l'influence d'une variable x_i n'est jamais absolue et individuelle, mais relative et collective. L'action particulière d'une variable x_i s'inscrit dans le contexte d'une action conjuguée de toutes les variables influentes et varie en fonction de l'état des autres variables. Plutôt que de parler de l'apport individuel de x_i dans l'explication de y , on envisagera sa contribution particulière complémentaire à l'explication globale de y par l'ensemble des variables x_i . On étudie ainsi l'action conjointe d'un groupe de variable sur y compte tenu de l'influence réciproque des variables explicatives les unes sur les autres. Cette étude plus riche et plus réaliste est aussi plus complexe ; elle met en œuvre des outils statistiques plus compliqués, nécessitant des moyens informatiques importants, car la prise en charge des intercorrélations multivariées se traduisant par des opérations matricielles

non triviales telles l'inversion, la diagonalisation, le calcul de déterminants de matrices d'ordre élevé.

L'interprétation des résultats obtenus est aussi plus délicate, ; elles nécessite la collaboration étroite des spécialistes concernés : météorologistes et statisticiens qui doivent s'interroger d'une part sur la signification statistique des résultats obtenus sur un fichier particulier, et d'autre part sur la réalité physique des inter-liaisons statistiques mises en évidence, en un mot sur l'adéquation du modèle statistique et de la réalité, et éventuellement, des informaticiens pour les tâches particulières nécessitant à la maîtrise de l'outil informatique.

III. SCHEMAS GENERAL D'UNE ETUDE BIOMETEOROLOGIQUE



IV. LIMITE DE LA MODELISATION EN MATIERE DE PREDICTION DES MALADIES CLIMATODEPENDANTES.

Les valeurs prédictives des modèles sont limitées par le fait que les événements futurs peuvent différer des événements historiques, utilisés pour élaborer le modèle. En outre, le degré de vulnérabilité de la population, évolue constamment et pourrait en modifier les résultats.

Par ailleurs, les études d'impact de la variabilité climatique sur la santé sont souvent limitées par la disponibilité, la qualité et le maillage des données climatiques et épidémiologiques.

Alors que les facteurs climatiques et environnementaux (milieu physique, sols, végétation...) jouent souvent un rôle dans l'évolution de la maladie (déclenchement de la maladie), les interventions des services de la santé jouent un rôle important dans le contrôle de l'expansion de la maladie. De ce fait, dans le déclenchement et la propagation d'une épidémie, il est difficile de préciser si elle est due à une altération des conditions climatiques et environnementales ou à un échec des services d'intervention de santé. Ceci pose le problème général de la spécification des effets (ampleur, degré ou pourcentage) des facteurs climatiques sur les infections et les problèmes de santé.

Outre les analyses statistiques, plusieurs travaux devront être menés pour comprendre les mécanismes par lesquels la variabilité des paramètres environnementaux influent sur les facteurs de risques de santé.

A cela, il faudrait adjoindre les difficultés liées à la précision des mesures et à l'identification des facteurs confondants (Woodward A. and al, 2003).

En effet, la santé humaine est affectée par des facteurs sociaux, politiques, économiques, environnementaux, démographiques tels que l'urbanisation, le niveau de développement économique et la disponibilité de richesse (proportion des fonds pour la recherche,

aménagement sanitaire, surveillance et alerte précoce), les comportements humains, les conditions environnementales (qualité de l'air et de l'eau) (Scheraga K. and al., 2003).

Les incertitudes liées aux études climat santé sont de plusieurs types. Certaines proviennent des données, de la conception des modèles, des valeurs de leur paramètre clé, d'autres résultent des estimations d'ordre social, démographique, économique et humain (O'Riordan and al., 2002).

Toutefois, malgré les incertitudes et la complexité des investigations scientifiques en matière des relations environnement/climat et santé, cela ne devrait pas justifier l'inaction des décideurs politiques, des planificateurs pour endiguer la survenue d'une maladie ou d'une épidémie, prédite par des moyens scientifiques, même si elle est de faible probabilité.

V. ETUDE DE CAS SUR LA CONSTITUTION D'UNE BASE DE DONNEES CLIMAT- SANTE

Une base de données climat-santé est constituée d'une part de données météorologiques et environnementales et d'autre part de données de statistiques sanitaires de maladies climato-pathologiques (maladies sujettes aux fluctuations climatiques) ainsi que de maladies dues à des allergènes (grains de pollen, pollution atmosphérique, poussières, litho-météores) contenus dans le milieu ambiant. Ces données pourraient également servir à la détection de milieux favorables à des cures médicales.

Ces deux jeux de données doivent provenir d'une même aire géographique. C'est à dire que le milieu géographique circonscrit par les données météorologiques doit être le même (ou être représentatif) que celui des données sanitaires.

Il est également important d'adjoindre à ces données, les renseignements relatifs à la méthode de collecte, au mode d'acheminement et d'archivage des données et toutes les

informations complémentaires relatives à la période de collecte de ces données (campagnes de vaccination, flux migratoires, événements sociaux tels que famine, guerre, catastrophes naturelles...).

Au cas où cela est possible, adjoindre des informations démographiques de la localité concernée (total population, total hommes, total femmes, taux de croissance annuel...).

CHAPITRE IV : ETUDES DES INTERACTIONS ENTRE LE TEMPS, LE CLIMAT, L'ENVIRONNEMENT ET LA SANTE HUMAINE

I. CLASSIFICATIONS DES MALADIES INFECTIEUSES.

Plusieurs schémas permettent aux spécialistes de classifier les maladies infectieuses.

Pour les cliniciens, souvent concernés par le traitement des patients infectés, la manifestation clinique des maladies est de première importance.

Les microbiologistes, eux, tentent de classifier les maladies infectieuses par des caractéristiques microbiologiques, des virus ou des bactéries, allant de la présomption d'identité à l'épidémiologie moléculaire.

Pour tous, deux caractéristiques de première importance sont le mode de transmission de l'agent pathogène et son réservoir naturel dans le but de pouvoir contrôler l'apparition de la maladie et la prévention des futures épidémies.

Suivant le mode de transmission des maladies, on distingue : celles se transmettant directement de personne à personne à travers un contact direct ou par ingestion de gouttelettes de salive, et celles se transmettant indirectement à travers un vecteur (moustique, mouche) ou un véhicule physique non – biologique (sol, eau, air).

Suivant les réservoirs naturels de l'agent pathogène responsable des maladies infectieuses, on distingue celles dites anthroponoses à réservoir humain, zoonoses à réservoir animal ou anthropozoonoses à réservoirs mixtes.

II. ANALYSES DES INFLUENCES DU TEMPS, DU CLIMAT, DE L'ENVIRONNEMENT SUR LA SANTE HUMAINE.

II. 1. LES TYPES D'INFLUENCES DENOMBRABLES

L'influence de la qualité de l'environnement physique, chimique et biologique sur la santé est une réalité qui s'impose à tous (AFSSET, 2008). En effet, les changements des conditions moyennes du climat et la variation de certains paramètres climatiques peuvent affecter la santé humaine par différents canaux, notamment, en induisant des processus biologiques et écologiques qui peuvent influencer la transmission des maladies infectieuses, mais aussi l'alimentation, ou l'équilibre physique et psychologique.

Cela s'explique par le fait que d'une façon générale, l'apparition et la transmission des maladies sont influencées de façon complexes par des facteurs du milieu physique (la température locale, l'hygrométrie, le régime des précipitations, l'altitude, la densité des végétaux, la composition et l'espacement des espèces d'arbres, la structure des sols, les modes de culture) biologique (immunité, sensibilité) et humaine (l'alimentation, la mobilité, le comportement).

L'étude des interrelations environnement/climat et santé, permettent de mettre en évidence les facteurs exogènes favorables à l'apparition des maladies ainsi que les raisons de leurs localisations spatiales et temporelles, et à l'élaboration de modèles permettant de prédire les incidences des maladies.

Les effets du climat sur la santé peuvent être repartis à trois niveaux :

- ❖ ceux qui ont une relation directe et qui sont facilement prévisibles (forte chaleur, froid intense, inondations)
- ❖ ceux dont les effets sont consécutifs à des changements environnementaux (dengue, malaria, onchocercose, schistosomiase)

- ❖ ceux qui en entraînant la dégradation et l'appauvrissement des écosystèmes et des zones agricoles ont contribué à la paupérisation et à la fragilisation des populations (sous nutrition, troubles psychologiques, conflits...)

Les variations à court terme des conditions climatiques et les événements météorologiques extrêmes (inondations, sécheresse, cyclones...) peuvent exercer des effets directs en engendrant une mortalité particulière, des blessures physiques, une altération de la santé mentale...

Les changements des conditions moyennes du climat peuvent aussi affecter la santé humaine à travers différents processus, notamment ceux biologiques et écologiques qui peuvent influencer la transmission des maladies infectieuses et l'alimentation (Patz A. and al., 2003).

Par ailleurs, soulignons que la vitesse de diffusion et la proportion des diverses maladies infectieuses, nouvelles et anciennes, reflètent l'impact démographique, environnemental, technologique et autres changements rapides sur l'écologie humaine (Patz A. and al., 2003).

II.2. LES EFFETS DIRECTS DU TEMPS ET DU CLIMAT SUR LA SANTE

Les effets directs du climat sur la santé comprennent ceux dus à l'exposition aux extrêmes de températures (vagues de chaleur, froid hivernal), les phénomènes météorologiques extrêmes (inondations, cyclones, tempêtes, sécheresses) et l'augmentation croissante de la pollution et des allergènes (spores et moisissures).

Les effets directs proviennent de l'action des pics de chaleur ou de froid (vague de chaleur ou de froid) qui ont un impact sur la santé, notamment la mortalité des populations et la survenue des maladies cardio-vasculaires notamment chez les personnes âgées.

On pourrait aussi noter des inondations qui peuvent causer entre autres les maladies hydriques, les noyades, les blessures, les maladies respiratoires, les chocs hypothermiques et les arrêts cardiaques dûs au contact avec l'eau .

En outre, figure les effets de l'altitude, le rayonnement solaire, les orages et les vents.

La chaleur peut provoquer une déshydratation, un coup de chaleur, grave et parfois mortel chez le nourrisson, les personnes âgées ou vulnérables ainsi que des syncopes, des crampes, des éruptions cutanées.

Le froid est responsable d'accidents locaux (gelures) ou généraux (hypothermie généralisée dont une forme est la mort blanche des montagnards).

L'altitude est caractérisée du point de vue physique par la dépression atmosphérique et la raréfaction de l'oxygène. Aux hautes altitudes atteintes par les aviateurs, les accidents sont de caractère particulier (barotraumatisme); mais aux altitudes fréquentées par les montagnards et par les habitants des Andes ou de l'Himalaya, c'est la raréfaction de l'oxygène qui joue le rôle pathologique: les sujets ne s'acclimatent pas, ou se désacclimatent et souffrent du mal des montagnes.

Le rayonnement solaire est, par l'infrarouge, responsable de l'insolation, et par le rayonnement ultraviolet de brûlures cutanées (lucites), oculaires (ophtalmie des neiges), de sensibilisations et d'allergies.

Certains vents provoquent des malaises bien connus: le vent du Midi, le sirocco, le vent d'autan. On connaît aussi l'effet dépressif du foehn, les migraines et les insomnies dues mistral.

Le grand vent, les variations brusques de pression atmosphérique, sont préjudiciables aux cardiaques; l'hiver aggrave les manifestations ulcéreuses et les douleurs rhumatismales.

Quant aux orages, ils s'annoncent, chez certains sujets sensibles, par de l'angoisse, de l'agitation et parfois des convulsions.

On sait que les maladies sont quelquefois sensibles aux variations météorologiques: l'asthme, la tuberculose, les maladies pulmonaires aiguës.

Les maladies mentales, elles, sont en recrudescence au printemps, de même que le nombre des suicides. La mort elle-même semble suivre un rythme particulier, en rapport avec les périodes de forte activité solaire, survenant plus fréquemment en hiver, aux premières heures du matin.

II.3 CAS D'ETUDE : LES INDICES BIOCLIMATOLOGIQUES : FICHER PPT.

