

ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES D'OUTRE-MER
Classe des Sciences naturelles et médicales. N.S. XVI-1 Bruxelles, 1964

L'EAU EN MILIEU RURAL CENTRE-AFRICAIN

PAR

J. VAN RIEL

Membre de l'ARSOM

Correspondant de l'Académie royale de Médecine

Professeur à l'U.L.B. et à

l'Institut de Médecine tropicale « Prince Léopold » (Anvers)

Conseiller médical du F.B.I.

F 120

KONINKLIJKE ACADEMIE VOOR OVERZEESE WETENSCHAPPEN
Klasse voor Natuur- en Geneeskundige Wetenschappen. N.R. XVI-1. Brussel, 1964

ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES D'OUTRE-MER
Classe des Sciences naturelles et médicales. N.S. XVI-I Bruxelles, 1964

L'EAU EN MILIEU RURAL CENTRE-AFRICAIN

PAR

J. VAN RIEL

Membre de l'ARSOM

Correspondant de l'Académie royale de Médecine

Professeur à l'U.L.B. et à

l'Institut de Médecine tropicale « Prince Léopold » (Anvers)

Conseiller médical du F.B.I.

KONINKLIJKE ACADEMIE VOOR OVERZEESE WETENSCHAPPEN
Klasse voor Natuur- en Geneeskundige Wetenschappen. N.R. XVI-1. Brussel, 1964

Mémoire présenté à la séance du 28 avril 1964

RÉSUMÉ

Le premier chapitre de ce mémoire rappelle les répercussions directes et indirectes de l'angoissante pénurie d'eau qui menace le monde par suite de la prodigieuse expansion démographique.

Parmi les maladies dans l'épidémiologie desquelles intervient le facteur hydrique, un premier groupe est celui des affections où l'agent causal quitte le réservoir de virus par l'anus ou l'urèthre et est véhiculé par l'eau jusqu'à l'homme réceptif, ce dernier s'infectant par ingestion ou par contact. Ces affections sont déterminées par des bactéries (choléra, fièvre typhoïde, dysenterie bacillaire, gastro-entérites et colites), des spirochètes (leptospirose), des protozoaires (amibiase), des entérovirus (poliomyélite, hépatite à virus), des helminthes (ascaridiose). L'importance et le mécanisme de la transmission par l'eau sont analysés pour chacune d'elles. Dans un second groupe de maladies, l'eau est le biotope des hôtes intermédiaires (bilharzioses) et, dans un troisième, les eaux de surface jouent le rôle épidémiologique d'offrir un refuge aux formes larvaires de l'insecte vecteur (paludisme, fièvre jaune, filarioses, méningo-encéphalites virales). Une politique de l'eau exerce des effets marquants sur leur incidence et l'ignorance de leur épidémiologie par les ingénieurs sanitaires peut avoir des conséquences néfastes. Une autre implication du problème de l'eau dans la santé publique: la fréquence dans les régions pauvres des tropiques des maladies à porte d'entrée cutanée.

A un autre point de vue encore, la menace de manquer d'eau assombrit l'avenir alimentaire de l'humanité. Si 70 % de la population mondiale est mal approvisionnée en eau, c'est dans les pays en développement que cette carence est la plus aiguë, mais elle se présente d'une façon un peu différente dans les divers pays du Tiers-Monde. Partout la proximité d'un point d'eau est un des soucis majeurs de villageois; dans maints pays, le travail qu'entraîne la corvée de l'eau est véritablement accablant. Enfin, l'industrialisation naissante dans les pays tropicaux va encore

aggraver la menace de la pénurie d'eau. En somme, ce problème de l'eau est associé à tous les aspects de la santé, suivant la définition qu'en a donnée la charte constitutive de l'Organisation mondiale de la Santé. Lorsqu'on en cherche une solution dans les pays tropicaux, on se heurte souvent à des difficultés d'ordre psychologique, politique, éducatif et financier. L'aide technique internationale s'impose dans ce domaine.