II.4. LES EFFECTS INDIRECTS DU TEMPS ET DU CLIMAT SUR LA SANTE

Les changements des conditions moyennes du climat et la variation de certains paramètres climatiques peuvent affecter la santé humaine par différents canaux, notamment, en induisant des processus biologiques et écologiques qui peuvent influencer la transmission des maladies infectieuses, mais aussi l'alimentation, ou l'équilibre physique et psychologique.

Cela s'explique par le fait que d'une façon générale, l'apparition et la transmission des maladies sont influencées de façon complexes par des facteurs du milieu physique (la température locale, l'hygrométrie, le régime des précipitations, l'altitude, la densité des végétaux, la composition et l'espacement des espèces d'arbres, la structure des sols, les modes de culture) biologique (immunité, sensibilité) et humaine (l'alimentation, la mobilité, le comportement).

L'étude des interrelations environnement/climat et santé, permettent de mettre en évidence les facteurs exogènes favorables à l'apparition des maladies ainsi que les raisons de leurs localisations spatiales et temporelles, et à l'élaboration de modèles permettant de prédire les incidences des maladies.

Les effets indirects concernent les changements dans la qualité de l'air, la qualité et la quantité des aliments y compris l'eau et leurs effets sur la santé humaine.

L'effet du climat sur les maladies infectieuses, est essentiellement déterminé par le cycle de transmission.

II.5 L'INFLUENCE DU TEMPS ET DU CLIMAT SUR LES AGENTS INFECTIEUX

Les deux types d'agents infectieux (bactéries, virus) et les vecteurs associés (moustiques, mouches) sont de très petites dimensions et doivent leur survie à des mécanismes thermodynamiques.

En effet, leur température et les fluides qu'ils contiennent sont directement influencés par le climat local. De ce fait, il y a une tranche limitée de conditions climatiques – l'enveloppe climatique – dans laquelle chaque agent infectieux ou l'espèce de vecteur peut vivre et se reproduire. Il faut noter que le temps d'incubation d'un agent infectieux dans l'organisme d'un vecteur est très sensible aux changements de température, habituellement présentés sous forme d'une relation exponentielle. A cela, soulignons que l'agent, le vecteur ou l'hôte intervenant dans la transmission des maladies infectieuses est sensible à des facteurs climatiques tels que les précipitations, l'humidité, l'altitude, le vent, la durée d'insolation...

Au Bangladesh, les épidémies de choléra surviennent en saison de mousson marquée, par des pluies abondantes, l'humidité de l'air et des températures élevées. (Colwell R., and al, 1996)

Au Pérou, les infections de cyclosporine connaissent des pics en été et décroissent en hiver. (Madico G., et al, 1997)

En Ecosse, les infections dues à la campylobactérie sont caractérisées par de faibles pics au printemps. (Colwell R., and al, 1998)

De même, certaines maladies vectorielles comme la malaria et la dengue, comportent une composante saisonnière particulière, marquée par de fortes transmissions pendant la saison des pluies.

En revanche, les épidémies de Méningite Cérébro-Spinale (MCS), surviennent pendant la saison sèche et chaude et s'achèvent dès le commencement de la saison des pluies en Afrique sub-saharienne. (Moore P., 1992)

En outre, la transmission de plusieurs maladies infectieuses (méningite, choléra ...) est favorisée non seulement par les conditions climatiques et les types de temps mais aussi amplifiée par l'état des écosystèmes, l'état sanitaire et socio-économique des populations (malnutrition), et la mobilité des populations (migrations, transhumances...)

A long terme, la transmission des maladies favorisée par les conditions climatiques serait de grande ampleur (McMichael A. and al., 2001; Epstein, P., 1999).

II.6 CAS D'ETUDE : LES INTERRELATIONS ENVIRONNEMENT – CLIMAT ET SANTE EN AFRIQUE SAHELIENNE

Dans ces pays sahéliens, les caractéristiques climatiques et environnementales font que généralement en période pluvieuse, nous assistons à une recrudescence des pathologies liées à l'eau telles que le choléra, le paludisme, la leishmaniose, les filarioses, les schistosomiasis etc.

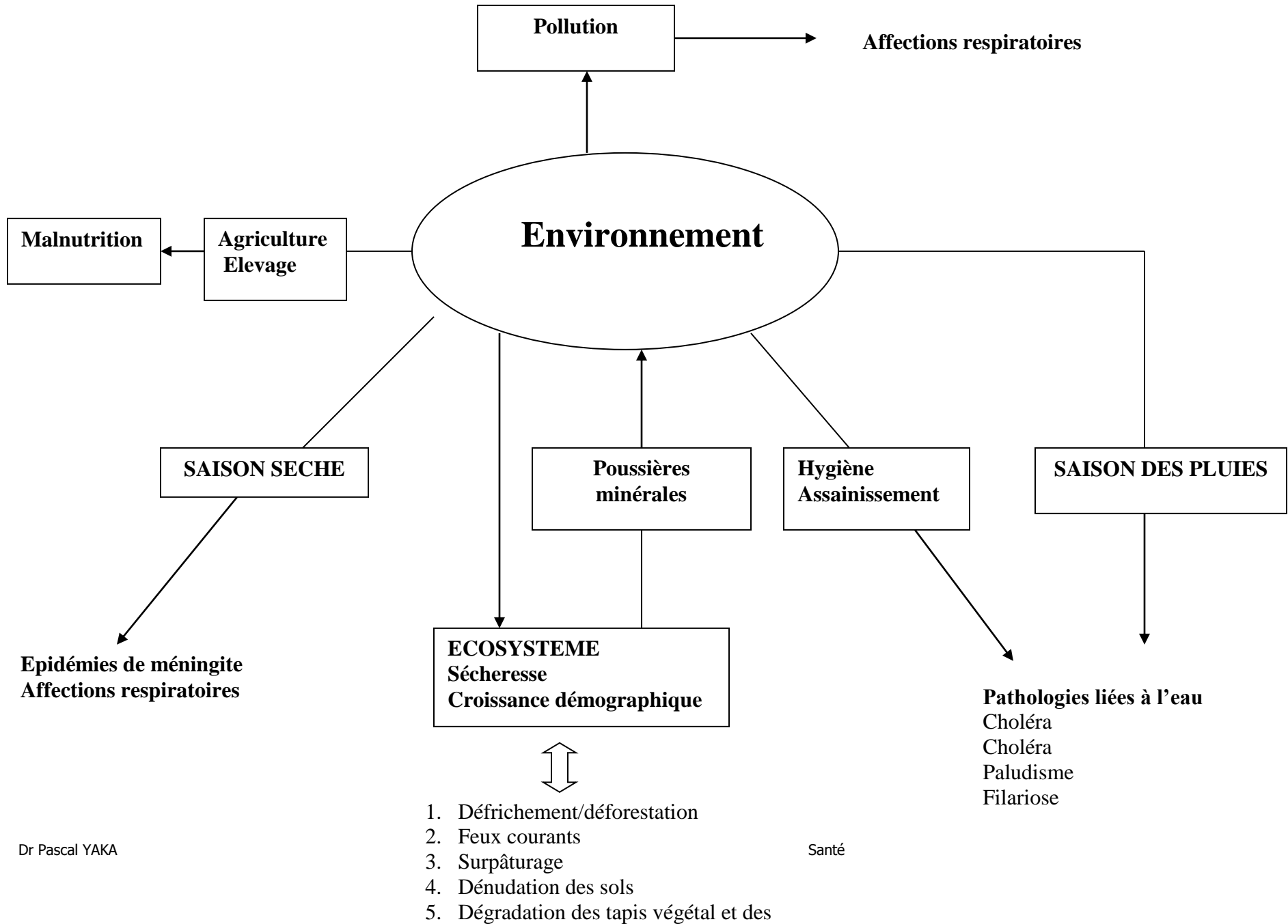
En période sèche, le couvert végétal existant à la fin de la saison des pluies se dégrade au fur et à mesure que la saison sèche s'installe. L'état du couvert végétal en fin de saison des pluies est donc déterminant sur l'état de surface des sols au cours de la saison sèche et de leur vulnérabilité à être dénudés.

Cette dégradation des sols les rend propices à libérer des particules de différentes dimensions qui seront mobilisées par le vent (l'harmattan). Celles-ci entraînant un fort taux de la pollution de l'air, des irritations des muqueuses rhinopharyngées favorables aux maladies respiratoires en général et particulièrement aux épidémies de méningite, rougeole, tuberculose, bronchite.

En outre, le milieu climatique et environnemental de ces pays, par la prépondérance de la pollution aigue de l'air (poussière minérale combinée à divers polluants d'origine chimique d'ordre gazeux, liquide ou solide) est également favorable à des pathologies et malaises dues à des allergènes (asthme, crises drépanocytaires, cataractes, etc.).

Par ailleurs, soulignons que la démographie galopante, associée aux pratiques dégradantes de l'environnement (feux de brousse, surpâturage, dénudations des sols...) fragilisent les écosystèmes dont la dégradation accentue la vulnérabilité liée aux maladies climato-sensibles (figure suivante).

Figure 1 : Schémas des Relations Environnement-Climat et Santé



II.6.1 LES MALADIES CLIMATO-DEPENDANTES

Les maladies tropicales d'ordre climato-dépendantes, rencontrées fréquemment en Afrique sont entre autres :

- ✓ Infections respiratoires
- ✓ Méningite
- ✓ Paludisme
- ✓ Rougeole
- ✓ Diarrhée
- ✓ Cécité des rivières (onchocercose)
- ✓ Leishmaniose
- ✓ Filariose
- ✓ Ver de guinée
- ✓ Asthme
- ✓ Tuberculose
- ✓ Bronchite
- ✓ Choléra
- ✓ Cataractes
- ✓ Drépanocytose
- ✓ Fièvre de la vallée du rift
- ✓ Dengue

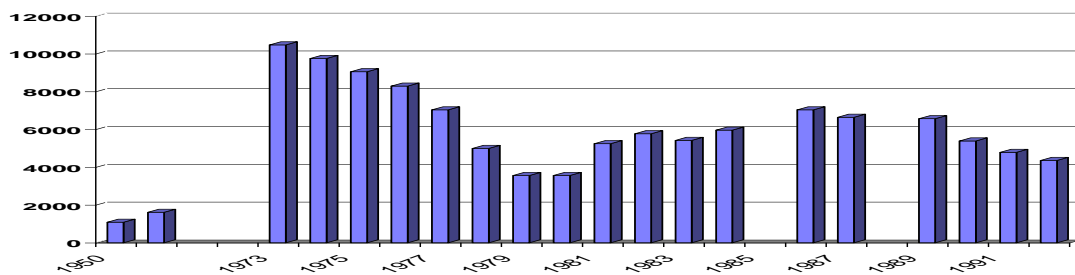
II.6.2. DES RELATIONS ENTRE VARIABILITE CLIMATIQUE / ENVIRONNEMENTALE ET PALUDISME AU BURKINA FASO.

Une étude menée par YAKA et al. (1997), à partir de données de morbidité et de mortalité de paludisme à l'échelle nationale composées de totaux annuels de 1973 à 1992, de totaux mensuels cumulés de 1979 à 1989 et de totaux régionaux de 1973 à 1992 avec pour données manquantes, l'année 1985, a abouti à un certain nombre d'analyses et de conclusions.