Dans le second chapitre sont résumées les études et les réalisations qui ont été entreprises en 1948 et sont encore poursuivies actuellement dans les régions rurales du territoire, précédemment sous administration belge, qui forme maintenant trois Etats indépendants: la République du Congo, la République du Rwanda et le Royaume du Burundi. Là où des nappes d'eau suffisantes furent trouvées dans le voisinage des villages, celles-ci furent atteintes par un captage vertical (puits) ou horizontal (fontaines): 2 429 puits et 21 466 fontaines avec pompe, soit au total 23 895 points d'eau ont été aménagés. Dans les régions dépourvues d'eaux superficielles et où les couches aquifères sont malaisément accessibles, comme les plaines de lave, il fallut recourir à des adductions: 266 km sont en service. L'ensemble de ces installations desservent 4 249 372 habitants. Le total des investissements consacrés de 1948 à 1963 par le Fonds du Bien-Etre Indigène à cette campagne d'assainissement a été: pour le Congo, 345 000 000 francs belges (6 900 000 dollars); pour le Rwanda-Burundi, 495 000 000 francs belges (9 900 000 dollars), soit au total 840 000 000 francs belges (16 800 000 dollars).

Un problème particulier a été spécialement étudié dans les adductions des plaines de lave du nord du Rwanda et de la région voisine de la République du Congo: l'altération des canalisations par l'agressivité de l'eau et par la pénétration des racines. Comme souvent en région tropicale les eaux ont un pH bas; elles sont riches en CO_2 libre et pauvres en sels calcaires. L'absence ou la minceur du dépôt calcaire expose les tuyaux, surtout ceux en béton, à l'agressivité de l'eau. Une installation simple et économique a été mise au point qui associe le traitement par la chaux, alcalinisant bon marché, à l'aération; celle-ci est obtenue en faisant tomber l'eau à travers des plaques trouées en chlorure de polyvinyle (PVC). Par ce traitement combiné, la dureté carbonatée

est augmentée par la réaction de la chaux sur le CO_2 de l'eau et le CO_2 agressif est soit éliminé par l'aération, soit fixé sur le CaO .

Le deuxième facteur d'attaque des canalisations, la pénétration des racines par les joints en bitume et à travers les parois, est lié au premier processus d'altération: la porosité des tuyaux consécutive à l'agressivité de l'eau facilite la pénétration des racines. Celles-ci forment des bouchons qui obstruent les conduites ou tout au moins réduisent la section utile de passage d'eau. Il en résulte une augmentation de la pression et une aggravation des fuites aux points perméables. De plus, il est probable que des acides organiques provenant des plantes accélèrent l'attaque des tuyaux. Le bitume des joints a été remplacé par un produit spécial, dit « tock-joint ». Les parois extérieures des tuyaux ont été enduites d'un mélange de goudron, de toluol et de pentachlorophénol. Les résultats pratiques de ces traitements ont été très satisfaisants. Dans les conditions locales, le prix de revient du traitement par herbicides s'est avéré prohibitif; la posologie utile était, en effet, beaucoup plus élevée que celle qui est habituellement préconisée. Le nettoyage de la plate-forme par des travailleurs s'est révélé moins coûteux.

Par suite de l'astreignante sujétion des faibles ressources des budgets locaux, on s'est efforcé, dans toute la mesure du possible, de recourir à des matériaux de production locale.

Enfin, un programme éducatif de formation d'un personnel spécialisé a été mis sur pied.

La troisième partie du mémoire est une annexe consacrée aux qualités requises pour les eaux d'alimentation. Cette mise au point est une synthèse des travaux des experts de l'Organisation mondiale de la Santé en 1958 et en 1962, et de l'expérience acquise en Afrique centrale. Les caractères suivants sont passés en revue: normes physiques (température, turbidité, couleur, saveur et odeur, conductivité électrique); normes chimiques (substances toxiques, substances pouvant présenter un risque pour la santé, substances pouvant affecter la potabilité, substances indicatrices de pollution); normes bactériologiques (numération des germes totaux, recherche et numération des germes indicateurs de contamination fécale); normes biologiques; normes radiologiques. La technique du prélèvement et la fréquence des contrôles sont également envisagées.

SAMENVATTING

Het eerste hoofdstuk dezer verhandeling geeft een overzicht van de rechtstreekse en onrechtstreekse weerslag van het belangtigend watergebrek dat de wereld bedreigt ingevolge de verrassende demografische uitbreiding.

Onder de ziekten, in de verspreiding waarvan de factor water een rol speelt, is een eerste groep deze waar het causaal agens het virusreservoir door de anus of de urethra verlaat en door het water gevoerd wordt tot de mens die zich besmet door opname of contact.

Deze ziekten worden veroorzaakt door bacteriën (cholera, febris typhoidea, bacillaire dysenterie, gastro-enteritis en colitis), spirocheten (leptospirosis), protozoa (amoebiasis), enterovirussen (poliomyelitis, virus-hepatitis), wormen (ascariasis). Voor elk van hen wordt de belangrijkheid en de wijze van overbrenging door het water ontleed. In een tweede groep ziekten is het water de biotoop der tussengastheren (bilharziosen) en in een derde spelen de oppervlaktewaters de epimediologische rol een schuilplaats te bezorgen aan de larven der overdragende insecten (malaria, gele koorts, filariosen, virale meningo-encephalitiden).