De cette étude, on remarque que la répartition temporelle des cas de paludisme confirme le caractère endémique de cette maladie au Burkina Faso,

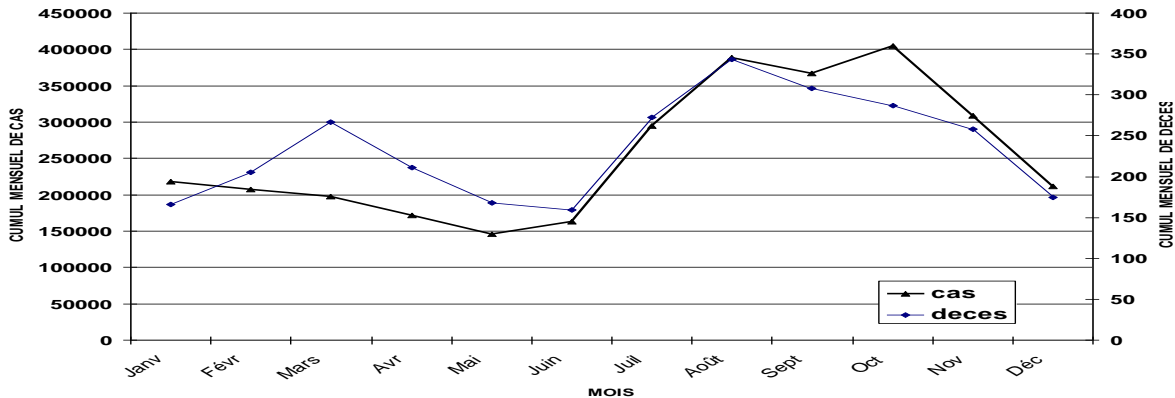
bien qu'on assiste à une baisse progressive de la morbidité depuis 1973. Il est à noter qu'on remarque également une coïncidence entre les années de fortes incidences avec les années de forte sécheresse (1974, 1975, 1976) et de même, une coïncidence entre les années de faibles incidences avec les années de moyenne ou de forte pluviométrie (1950, 1951, 1979, 1980). De ce fait, cette remarque si elle se confirme avec une série de données plus longue, le régime des précipitations (prévision saisonnière en occurrence) pourrait donc servir à titre de prévision saisonnière de la tendance de l'incidence du paludisme au Burkina Faso.

Cas annuels de paludisme (pour 100000 hbts) au Burkina Faso de 1973 à 1992 (+ 1950 et 1951).



L'étude révèle que la répartition mensuelle montre que les maxima de cas sont recensés durant la brève saison de pluie (Juillet à Octobre), alors que les minima de cas sont enregistrés pendant la saison sèche avec les plus basses valeurs durant la période chaude (Mars, Avril, Mai) de cette même saison. Ce qui met en évidence l'influence de la pluviométrie, l'hygrométrie et la température dans cette répartition.

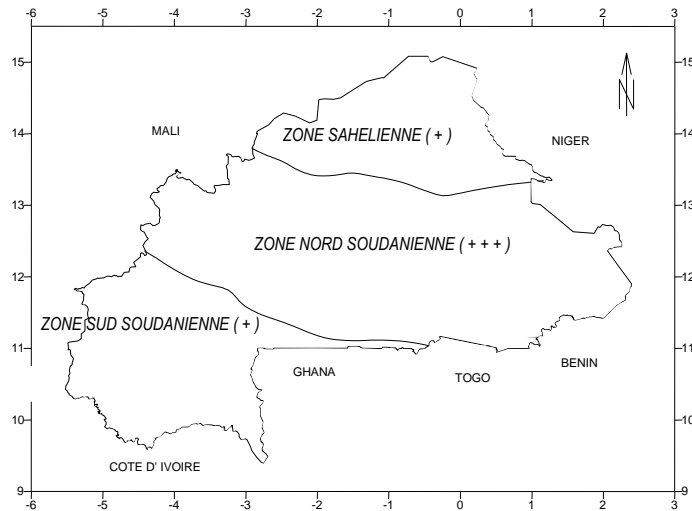
Rythme mensuel des cas de Paludisme au Burkina Faso.



L'analyse régionale issue de cette étude indique que le paludisme sévit beaucoup plus dans la zone sahélo-soudanienne (Ouaga, Koudougou, Fada, Yako, Ouahigouya, Tenkodogo) aux caractéristiques climatiques propices à la reproduction des anophèles et au développement des parasites (pluviométrie plus élevée, existence de cours d'eau et de végétation plus abondants, plus fort degré hygrométrique et amplitudes thermiques plus faibles), contrairement à la zone sahélienne où l'on dénombre peu de cas. Quant à la zone Soudanienne où l'on dénombre une basse morbidité malgré les conditions météorologiques beaucoup plus favorables aux anophèles et aux parasites, cela nécessite une réflexion et une étude plus approfondies incluant d'autres paramètres et d'autres secteurs de recherches (social, état immunologique, services de santé, validité de l'information) dans le but de rechercher les causes de ce paradoxe.

Répartition Spatiale de l'ampleur des cas de paludisme en fonction des zones climatiques au Burkina Faso.

Faso.



Cette étude suscite une réflexion suite à l'analyse des cas mensuels de paludisme. En effet, on note une mortalité assez élevée, constatée en période chaude alors que la morbidité est à sa plus basse valeur et que les conditions climatiques sont défavorables aux anophèles.

Peut-on attribuer ce pic de mortalité au degré de précision du diagnostic médical, à l'inefficacité du traitement ou à une défaillance de la résistance de l'organisme des paludéens à cette période climatique particulière ? (forte chaleur et forte sécheresse atmosphérique).

Ces interrogations pourraient faire l'objet d'une étude biométéorologique sur le confort.

II.6.3 RELATIONS ENVIRONNEMENT – CLIMAT ET MENINGITE CEREBRO-SIPINALE AU BURKINA FASO.

Chaque année, des pays de la zone climatique sahélo-soudanienne de l’Afrique de l’ouest sont affectés par des épidémies de Méningite Cérébro-spinale (MCS). Bien que la recrudescence saisonnière de la maladie dans les pays dits de la « ceinture de la MCS » survient généralement en période d’harmattan et demeure en étroite liaison avec la variation des saisons, les mécanismes responsables de cette distribution spatio-temporelle de la maladie ne sont pas encore bien identifiés. Cela est particulièrement vrai en ce qui concerne la liaison entre les intensités annuelles des épidémies de MCS et la variation saisonnière de paramètres climatiques (Sultan 2004).

Yaka et al. (2008), prenant en compte cette problématique, ont montré que les épidémies de méningite cérébro-spinale au Burkina Faso, tant au niveau national que local, surviennent en une période particulière de l’année, notamment durant les mois de janvier à mai, marquée par un climat sec et chaud (harmattan) ainsi que de la brume sèche (poussière).

Dans leur approche, ils ont identifié des variables climatiques in situ et satellitaires, dont la variation saisonnière est prépondérante dans la recrudescence saisonnière des cas de MCS. Ce sont notamment la hausse saisonnière des températures sous abri, de l’évaporation, de la vitesse du vent, de la brume sèche et la baisse saisonnière de l’humidité, de la tension de vapeur, de la pluviométrie et de l’Indice de Différence Normalisée de la Végétation (NDVI).

Ils ont pu mesurer statistiquement, les liens existant entre la variation saisonnière de ces paramètres climatiques et environnementaux avec la recrudescence saisonnière des cas de méningite cérébro-spinale donnant lieu assez souvent à des épidémies surpassant les capacités de gestion des centres de santé.

De ces analyses statistiques, il leur a été possible d'élaborer des modèles de prédiction d'occurrence saisonnière des épidémies de méningite cérébro-spinale au Burkina Faso, à différentes échelles spatio-temporelles.

II.6.3.1. De la prédiction des épidémies de méningite cérébro-spinale au Burkina Faso à l'aide de paramètres climatiques satellitaires (Reanalyses NCEP).

Au plan environnemental, les données utilisées sont celles des reanalyses du Centre National de Prédiction Environnementales (NCEP) des Etats-Unis d'Amérique (USA) de 1969 à 2005. Les données épidémiologiques proviennent de la base de données électronique de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) de 1965 à 2005.

Une analyse composite des vents au Burkina Faso menée par Yaka et al. (2008) met en évidence un renforcement des vents d'harmattan en octobre en cohérence avec la recrudescence saisonnière des cas de MCS. Etant donné que les corrélations entre les paramètres climatiques et l'incidence de la MCS sont en cohérence avec les facteurs à l'origine de la maladie, ils ont sélectionné des prédicteurs climatiques qui pourraient aider à prédire l'incidence de la maladie au Burkina Faso. Ils ont sélectionné un groupe de prédicteurs parmi les variables climatiques montrant des liens assez évidents avec les incidences annuelles de MCS. Ces prédicteurs ont été utilisés pour construire une régression multivariée pas à pas dans le but de prédire l'incidence annuelle de MCS au Burkina Faso. Parmi les paramètres climatiques étudiés au Burkina Faso (pression au niveau de la mer, composante zonale du vent, composante méridionale du vent, module du vent, humidité relative, humidité spécifique, température de l'air), ils ont retenu la composante méridionale du vent des mois de octobre. Ces analyses ont permis d'élaborer un modèle significatif de prédiction d'occurrence de cas annuels de méningite cérébro-spinale survenus dans ce pays de 1969 à 2005.

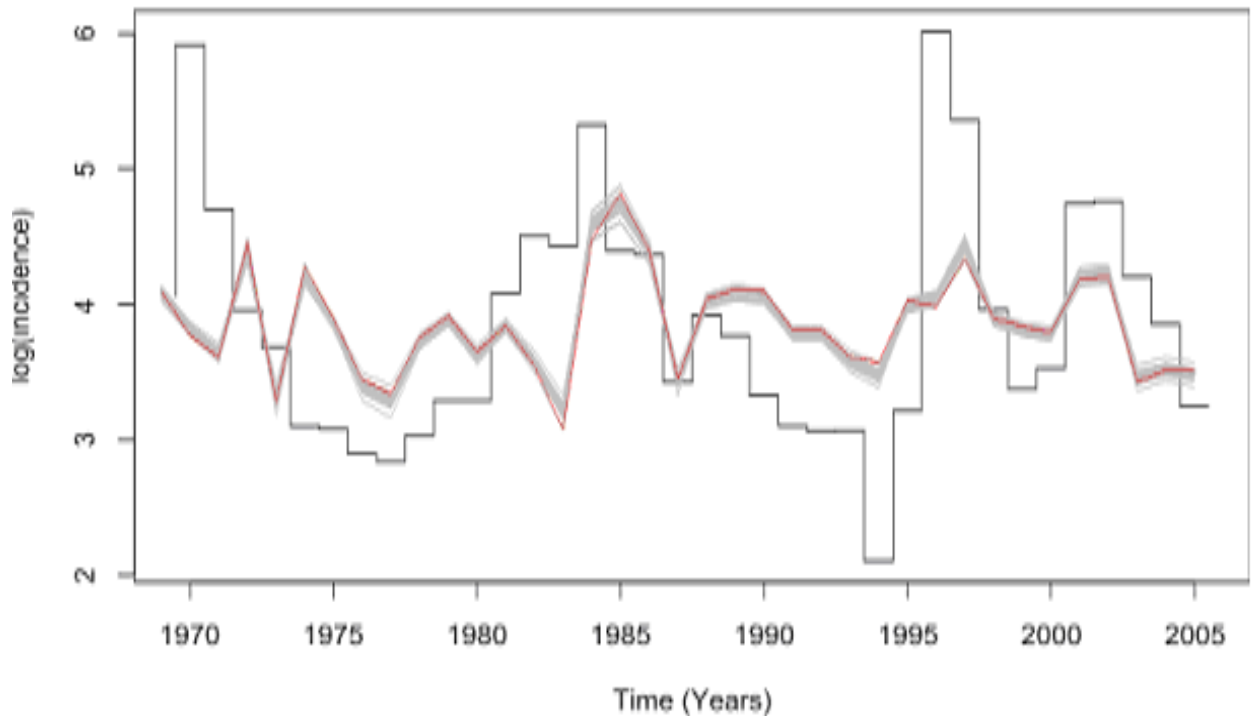


Figure . Prédiction d'occurrence d'épidémie de méningite cérébro-spinale au Burkina Faso. En ligne de couleur noire, les logarithmes népériens des incidences de MCS observées de 1969 à 2005. En ligne de couleur rouge, les prédictions des logarithmes népériens des incidences de MCS de 1969 à 2005 faites après cross validation. En ligne de couleur sombre, les différentes possibilités obtenues par cross validation.

Les valeurs des corrélations entre les séries de données observées et prédites de MCS sont très significatives ($R = 0,42$). La robustesse du modèle peut être attestée par le calcul de cross-validation qui permet d'avoir des estimations. Ils mirent en évidence le fait que la variabilité décennale de la maladie est bien confirmée par le modèle, de même que plusieurs valeurs d'incidence élevée comme celles des années 1992, 1985 et 1997, 2002. Ils firent la remarque que le modèle ne prédit pas bien certaines fortes épidémies comme celle des années 1970 et 1986. Le coefficient de cross-validation est de 0,35.

II.6.3.2. la prédiction des épidémies de méningite cérébro-spinale (MCS) au Burkina Faso à l'aide de paramètres climatiques *in situ*

Outre l'espace géographique national, Yaka et al. (2008, 2009), se sont intéressés à étudier ce qui se passe à une échelle spatiale plus réduite, notamment au niveau des districts sanitaires et des petites unités de soin (Centre de Santé et de Promotion Sociale). Les diverses données climatiques utilisées dans leur approche proviennent des stations météorologiques synoptiques de la Direction de la Météorologie du Burkina Faso. Les données épidémiologiques proviennent de la Direction de la Lutte contre la Maladie (DLM) du ministère de la santé du Burkina Faso.

Mettant l'accent sur la prévision de la période de très forte transmission, ils ont veillé à cumuler pour chaque année, les incidences de MCS des mois de février, mars et avril (FMA), mois hautement épidémiques, représentant environ 80 % des cas annuels de MCS. Cette série de données, formée du cumul des incidences de MCS de ces mois, représente le Prédicand.

En ce qui concerne les paramètres climatiques, ils ont synthétisé sous forme de séries combinant l'effet du climat de 3 mois successifs précédant la période de très forte transmission des mois de février, mars et avril. Ces données climatiques sont essentiellement des températures minimales et maximales, de l'humidité minimale et maximale, de la vitesse de vent, de l'occurrence de poussière, de la tension de vapeur, de l'évaporation sur bac A et de la pluviométrie. Ces données climatiques suivant leur nature sont moyennées ou cumulées sur la période de septembre octobre novembre (SON), octobre novembre décembre (OND) et novembre décembre janvier (NDJ), représentant les prédicteurs.

Les coefficients de corrélations croisées ont été mesurés entre chaque paramètre climatique cumulé ou moyenné (SON, OND, NDJ) et les incidences cumulées de MCS des mois de février mars avril (FMA) de telle sorte qu'une période de recul trois mois en utilisant les paramètres climatiques de SON, de deux mois en

utilisant les paramètres climatiques de OND et d'un mois en utilisant les paramètres climatiques de NDJ pour la prédiction des incidences cumulées de MCS des mois de février mars avril (FMA). Ces données ont été analysées comme une série continue de 1997 à 2004, soit 8 années x 01 trimestre = 08 valeurs trimestrielles d'incidences cumulées de MCS. Les variables les plus significatives et non auto-corrélées, sont utilisées pour élaborer des modèles de prédiction par le biais de régressions linéaires univariées ou multivariées.

Certaines liaisons sont si fortes et très significatives qu'elles ont permis d'élaborer des modèles de prédiction d'occurrence des cas élevés de méningite cérébro-spinale survenant en février, mars et avril dans certains districts sanitaires.

Equation de Régression	Eléments de la série	R multiple	R2	F - ratio	P
$MCS_Dori = 0,87 * Op_Dori_OND$	9	0.87	0.76	21.9	0.002
$MCS_Fada = -0,76 * Vt_Fada_OND$	9	0.76	0.58	9.62	0.017
$MCS_Po = -0,644 * Tv_Fada_SON$	9	0.65	0.42	4.95	0.06
$MCS_Po = 0,642 * Vt_Po_OND$	9	0.65	0.42	4.91	0.06
$MCS_Ouaga = 0.698 * Op_Ouaga_OND$	9	0.698	0.49	6.642	0.03

Tableau . Récapitulatifs des modèles de prédiction d'occurrence de cas (incidences) de méningite cérébro-spinale durant les mois de février mars avril (FMA) en fonction des moyennes ou cumul des paramètres climatiques (Op = Occurrence de poussière ; Vt = Vitesse de vent ; Tv = Tension de vapeur) de septembre octobre novembre (SON), octobre novembre décembre (OND), novembre décembre janvier (NDJ) dans les différents districts sanitaires du Burkina Faso

Dans l'analyse des résultats obtenus, Yaka et al. (2008) remarquèrent que pour l'ensemble des districts sanitaires du Burkina Faso, les coefficients de corrélation sont assez élevés et significatifs, entre les variables épidémiologiques et climatiques. Ils notèrent qu'à l'intérieur d'une même zone climatique, les variables les mieux corrélées avec la variabilité saisonnière de la MCS peuvent varier d'un district sanitaire à un autre. Ce qui pourrait mettre en évidence, le

rôle non négligeable des éléments macro et/ou microclimatiques sur la transmission locale de la MCS. Par ailleurs, ils soulignèrent que la covariation entre une même variable climatique à différentes périodes de temps (SON, OND, NDJ) et les cas cumulés de MCS (FMA) peut être variable. D'où le rôle majeur des échelles spatiales et temporelles dans la transmission et la variabilité des cas de la MCS. Ils montrèrent également que l'influence du climat, notamment des variables telles que la température, l'humidité, la brume sèche sur le profil saisonniers de cas de méningite cérébro-spinale demeure très significative même au niveau des petites unités de soins, et pourraient toujours servir d'éléments d'information de grande importance pour la surveillance et le contrôle des épidémies.

II.6.3.3. De la prédiction des épidémies de méningite cérébro – spinale au Burkina Faso à l'aide de paramètres environnementaux

Dans leur approche, Yaka et al. (2008) utilisèrent un indice caractéristique de l'état du couvert végétal (NDVI) à la fin de la saison des pluies (une des décades du mois d'octobre) pour analyser sa variabilité, son influence, le forçage éventuel qu'il pourrait induire sur la variabilité saisonnière de l'épidémie de méningite cérébro-spinale de l'année suivante.

En plus, ils s'appliquèrent aussi à en évaluer sa valeur prédictive pour déterminer s'il est susceptible d'être utilisé dans l'élaboration de modèle de prédiction de la variabilité interannuelle des épidémies de méningite cérébro-spinale.

Suivant la qualité et la disponibilité des données NDVI en fin de saison de pluie, (c'est-à-dire celles du mois d'octobre) les données de format LAC (*Local Area Coverage*, de résolution d'environ 1 km) de la première décade 1990 à 2003 et celles de format GAC (*Gocal Area Coverage* de résolution d'environ 7 km) de l'année 1983 à 2000 de la troisième décade du mois d'octobre ont été retenues.

Les données épidémiologiques de cas annuels de méningite cérébro-spinale du Burkina Faso ont été moyennées en cas annuels pour 100 000 habitants (incidence annuelle). Ces données d'incidence annuelle de la MCS ont été standardisées sur la période de temps correspondant à celle des données disponibles pour chaque format de données NDVI (NDVI format LAC de 1990 à 2003 ou GAC de 1983 à 2000). Les données standardisées des différents formats de NDVI de mois d'octobre de l'année j associée avec les données épidémiologiques de cas de méningite cérébro-spinale pour 100 000 habitants (données d'incidences) de l'année suivante, c'est-à-dire $j + 1$.

Ces données associées, calculées sous forme d'anomalies, ont été représentées graphiquement, puis traitées statistiquement pour dégager leur degré de corrélation éventuelle afin d'élaborer, si possible, des modèles de prédiction d'occurrence annuelle de cas de méningite cérébro-spinale (considéré comme prédictand), suivant l'état de couverture végétale en fin de saison des pluies (NDVI de la première décade du mois d'octobre pour les données NDVI de format LAC : NDVI_LAC_oct_01 et de la troisième décade du mois d'octobre pour les données NDVI de format : GAC_NDVI_GAC_oct_03 ; celles-ci étant les prédicteurs).

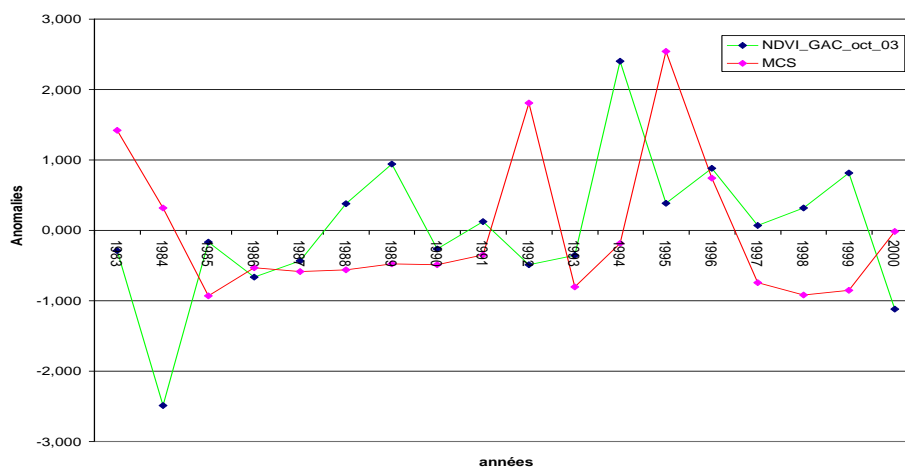


Figure . *Courbe représentative des anomalies des NDVI de la troisième décade d'octobre (GAC) et de celles des incidences annuelles de méningite cérébro-spinale au Burkina Faso*

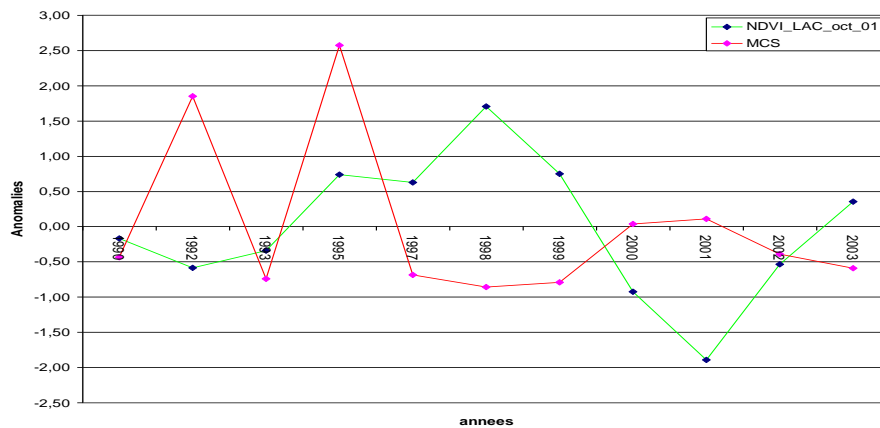


Figure . Courbe représentative des anomalies des NDVI de la première décade d'octobre (LAC) et de celles des incidences annuelles de méningite cérébro-spinale au Burkina Faso

Dans l'ensemble, ils mirent en évidence une évolution inverse entre l'évolution du couvert végétal en fin de saison des pluies et l'incidence annuelle de la méningite l'année suivante. Lorsque les valeurs de NDVI sont basses en fin de saison des pluies, on note dans l'ensemble une valeur élevée de la proportion des cas de méningite l'année suivante et inversement. Cet élément suggère une relation entre les deux paramètres. Toutefois, on remarque que les très faibles valeurs de NDVI ne sont pas nécessairement accompagnées de très fortes valeurs de cas de méningite cérébro-spinale l'année suivante. En outre, la variabilité des deux paramètres au fil des années est faible. Les calculs statistiques ne montrent pas une liaison significative.

Ils conclurent qu'il n'y a pas *a priori* de relation étroite entre l'état de couvert végétal en fin de saison des pluies et l'ampleur des épidémies de méningite des années suivantes. Cette limite fait que malgré la relation existante, il n'a pas été possible, statistiquement et de façon significative, d'élaborer un modèle de prévision d'occurrence d'épidémies de méningite cérébro-spinale, en fonction de l'état du couvert végétal en fin de saison de pluie. Toutefois, ils soulignèrent le fait qu'il n'est exclu qu'une fin de saison de pluie à couvert végétale particulièrement faible puisse accroître le risque de transmission de méningite l'année à venir sans toutefois jouer sur l'ampleur de l'épidémie.

Selon les auteurs, une des limites liées à l'usage du NDVI est que la brume sèche que l'on observe parfois simultanément sur le Niger, le Burkina, le Mali, le nord Togo n'a pas pour origine uniquement le Sahel et la zone soudanienne, mais également les zones sud-sahariennes où le tapis végétal est naturellement très discontinu et où les cultures sous pluie sont impossibles.