Een politiek van het water heeft een duidelijke weerslag op hun voorkomen, en wanneer gezondheidsingenieurs geen inzicht hebben in hun epidemiologie, kan dat noodlottige gevolgen hebben. Een andere invloed van het waterprobleem op de volksgezondheid: het veelvuldig voorkomen in arme tropische streken van ziekten die langs de huid binnen dringen.

Vanuit een ander standpunt nog weegt het dreigend watergebrek op de toekomst van de voeding. Indien 70 % der wereldbevolking onvoldoende van water voorzien is, blijkt dit gebrek het scherpst in de ontwikkelingslanden; maar het vertoont zich op enigszins andere wijze in de verschillende landen van het Derde Wereldblok. Overal is de nabijheid van water een der hoofdbekommernissen van de dorpelingen; in menig land weegt

de karwei van het water halen zeer zwaar. De inzetende industrialisatie der tropische landen zal de bedreiging van watergebrek dan nog verscherpen. Ten slotte is dit probleem, volgens de bepaling die het oprichtingscharter van de Wereld Gezondheidsorganisatie er van gaf, verbonden aan de verschillende uitzichten der gezondheid. Bij het zoeken naar een oplossing voor de tropische landen, stoot men vaak op moeilijkheden van psychologische, politieke, paedagogische en financiële aard. Internationale technische bijstand is op dit gebied onmisbaar.

In het tweede hoofdstuk worden de studies en verwezenlijkingen samengevat die sinds 1948 ondernomen, thans nog verder gevoerd worden, op het ruraal gebied van het land dat vroeger onder Belgisch beheer stond en dat thans drie onafhankelijke staten vormt: de Republiek Congo, de Republiek Rwanda en het Koninkrijk Burundi. Waar voldoende watervoorraden gevonden werden in de buurt der dorpen, werd er verticaal (putten) of horizontaal (bronnen) water uit opgevangen: 2 429 putten en 21 466 bronnen met pomp, wat in totaal 23 895 installaties uitmaakt. In de streken zonder oppervlaktewaters en waar de waterlagen moeilijk te bereiken zijn, zoals de lavavlakten, moet op waterleidingen beroep gedaan worden: 266 km zijn in dienst. Het geheel van deze instellingen bevoorraadt 4 249 372 inwoners. In totaal werd, van 1948 tot 1963, door het Fonds voor Inlands Welzijn, in dit plan van gezondmaking belegd: 345 000 000 Belgische frank (6 900 000 dollar) voor Congo en 495 000 000 Belgische frank (9 900 000 dollar) voor Rwanda-Burundi, wat een totaal geeft van 840 000 000 Belgische frank (16 800 000 dollar).

Een bijzonder vraagstuk, betreffend de waterleidingen der lavavlakten van Noord-Rwanda en de aangrenzende streek van de Republiek Congo, werd speciaal bestudeerd: het aantasten der leidingen door het water en het doordringen van wortels. Zoals meer voorkomt in tropische streken, heeft het water een laag pH; het is rijk aan CO₂ en arm aan kalkzouten. De dunne of zelfs ontbrekende kalkneerslag stelt de buizen, vooral deze in beton, aan invreting door het water bloot. Een eenvoudige en economische installatie werd op punt gesteld, die de behandeling met kalk, een goedkoop alkaliserend middel, verbindt met ver-

luchting; zij bestaat uit doorboorde platen in polyvinyl (PVC), waar het water doorvalt. Ingevolge deze gecombineerde behandeling wordt de carbonaat-hardheid verhoogd door de reactie van de kalk op het CO_2 van het water en de aanvretende CO_2 wordt ofwel door verluchting uitgeschakeld, of vastgehouden door de CaO .

De tweede factor die de leidingen beschadigt, is het indringen van wortels door de voegen in bitume en door de wanden. Hij staat in verband met het eerste aanvretingsproces, daar de poreusheid der buizen, veroorzaakt door het invreten van het water, het doordringen der wortels vergemakkelijkt. Deze vormen stoppen die de leidingen versperren of in elk geval de ruimte voor het doorstromend water beperken. Daaruit volgt een toenemen van de druk en een verergeren der lekken op de door-dringbare plaatsen. Daarenboven is het waarschijnlijk dat organische zuren, afkomstig van de planten, het aanvreten der buizen bevorderen. De bitume der voegen werd vervangen door een speciaal product, « tock-joint » genaamd. De buitenwanden der buizen werden bestreken met een mengsel van teer, toluol en pentachloorfenol. De in de praktijk bekomen uitslagen waren zeer bevredigend. In de plaatselijke omstandigheden bleek de kostprijs van een behandeling met onkruidverdelgende middelen te hoog, want de vereiste dosering lag veel hoger dan de gebruikelijke. Het vrijmaken van het veld door arbeiders kwam minder duur.