Ils auraient souhaité disposer de données sur l'état de surface des sols du Burkina Faso en fin de saison des pluies pour approfondir leurs analyses. En effet, l'évaluation du NDVI pourrait être perturbée par l'état de l'atmosphère au moment de l'enregistrement (nébulosité, brume sèche, vapeur d'eau). Par ailleurs, ils soulignent le fait que c'est l'état de surface réel du sol (et non le NDVI) qui favorise l'activité éolienne et le soulèvement des particules les plus fines (1 à 25 micromètres) dans la troposphère. L'état de surface réel du sol en début de saison sèche dépend de la bonne répartition spatio-temporelle des pluies plus que de leur abondance. Si la répartition spatio-temporelle a été très mauvaise il se peut même que dans les régions sahéliennes le tapis herbacé ne se soit pas reconstitué (ce fut le cas en 1983). Dans ce cas la seule réponse chlorophyllienne est celle des arbustes et des arbres, si leur densité est élevée.

CHAPITRE VI : CHANGEMENTS CLIMATIQUES, MUTATIONS SOCIALES ET RESURGENCE DES MALADIES INFECTIEUSES

I.1 LE CHANGEMENT CLIMATIQUE GLOBAL ET LA DIFFUSION DES MALADIES INFECTIEUSES

Une compréhension écologique des maladies infectieuses, et notamment du rôle des paramètres environnementaux sur l'évolution des médiations entre hôtes, vecteurs ou réservoirs, et agents parasitaires ou microbiens, est aujourd'hui devenue primordiale si l'on veut plus efficacement contrôler les maladies. Le changement climatique global, au travers des déplacements de vecteurs et de réservoirs qu'il pourra provoquer, contribuera sans nul doute à des modifications importantes dans la distribution des maladies infectieuses. Une conséquence directe sera l'exposition de nouvelles populations humaines à des agents pathogènes exogènes contre lesquels elles ne seront pas prémunies. Plusieurs exemples récents montrent une tendance à l'augmentation de l'incidence et à la modification des distributions spatiales de maladies infectieuses végétales et animales, en réponse à des changements climatiques locaux.

Analysant les données historiques d'incidence de cas de choléra à Dhaka, la capitale du Bangladesh, *Rodo* et ses collègues (2002) ont trouvé une forte association entre le phénomène « *El Nino* » et plus particulièrement le comportement d'un ensemble de paramètres physiques que mesurent les océanographes et les climatologues dans l'océan indien (*Southern Oscillation Index, SOI*), et la dynamique temporelle de cas de choléra à Dhaka.

Sachant que les bactéries environnementales du genre *Vibrio* sont extrêmement sensibles aux conditions physico-chimiques de l'eau qui les abritent, les modifications de température de surface de l'océan Indien, par exemple,

conduisent alors à favoriser une recrudescence de ces bactéries dans les environnements côtiers où se concentrent les populations humaines.

Le climat et sa variabilité ont des conséquences bien connues sur les organismes vivants, et aucun écologue ne s'abstiendrait de ne pas prendre en compte les paramètres bioclimatiques dans une étude. Malheureusement, ou plus curieusement, en ce qui concerne les micro-organismes pathogènes, il a été très peu fait cas de l'importance du climat sur leur capacité de survie et leur viabilité. Le réchauffement actuel, sans précédent, intensifie le besoin urgent de développer des recherches appropriées pour comprendre les adaptations ayant lieu à l'intérieur du monde microbien. Seules de telles recherches pourront permettre de comprendre les processus, et de prédire les réponses face aux changements climatiques et anthropiques.

II. MODIFICATIONS D'ECOSYSTEMES ET SANTE

De nombreux exemples d'émergence de maladies infectieuses, ou parasitaires, sont la conséquence de modifications d'écosystèmes et de perturbations d'habitats engendrées par les l'homme. Les épidémies de maladies infectieuses ou parasitaires, telles que la maladie de Lyme¹, les bilharzioses et les infections dues aux hantavirus en Amériques latine représentent aujourd'hui des exemples frappants de la manière dont les modifications d'écosystèmes peuvent influencer l'émergence de nouvelles maladies.

Un des éléments clés de la re-émergence de la bilharziose est la mise en place d'habitats favorables pour les différentes espèces d'escargots compatibles à la transmission du parasite. Les escargots prolifèrent dans les rizières, les barrages et les surfaces dédiées à la pisciculture. Par exemple, les grandes retenues d'eau répandues partout en Afrique, notamment la construction du barrage d'Assouan

¹ La borréliose est une maladie infectieuse d'origine bactérienne, transmise à l'homme par les tiques ou les poux. L'une de ses formes concerne l'Europe où elle semble en plein développement, comme aux Etats – Unis : c'est la maladie de Lyme, du nom d'une ville de Connecticut où on l'a redécouverte en 1975, bien qu'elle ait été décrite dès 1910 en Europe.

à l'origine du lac Nasser, ont substantiellement augmenté la transmission du parasite et, de fait, la morbidité et la mortalité humaines dans la région.

En Afrique de l'Est, une grande richesse de poissons *Cichlidés* endémiques a évolué dans le lac Victoria depuis plusieurs milliers d'années, et cette diversité exceptionnelle a conduit à des spécialisations spectaculaires pour certaines espèces de poissons. En particulier, certains *Cichlidés* se sont adaptés à se nourrir exclusivement de mollusques, régulant ainsi les populations de gastéropodes et maintenant leurs populations à des densités suffisamment basses pour freiner, voire enrayer la transmission du schistosome à l'homme. Mais la perche du Nil, *Lates niloticus*, a été introduite dans le but de stimuler l'économie locale. Les conséquences de l'introduction de la perche du Nil sont multiples, et ont fait l'objet d'un documentaire intitulé : « *le cauchemar de Darwin* ». Deux conséquences en cascade de l'introduction du poisson prédateur sont la réduction drastique de la diversité biologique en espèces de *cichlidés* autochtones, et l'explosion subséquente de la population de mollusques sur les bords du lac. L'augmentation de la population humaine, qui cherchait à bénéficier de la nouvelle économie locale liée à la pêche, a ainsi généré de nouveaux foyers de transmission de la bilharziose. Si l'introduction de la perche du Nil dans le lac Victoria a pu entraîner des bénéfices économiques directs à court terme pour les populations locales, la perte de la diversité biologique qu'elle a provoquée est à l'origine de problèmes de santé considérables à plus long terme pour l'homme.

Un autre exemple illustrant la manière dont les hôtes et les agents de maladies infectieuses interagissent avec leur écosystème est celui du paludisme dans la forêt équatoriale amazonienne. La déforestation, causée par le développement agricole et la construction de l'axe routier transamazonien, a favorisé le développement du moustique *Anophèles darlingi*, principal vecteur des deux

agents pathogènes *Plasmodium falciparum* et *P. vivax*, responsables du paludisme en Amérique du Sud.

La déforestation, en ouvrant de nouveaux habitats, a favorisé la pullulation de cette espèce de moustique qui a trouvé des conditions propices à l'installation et au développement de ses populations. L'arrivée de communautés humaines dans les zones agricoles nouvellement développées s'est accompagnée de l'introduction de parasites *Plasmodium* par des personnes qui en étaient infectées.

Au Pérou, les zones déforestées (pour le développement de l'agriculture) montrent un risque près de 400 fois supérieur par rapport aux zones forestières pour la transmission paludéenne. La perturbation écologique de l'écosystème forestier équatorial avec le développement des zones agricoles, la prolifération du vecteur et l'installation de communautés humaines forment un tout indissociable pour comprendre la mise en place d'un foyer épidémique de paludisme à l'intérieur du bassin amazonien.

Au cours des 50 dernières années, les changements industriels et agricoles, les changements économiques et sociaux, la croissance rapide de la population humaine et les voyages internationaux ont inévitablement contribué à modifier les profils d'occurrence et de distribution spatiale des maladies infectieuses et parasitaires.

III. UTILISATIONS DES SOLS, DEVELOPPEMENT AGRICOLE, AGRICULTURE INTENSIVE ET SANTE

La très forte expansion démographique, entamée au siècle précédent, nécessite la production de denrées alimentaires de plus en plus volumineuses. Nous assistons ainsi à une utilisation démesurée du sol et des écosystèmes avec des conséquences sur la santé humaine.

Comme exemple, le virus de l'encéphalite japonaise est un problème de santé publique grave dans plusieurs pays d'Asie du Sud-Est. Depuis son émergence au début des années 1970, ce virus est transmis par les moustiques du groupe *Culex vishnui* dont l'habitat de prédilection pour sa reproduction sont les rizières.

On sait aujourd'hui que l'utilisation d'engrais comme les nitrates exercent un effet positif sur l'abondance de larve de moustiques dans les rizières, notamment par le biais exercé sur la multiplication de micro-organisme aquatique dont se nourrissent les larves de moustiques.

De même, pour le même type agro système au Nord-est de l'Argentine, on note l'abondance de mollusques² du genre *Biomphalaria* (vecteurs potentiels pour la transmission de la schistosomiase) est associée à la concentration en nitrates et nitrites dans les rizières. La conversion des prairies en cultures de maïs dans plusieurs régions de l'Argentine a facilité la prolifération d'un réservoir de rongeurs hôtes pour le virus *Junin*, responsable de fièvre hémorragique. Ce phénomène est aussi constaté en Corée. Les changements écologiques qu'engendrent le développement agricole sont parmi les facteurs le plus fréquemment identifiés dans l'émergence d'une nouvelle maladie.

IV. CROISSANCE DE LA POPULATION HUMAINE ET EVOLUTION DES MALADIES INFECTIEUSES

L'explosion démographique de la population humaine et ses corollaires sont responsables de nombreuses émergences et/ou réémergences de maladies infectieuses ou parasitaires.

La taille d'une population, c'est-à-dire le nombre de personnes susceptibles dans une communauté, est un facteur primordial pour la persistance et la diffusion d'un agent pathogène contagieux, tel qu'un virus ou une bactérie, par exemple. De très nombreuses études ont ainsi montré l'existence d'un seuil critique en

² Embranchement du règne animal comprenant les espèces dépourvues de squelette et généralement munies d'une coquille

nombre d'individus dans les populations humaines (critical community size) en deçà duquel l'agent pathogène ne peut pas se maintenir. Pour l'agent viral responsable de la rougeole, le seuil critique est estimé à 250 -300 000 habitants, et pour l'agent bactéries responsable de la coqueluche, la valeur seuil de 400 - 450 000 individus.

VI. TRAFIC ET COMMERCE INTERNATIONAL

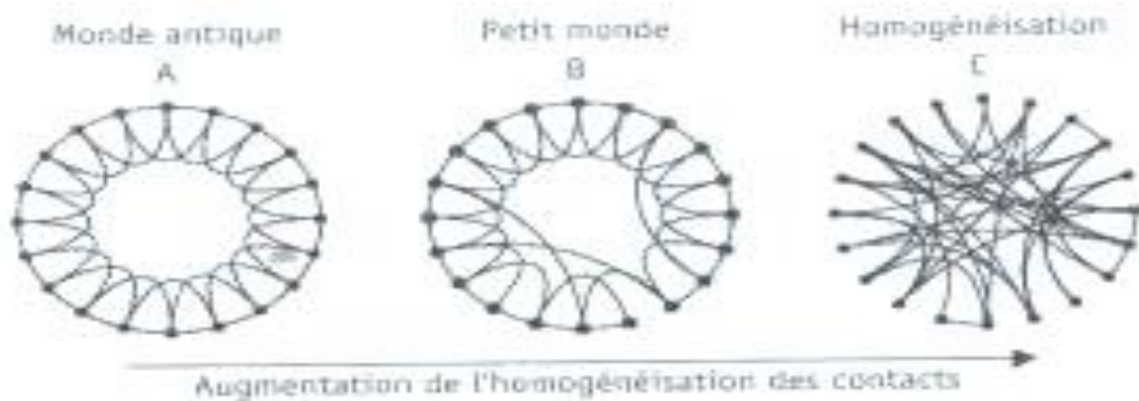
L'homme est parmi toutes les espèces de la planète probablement l'une de celles qui possède les capacités de survie et d'adaptation les plus extraordinaires. Les technologies modernes ont facilité le déplacement et la colonisation de zones géographiques longtemps restées isolées. Les vols transcontinentaux et le transport maritime, ainsi que les échanges économiques et commerciaux ont contribué à cette réussite. Cette colonisation quasi globale de la planète par les populations humaines a aussi favorisé le passage d'agents clandestins que sont les parasites et les agents microbiens. Les connexions actuelles, notamment grâce au transport aérien, favorisent la transmission d'agents pathogènes entre des points du globe aux antipodes les uns des autres. Des agents pathogènes à transmission directe, tels que de nombreux virus et des bactéries, peuvent aisément disséminer par ces voies et infecter ainsi des populations humaines qui en étaient au préalable indemnes.

L'homogénéisation des agents pathogènes à transmission directe suggère que leur ressource hôte est globale.

Figure 2: illustration schématique des niveaux d'homogénéisation des populations humaines

- (A) *Dans les temps anciens, les communautés humaines n'étaient en contact qu'avec leurs plus proches voisins ;*
- (B) *Lorsque les échanges transcontinentaux étaient limités, il y a encore quelques dizaines d'années, les communautés humaines locales étaient en contact entre elles de proche en proche, et plus occasionnellement en contact avec une autre communauté plus lointaine (notion de small world, ou « petit monde ») ; et*

(C) *Aujourd'hui chaque communauté locale est en contact avec les autres, ce qui illustre un monde globalisé. Les maladies infectieuses pourraient bénéficier d'un tel monde fortement interconnecté pour proliférer et s'accroître dans les populations d'hôtes. Modifiée à partir de Watts et Strogatz (2004).*



VI.6. SECURITE ALIMENTAIRE, MALNUTRITION ET ENVIRONNEMENT

Le concept de sécurité alimentaire a beaucoup évolué depuis la Conférence Mondiale de l'Alimentation de 1974. A l'époque, elle était définie comme l'adéquation entre les disponibilités alimentaires nationales et les besoins énergétiques de la population du pays dans son ensemble. Le concept s'est enrichi des questions de la stabilité des disponibilités et de l'accessibilité alimentaire des ménages et des individus (Becquey, 2007). A partir de 1985, la sécurité alimentaire a été considérée comme partie intégrante de l'ensemble plus complexe qu'est la sécurité des moyens d'existence. Ainsi, d'une mesure classique de l'adéquation de l'apport aux recommandations en termes de quantité énergétique, on a évolué vers la recherche d'une mesure de l'adéquation en termes de qualité : qualité nutritionnelle, mais également acceptabilité culturelle, cohérence avec les habitudes alimentaires, autodétermination.

Les approches les plus récentes, qui placent les individus au centre des problématiques de sécurité alimentaire, raisonnent de façon plus globale sous

l'angle des moyens d'existence durable. Ces théories estiment qu'en assurant à chaque individu la durabilité de ses moyens d'existence, sa vulnérabilité alimentaire pourra efficacement être combattue. L'absence de durabilité des moyens d'existence est donc une cause indirecte de toute vulnérabilité, y compris alimentaire. On peut donc retenir comme définition que *<la sécurité alimentaire existe lorsque tout le monde, à tout moment, a un accès physique et économique suffisant à une nourriture saine et nutritive, afin de satisfaire ses besoins quotidiens et ses préférences alimentaires pour une vie active en bonne santé >* (ACC/SCN,1991).

L'environnement reste la cause fondamentale de l'insécurité alimentaire (Figure suivante).

L'investigation des facteurs associés à la MPE montrent que les causes immédiates de la malnutrition sont l'insuffisance alimentaire et le mauvais état de santé, en particulier les maladies infectieuses. Ces causes sont elles mêmes influencées par des facteurs sous-jacents qui sont : la sécurité alimentaire des ménages, la situation sanitaire, d'hygiène et d'assainissement, et enfin les soins apportés à la mère et à l'enfant.

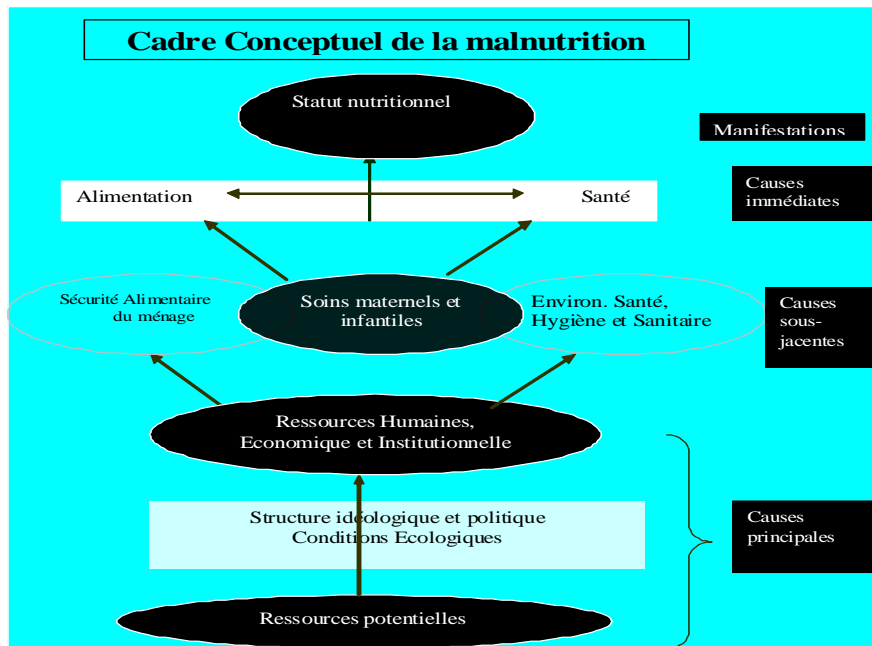


Figure : cadre conceptuel de la malnutrition (adapté de l'UNICEF)

Les villes africaines connaissent une urbanisation croissante et rapide. Des projections prédisent ainsi un doublement du nombre de citadins dans les PED entre 2000 et 2025 [Elodie, 2007]. Cette population urbaine vient bien souvent croître le lot des personnes vivant déjà dans des conditions précaires. Les inégalités sociales sont plus importantes en milieu urbain. Ainsi, l'insécurité alimentaire en ville est une réalité importante.

La population urbaine vit une transition alimentaire et nutritionnelle qui se traduit par l'adoption de modes de vie entre une alimentation occidentale et une alimentation locale. Les pathologies liées aux nouveaux comportements alimentaires sont particulièrement préoccupantes. Ces comportements se caractérisent par une moindre place accordée aux consommations de fruits, de légumes, de laitages, au profit de graisses, de sucres et de viande, et peuvent être potentialisés par un environnement urbain marqué par un moindre exercice physique, de nouvelles formes de stress, de nouveaux modes de vie se traduisant par la diminution de la durée de l'allaitement maternel, le développement du tabagisme, voire l'usage d'autres produits psycho-actifs. Tous ces facteurs de

risques sont à l'origine de multiples maladies, fréquentes dans les pays du Nord mais dont la prévalence risque d'augmenter aussi dans les pays en développement. A la fois indicateurs de risques et maladies, l'obésité et l'hypertension artérielle constituent un problème émergent.

CHAPITRE VI : POLLUTION ATMOSPHERIQUE ET MALADIES

I. INTRODUCTION

Les pollutions urbaines et leurs impacts font l'objet de nombreuses études en Europe et en Amérique du Nord, où sont mises en œuvre des politiques de réduction des émissions, de combustion notamment. C'est encore loin d'être le cas en pays émergents et, surtout, dans les pays en voie de développement. L'Afrique de l'Ouest est tout particulièrement concernée (**C. Liousse ; C. Galy-Lacaux, 2010**). Dans certains pays africains, la pollution atmosphérique apparaît désormais comme un problème de santé publique. Les conséquences sanitaires de cette pollution suscitent actuellement des inquiétudes dans la population. Or, peu de données sont disponibles pour la sensibilisation de la population et pour convaincre les autorités des actions urgentes à entreprendre en vue de freiner le phénomène (**L. Fourn ; E. B. Fayomi 2006**). Selon l'OMS, 13 millions de décès par an sont causés par des phénomènes environnementaux qui pourraient être évités. La prévention du risque environnemental pourrait sauver jusqu'à 4 millions de vie par an, ne serait-ce que parmi les enfants, la plupart dans les pays en voie de développement (World Medical Association 2015). La préservation de la qualité de l'atmosphère est devenue aujourd'hui un enjeu économique, juridique, sanitaire, environnemental et planétaire. La qualité de l'air est un élément essentiel à la qualité de vie. Comme l'eau et la terre, l'air est vital (**A. Vennin ; F. Ecolivet 2000**).

A l'instar des grandes villes africaines Ouagadougou connaît à des degrés divers des problèmes de pollution atmosphérique. D'une manière générale, la situation à Ouagadougou se caractérise par : une prédominance des deux roues motorisés engendrant un important niveau de pollution, un parc automobile vétuste, la moyenne d'âge se situant autour de 14 ans ; un poids important des transports

dans la facture pétrolière (Les deux roues motorisées représentent 77% des émissions de monoxyde carbonés et 95 % d'hydrocarbures du secteur des transports urbains) ; au point économique, le cout externe de la pollution de l'air qui est de 1,6% du PNB de nos jours, atteindra 2,6% en 2005 et 3% en 2010. (Etudes urbaines à Ouagadougou, Burkina Faso ; Pessac : CRET, 2003).

II. PERCEPTION ET MANIFESTATION DE LA POLLUTION DE L'AIR

« Après plusieurs années de travaux menés par nos épidémiologistes, nous estimons que la pollution de l'air provoque 7 millions de décès prématurés dans le monde chaque année. Il s'agit aussi bien de la pollution extérieure – liée aux transports, à l'industrie, à la production d'énergie – que de la pollution intérieure » a déclaré **la Directrice du département santé publique et environnement à l'organisation mondiale de la santé (OMS), Dr Maria NEIRA**. De nos jours, il devient de plus en plus évident que la pollution atmosphérique contribue de façon considérable aux changements environnementaux locaux, régionaux et planétaires (GIEC, 2014). Les conséquences néfastes de la pollution de l'air à l'intérieur des locaux comme à l'extérieur sont sans équivoque, tant sur la santé que sur l'environnement (**Ezzati and Kammen, 2001 ; Chen et al. 2008 ; Fullerton et al, 2009**). Ainsi, Les changements climatiques et la pollution de l'air s'influencent mutuellement. Les émissions de polluants dans l'atmosphère détériorent la qualité de l'air ; mais elles contribuent au changement climatique par une émission considérable de gaz à effet de serre (**IPCC, 2014**). De façon complémentaire, les changements climatiques influencent la propagation à l'émission, la transformation et la propagation des polluants aussi loin que possible de leur zone d'émission et impactent sur la santé des populations. Par pollution de l'air, on entend la contamination de l'environnement intérieur ou extérieur par un agent chimique, physique ou biologique qui modifie les caractéristiques

naturelles de l'atmosphère. Les appareils utilisés pour la combustion au sein des foyers, les véhicules automobiles, les établissements industriels et les feux de forêt sont des sources fréquentes de pollution atmosphérique. Les polluants les plus nocifs pour la santé publique sont notamment les matières particulaires, le monoxyde de carbone, l'ozone, le dioxyde d'azote et le dioxyde de soufre. La pollution de l'air à l'extérieur comme à l'intérieur entraîne entre autres des maladies respiratoires qui peuvent être mortelles (OMS, 2015).

III. IMPACTS ET VULNERABILITES DE LA POPULATION FACE AUX EFFETS DE LA POLLUTION DE L'AIR

Les villes d'Afrique de l'Ouest sont fortement touchées par la pollution de l'air et les principales sources de pollution sont constituées par les activités industrielles (usines situées en pleine ville), un système de transport mal organisé avec la prolifération des motos et des véhicules d'âge très avancé associé à une mauvaise efficacité de combustion et du carburant de piètre qualité (Tohon et al., 2014 ; Liousse et al., 2010). L'impact sanitaire de la pollution atmosphérique est considérable. Ceci s'expliquerait par le fait que plus de 7 millions de décès en 2012 dans le monde ont été attribués à l'exposition à la pollution de l'air ambiant combinée à la pollution de l'air à l'intérieur des logements (WHO, 2014). La pollution de l'air (intérieur et extérieur) constitue ainsi la première cause de mortalité d'origine environnementale dans le monde (OMS, 2006). En plus des décès, les effets d'une exposition aux polluants atmosphériques, consistent principalement en l'augmentation de l'incidence et l'exacerbation des symptômes des maladies respiratoires et cardiovasculaires (De Longueville et al, 2013 ; OMS, 2013 ; IPCC, 2007).

A titre d'exemple, l'enquête démographique et de santé effectuées en 1999 a ainsi démontré que la proportion des enfants de moins de 5 ans atteint par les

Infections Respiratoires Aiguës (IRA) était plus élevée à Ouagadougou (12,3%) que dans les autres centres urbains (10,1%) du Burkina.

La pollution atmosphérique a été classée comme cancérigène avéré pour l'humain en octobre 2013 par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC ou IARC) de l'OMS (IARC, 2013).

IV. ACTION DE L'HARMATTAN ET DES LITHOMETEORES

Globalement, en Afrique de l'Ouest continentale, le régime des vents est marqué en saison sèche par les alizés continentaux chauds et secs (l'harmattan) soufflant du secteur NE à E approximativement d'octobre à avril, mai. Le reste de l'année, durant la saison des pluies, la mousson domine avec des vents soufflant de direction SW à W (Dubief 1979 ; Leroux 1996).

Les vents, à travers leurs variabilités et leurs ampleurs modulent le temps, les saisons et influent sur la température, l'humidité ainsi que l'intensité et la densité des lithométéores. De ce fait, ils jouent un rôle prépondérant dans la transmission des maladies respiratoires.

Au Sahara, comme dans d'autres régions désertiques, les nomades se protègent de l'inhalation des particules en suspension par le port de « voiles ». Ainsi, Wagner (1980) rapporte que les nodules pulmonaires attribués à la silicose ont été reconnus chez les momies égyptiennes.

En Australie, Rutherford et al.(1999) ont montré que les lithométéores étaient significativement associés à l'augmentation des cas de crises d'asthme. Cependant, aucune relation précise entre ces deux paramètres n'a pu être établie vu la petite taille de l'échantillon.

Certains chercheurs tentent de mettre en relation les poussières terrigènes avec certaines affections oculaires comme, par exemple, la conjonctivite fortement répandue au Sahel. (Communication orale, M. M. Daouda, Direction Nationale de la météorologie du Niger, 1999).

Les poussières inhalées peuvent être responsables d'un certain nombre de problèmes respiratoires à court et à long terme. Si les poussières sont respirées, les particules dont le diamètre est supérieur à 10 microns mètres sont retenues par les cils et les muqueuses des voies respiratoires supérieures. Ces poussières sont alors renvoyées vers l'extérieur ou bien passent dans le système gastro-intestinal via l'œsophage. Quant aux particules de plus petites dimensions (< 10 micromètres), elles peuvent pénétrer dans les voies respiratoires inférieures où elles sont alors épurées dans les alvéoles bronchiques. Cependant, l'épuration de ces poussières n'est jamais complète et une certaine quantité de ces particules restent dans les poumons et y causent des dommages (Pye 1987 ; Coude-Gaussen 1992 ; Driscoll 1993).

Les lithométéores, essentiellement composés de poussières de toutes sortes et d'origines diverses sévissant en zone soudano sahélienne en période sèche, jouent un grand rôle dans la transmission de la méningite. Une petite partie de la poussière en période d'harmattan est ingurgitée par respiration (Prospero, 1999). Certains émettent des hypothèses sur le fait que la poussière pourrait être un support de véhicule des bactéries responsables de la méningite. La poussière transportée du Sahel aux Caraïbes pourrait aussi comporter des germes pathogènes qui pourraient affecter la santé humaine (McCarthy, 2001).

Lors de l'épidémie de méningite qui a touché le Burkina Faso en 2006, où à la date du 26 mars 2006, l'on enregistrait 8186 cas et 784 morts, Mr *Habibou Bangré*³, journaliste de presse, rapportait ces propos de Mr René Sebgo, directeur de la communication et de la presse ministérielle au ministère de la Santé : « Je dirais que l'Harmattan a beaucoup joué, c'est l'émetteur principal de la maladie » ; et du directeur général de la santé au ministère de la Santé, Mr Sosthène Zombré : « Le vent sec entraîne une circulation des germes, qui se retrouvent dans les muqueuses oropharyngées irritées et touchent les enveloppes méningées).

Bien qu'on reconnaisse la contribution de l'Harmattan dans l'occurrence des épidémies de méningite à méningocoque dans le Sahel (Molesworth et al., 2002) notamment à travers les agressions rhino-pharyngées, il n'y a pas d'évidence (preuves) d'une causalité qui proviendrait de bactéries transportées par de la poussière.

Toutefois, il est indéniable que les lithométéores exercent des agressions multiformes sur les muqueuses rhino-pharyngées et de ce fait participent à l'éclosion et à la transmission de la méningite. En effet, parmi les particules emportées et dispersées par les vents de vitesses diverses et assez souvent élevées (tempêtes de sable, chasse sable, brume sèche, etc.) figurent les grains de quartz lamelliformes ou de fines paillettes de mica, assez dangereuses pour les muqueuses oto-rhino pharyngées (plus de 20m/s au sahel ; Courel, 1984).

Monnier (1980) a mis en relation la recrudescence de la méningite cérébro-spinale avec la sécheresse du début des années 1970. De plus, il note une extension de cette vague épidémique à des latitudes méridionales rarement atteintes. Cette maladie se transmet par la salive. Les épidémies sont de courtes durées, ne se transmettent qu'en saison sèche avec un maximum en février – mars et s'affaissent dès le retour de la saison des pluies. Certains facteurs climatiques propres à cette saison propice au développement de ces épidémies sont connus : « l'humidité atmosphérique diminue au dessous de 10%. La muqueuse rhinopharyngée se dessèche, est irritée par les vents de sable et de poussière, et perd ses capacités de défense contre l'infection. Ainsi va être multipliée à grande échelle la contamination et des cas cliniques de méningites éclatent » (Gentilini et al. 1972, cité par Monnier, 1980).

Ainsi, l'augmentation des lithométéores, combinés à de faible taux hygrométrique, serait rendue responsables, de manière indirecte, de la recrudescence de la méningite cérébro-spinale.

Ce constat se confirme dans l'étude faite par Mbaye (2005) au Sénégal particulièrement à Niakhar où le cadre climatique et particulièrement

lithométéorique est potentiellement à risque par rapport à la survenue du cas index de méningite durant les années 1998, 1999 et 2000, notamment durant les mois de janvier et février caractérisés par un environnement climatique plus poussiéreux comparativement aux autres années non épidémiques (Mbaye, 2005).

Cependant Prost (1991) souligne que cette hypothèse n'est pas systématique et confirmée partout, puisque les maxima épidémiques récents (1957-1959), 1969-1970, et 1981-1982) ne coïncident pas avec les fortes périodes de sécheresse, ni d'ailleurs avec les fréquences maximales des lithométéores au Niger.

Selon le bulletin de l'OMM (Vol 5, janvier 2009), bien que le mécanisme par lequel la poussière peut influencer sur l'apparition des épidémies de méningite soit mal connu, les dommages qu'elle cause aux cellules épithéliales tapissant le nez et la gorge permettent aux bactéries de pénétrer facilement dans les vaisseaux sanguins.

Le Niger, le Mali et le Burkina Faso, pays sahéliens aux ressources très limitées, sont sujets à d'importantes variations climatiques. Ces pays sont également sujets à d'importantes tempêtes de poussière et de sable. Ils constituent également des foyers générateurs de tempêtes de poussière et de sables, eu égard à leur position géographique, à leur climatologie, à leur composantes géomorphologiques, à l'état des sols ainsi que leur dégradations croissantes. Ces facteurs rendent ces pays très vulnérables à plusieurs maladies climato-sensibles d'ordre respiratoire, en l'occurrence la méningite.

Cependant, il convient de distinguer la pollution de l'air ambiant et la pollution intérieure de l'air qui est celle des habitations. La pollution atmosphérique est surtout un phénomène urbain alors que la pollution des habitations est aussi bien rurale qu'urbaine. Nous allons successivement analyser l'impact de la pollution

de l'air dans les habitations puis celle de la pollution atmosphérique sur la santé des populations.

V. POLLUTION DE L'AIR DANS LES HABITATIONS

L'utilisation des combustibles produit des niveaux très élevés de pollution intérieure. Typiquement, les niveaux en 24 heures de PM 10 dans l'usage de la biomasse dans les maisons en Afrique, Asie et Amérique latine varie de 300 à 3000 microgrammes par mètre cube ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). En comparaison, les standards annuels préconisés aux USA par « United States Environmental Protection Agency » pour la pollution et en Europe par l'Union européenne sont respectivement de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour l'air extérieur (WHO, 2006).

Beaucoup de personnes notamment utilisent les combustibles solides pour leur cuisine quotidienne, ce qui les expose tous les jours à un environnement très pollués. Les personnes les plus exposées sont les femmes et les enfants.

Les études épidémiologiques depuis les années 1980 ont permis de mettre en évidence la relation entre la pollution de l'air intérieur et les états de santé. Ces résultats ont été revus par l'OMS et sont présentés au tableau 5.4.

L'exposition à la pollution intérieure double le risque de pneumonie et autre infections respiratoires basses chez les enfants de moins de cinq ans. Les femmes exposées à la pollution intérieure développent trois fois plus de maladies pulmonaires chroniques que celles qui ne sont pas exposées. L'utilisation du charbon augment deux fois le risque de cancer du poumon surtout chez les femmes.

Cependant des études sont à envisager pour montrer une plus grande évidence entre l'exposition aux combustibles solides et certains problèmes de santé comme l'asthme, la tuberculose, les issues de grossesse, les ischémies cardiaques (WHO, 2006).

Tableau : Impact sanitaire de la pollution de l'air domestique

Etat de santé	Evidence	Population cible	RR (IC 95%)	
Infections respiratoires basses	Grande	Enfant : 0-4 ans	2,3 (1,9-2,7)	Suffisante
Maladies pulmonaires obstructives chroniques	Grande	Femmes ≥ 30 ans	3,2 (2,3-4,8)	
	Modérée I	Hommes ≥ 30 ans	1,8 (1,0-3,2)	
Cancer du poumon (charbon)	Grande	Femmes ≥ 30 ans	1,9 (1,1-3,5)	
	Modérée I	Hommes ≥ 30 ans	1,5 (1,0-2,5)	
Cancer du poumon (Biomasse)	Modérée II	Femmes ≥ 30 ans	1,5 (1,0-2,1)	Insuffisante
Asthme	Modérée II	Enfant : 5-14 ans	1,6 (1,0-2,1)	
	Modérée II	Adultes ≥ 15 ans	1,2 (1,0-1,5)	
Cataracte	Modérée II	Adultes ≥ 15 ans	1,3 (1,0-1,7)	
Tuberculose	Modérée II	Adultes ≥ 15 ans	1,5 (1,0-2,4)	

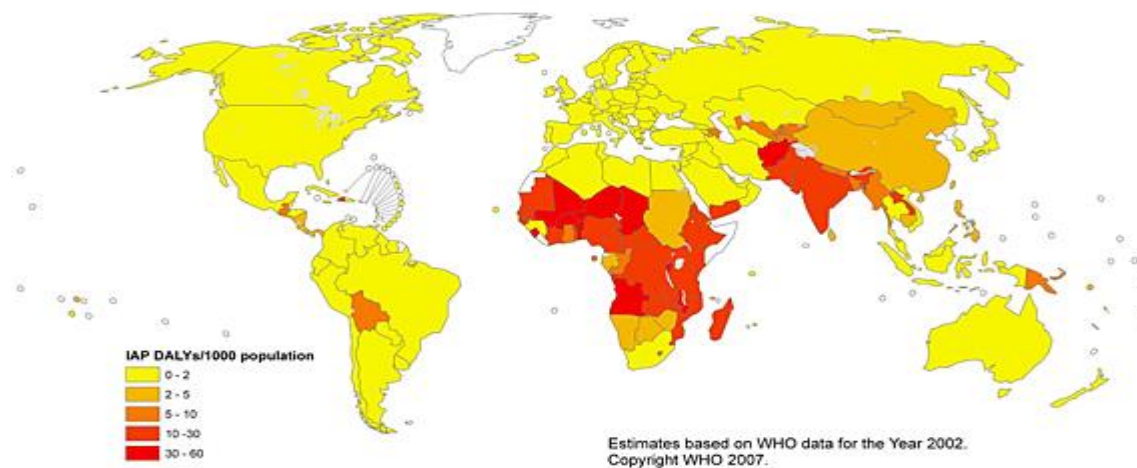
Source : WHO, 2006. *fuel for life. Household energy. Genève; 23 pages.*

- **Grande évidence** : plusieurs études sur les combustibles solides utilisés dans les pays en voie de développement, soutenus par les évidences des études sur le tabagisme actif et passif, la pollution de l'air en milieu urbain, les études chimiques de laboratoires.
- **Evidence modérée** : au moins 3 études sur les combustibles solides utilisés dans les pays en voie de développement, soutenus par les évidences des études sur le tabagisme actif et l'animal.
- **Modérée I** : grande évidence pour les groupes spécifiques (âge, sexe)
- **Modérée II** : évidence limitée
- **RR=** risque relatif qui indique le risque de survenue de la maladie d'une population exposée comparée à une population non exposée ; **IC 95%=** Intervalle de confiance avec un degré de confiance de 95% ; plus l'intervalle de confiance est grande, moins on a une précision.

Au niveau mondial, plus de trois milliards de personnes utilisent pour cuire et se chauffer des combustibles solides, notamment les combustibles biomasses (bois, bouse de vache et résidus agricoles) et le charbon, sources importantes de pollution de l'air dans les habitations. Un lien a été établi entre l'exposition à la pollution à l'intérieur des habitations due aux combustibles solides et de nombreuses maladies, en particulier la pneumonie de l'enfant et les affections respiratoires chroniques chez l'adulte. Selon les estimations, la pollution de l'air

à l'intérieur des habitations entraîne un lourd tribut pour les populations. En effet, ces estimations publiées en 2002 par l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) indiquent que dans les 21 pays les plus touchés, la pollution de l'air à l'intérieur des habitations est à l'origine de près de 5 % de la mortalité et de la morbidité (www.actu-environnement.com -03 /05/2007).

Les estimations par pays de la charge de morbidité due à la pollution de l'air dans les habitations font ressortir l'effet considérable de l'utilisation de combustibles sur la santé et le bien-être de la population dans le monde entier. Les pays les plus touchés sont l'Afghanistan, l'Angola, le Bénin, le Burkina Faso, le Burundi, le Cameroun, l'Erythrée, l'Éthiopie, Madagascar, le Malawi, le Mali, la Mauritanie, le Niger, l'Ouganda, le Pakistan, la République démocratique du Congo, le Rwanda, le Sénégal, la Sierra Leone, le Tchad et le Togo (figure 5.6).

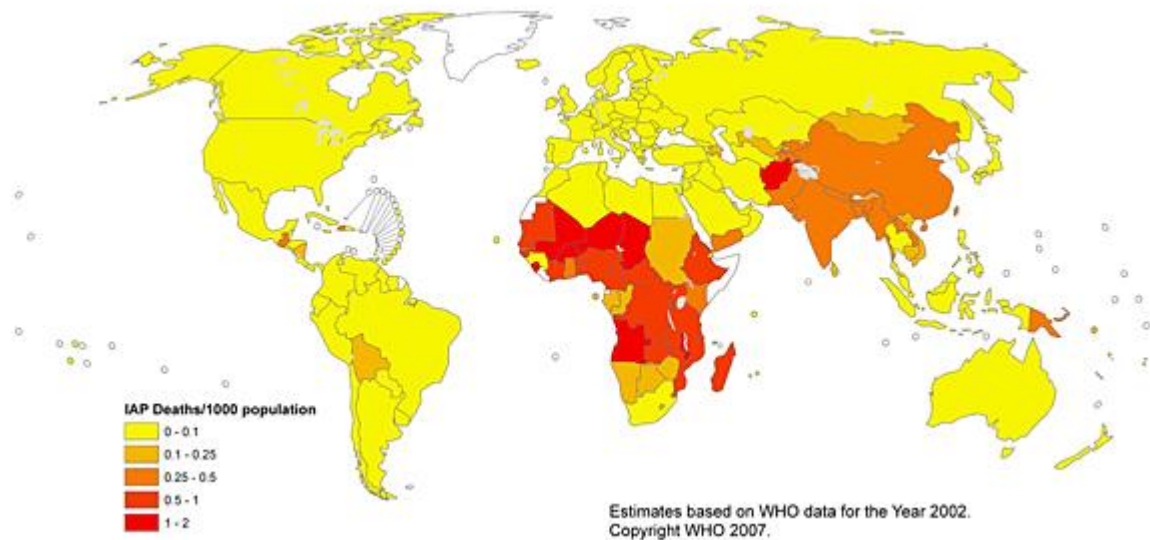


Source : www.who.int:indoor/health_impacts/exposure/en/print.html

Figure 5.10: DALYs attribuable à la pollution intérieure de l'air provenant de l'utilisation des combustibles solides pour 1000 personnes, par pays (2002)

Dans 11 pays – l'Afghanistan, l'Angola, le Bangladesh, le Burkina Faso, la Chine, l'Éthiopie, l'Inde, le Nigéria, le Pakistan, la République démocratique du Congo et la République Unie de Tanzanie – la pollution de l'air dans les

habitations provoque au total 1,2 million de décès annuels. Pour le Burkina Faso, les décès attribuables à la pollution de l'air intérieur par combustibles solides varient entre 1 et 2 décès pour 1000 personnes (figure 5.11). Cette morbidité et cette mortalité élevée liée à la pollution à l'intérieur des habitations est la conséquence de l'usage de l'énergie à base de combustible solide notamment le bois et le charbon de bois. La proportion de la population qui utilise des combustibles solides est de plus de 96% avec une émission de dioxyde de carbone par capita de 0,1 (WHO, 2006).



Source : www.who.int/indoor/health_impacts/exposure/en/print.html

Figure 5.11: Décès attribuables à la pollution intérieure de l'air provenant de l'utilisation des combustibles solides pour 1000 personnes, par pays (2002)

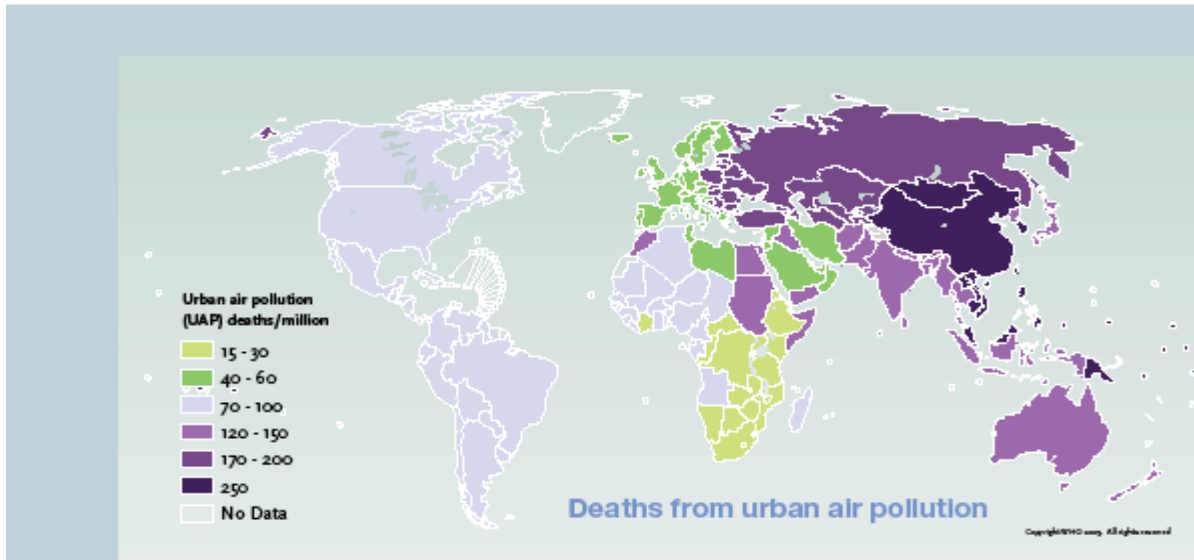
Au Burkina Faso, des petites particules avec des diamètres de 10 microns (PM10) ou moins ont une plus grande capacité de pénétrer dans les poumons et sont à même d'entraîner potentiellement de graves dommages sur la santé. Les émissions moyennes de particules PM10 pour les feux domestiques de Ouagadougou sont estimées à 20 g /kg de bois. Les émissions de particules PM10 des feux de charbon de bois représentent en général 10 % des feux de bois par kg de matière brûlée, soit 2 g/kg de charbon de bois. Le poids de bois et charbon de bois brûlé à Ouagadougou correspondait à 20 % de ce qui est consommé au niveau du pays (Tableau 5.4) (Banque mondiale,2007).

VI. POLLUTION DE L'AIR EXTERIEUR ET SANTE DES POPULATIONS

L'environnement urbain conduit à une épidémiologie particulière des problèmes de santé liée à une mobilité et une densité particulière des populations, qu'à l'émergence de maladies liées aux contraintes socio-économiques comme, les traumatismes, la consommation de drogues, la violence, le chômage et la dépression. En effet, le développement inégal des villes et campagnes d'une part et d'autre part, des schémas inappropriés d'aménagement urbain accroissent la mobilité et la densité particulière, l'intensité du trafic routier et le fonctionnement des usines industrielles favorisent la pollution atmosphérique, le développement de la promiscuité et des bidonvilles et donc les problèmes socio-sanitaires sus évoqués.

Certains de ces problèmes de santé ont un caractère saisonnier évident : survenue des épidémies de méningite, de grippe et autres affections respiratoires aiguës, des affections oto-rhino-laryngologiques, recrudescence des affections respiratoires chroniques (asthmes, bronchites,...), des maladies diarrhéiques, etc. Toutefois, la pollution atmosphérique semble être le déterminant majeur de la plupart des problèmes respiratoires et oto-rhino-laryngologiques. Cette pollution résulte d'une part de l'émission des gaz par les véhicules motorisés et les usines industrielles obligeant de fait le port de masque anti-pollution (ou anti poussière) par de nombreux habitants de la ville ; elle résulte d'autre part du transport par l'air environnemental de poussières et autres polluants émis dans différentes parties du continent ou d'ailleurs. Les pollens végétaux ainsi que les toxiques issus de la combustion du bois de chauffe largement employé dans les ménages se combinent à ces polluants exogènes et intensifient l'exposition cumulée des populations urbaines aux facteurs socio-sanitaires environnementaux.

La figure suivante donne le nombre de décès liés à la pollution de l'air en milieu urbain dans le monde. Les pays de l'Afrique de l'Ouest dont le Burkina Faso, le nombre de décès du à la pollution urbaine varie de 70 à 100 décès par million d'habitants.



Urban setting

Over the next 30 years, most of the world's population growth will occur in cities and towns of poor countries (UN 2003). Rapid, unplanned and unsustainable patterns of urban development are making developing cities focal points for many emerging environment and health hazards. As urban populations grow, the quality of the urban environment will play an increasingly important role in public health with respect to issues ranging from solid waste disposal, provision of safe water and sanitation, and injury prevention, to the interface between urban poverty, environment and health.

www.who.int/heli/risks/urban/urbanenv/en/



Energy sector

Indoor air pollution – generated largely by inefficient and poorly-ventilated stoves burning biomass fuels, such as wood, crop waste and dung, or coal – is responsible for the deaths of an estimated 1.5 million people annually. More than half of these deaths occur among children under five years of age. In developing countries with high mortality rates overall, indoor air pollution causes almost 4% of the total burden of disease.

According to current WHO estimates, more than half of the world's population cooks and heats with solid fuels, including biomass fuels and coal (WHO, 2006). Depending on how fuels are obtained and burnt, solid fuel dependency exacerbates deforestation, contributing to the build-up of greenhouse gases in the earth's atmosphere and thus to global climate change. Locally, deforestation can pollute streams with sediment and debris, generate soil erosion, loss of biodiversity and changed patterns of vector-borne disease transmission – all of which impact on health.

www.who.int/heli/risks/indoorair/indoorair/en/

Source: World Health Organization and United Nations Environmental Program, 2008. Synthesis report. Health and environment linkages for sustainable development. 88 pages.

Figure: Décès attribuables à la pollution intérieure de l'air provenant de l'air en milieu urbain