Ingevolge de beperkte mogelijkheden der plaatselijke budgetten, heeft men er naar gestreefd zoveel mogelijk gebruik te maken van ter plaatse vervaardigd materiaal.

Ten slotte werd een opvoedingsprogramma uitgewerkt om gespecialiseerd personeel op te leiden.

Het derde deel der verhandeling is een bijlage, gewijd aan de vereiste eigenschappen van drinkwater. Het betreft hier een synthese van de studies der experten van de Wereld Gezondheidsorganisatie in 1958 en in 1962, en der in Centraal Afrika verworven ervaring. Volgende eigenschappen worden achtereenvolgens behandeld: fysische normen (temperatuur, troebelheid, kleur, smaak en reuk, elektrische geleidbaarheid); chemische normen (giftige stoffen, stoffen die de gezondheid kunnen schaden,

stoffen die de drinkbaarheid kunnen beïnvloeden, stoffen die als indicatoren van pollutie dienen); bacteriologische normen (telling van het totaal aantal kiemen, opsporen en tellen van de kiemen die wijzen op faecale bezoedeling); biologische normen; radiologische normen. De techniek van het nemen der monsters en de frequentie van het toezicht, worden eveneens behandeld.

SUMMARY

The first chapter of this Memoir recalls the direct and indirect consequences of the alarming water shortage threatening the world as a result of the formidable population explosion.

Among the epidemic diseases directly attributable to water-borne factors, there is a first group in which the causative agent leaves the virus reservoir via the anus or ureter and is carried along by the water until it reaches a receptive human being who is infected either through ingestion or contact. These diseases are caused by bacteria (cholera, syphoid, bacillary dysentery, gastro-enteritis and colitis); spirochaetes (leptospirosis); protozoa (amoebiasis); enterovira (poliomyelitis, infectious hepatitis); or helminths (ascæriasis). The extent and mechanism of their transmission by water is analysed in respect of each. In a second group of diseases, water is the biotope of the intermediary host (bilharziasis), and in a third, surface water performs the epidemiological function of supplying a refuge for carrier insects in their larval form (malaria, yellow fever, filariasis, viral meningo-encephalitis). A good water policy has a marked effect on their incidence, and ignorance of their epidemiology on the part of sanitary engineers may have disastrous consequences. Another aspect of the water problem where public health is concerned: the frequency in the impoverished tropical regions of diseases caused by infections in which the skin the common hortal of entry is.

From yet another standpoint, the threat of a water shortage darkens the future prospects for humanity's food supplies. While 70 % of the world population is ill-supplied with water, this deficiency is most acute in the developing countries, though it takes slightly different forms in the various regions making up the Third World. The proximity of a watering-place is a major concern with villagers everywhere; in many countries, the colossal labour involved in fetching water is really exhausting. Finally, dawning industrialisation in the tropical countries will certainly help to aggravate the threat of a water shortage. In brief, the

water problem is bound up with every facet of public health as defined by the founding charter of the World Health Organisation. In seeking for a solution in the tropical countries, difficulties often arise that can be psychological, political, educational, financial in character. In this field, international technical assistance is essential.

The second chapter reviews the surveys and projects begun in 1948 and still being carried out in rural regions of the territory which was previously administered by Belgium, and which now forms three independent States: the Congo Republic, the Rwanda Republic, and the Kingdom of Burundi. In cases where sufficient underground water reserves were found close to villages, these were tapped by means of a vertical (well) or horizontal (fountain) catchment system: 2 429 wells and 21 466 fountains fitted with pumps were thus built, making a total of 23 895 watering-places. In regions deprived of surface water and where the underground water reserves are difficult of access, such as the lava plains, it was necessary to pipe water in from elsewhere: 166 miles of conduits are now in service. Altogether, these facilities supply clean water to 4 249 372 inhabitants. The total amount of capital invested by the Fonds du Bien-Etre Indigène (Native Welfare Fund) in this water-sanitation campaign from 1948 to 1963 was as follows: in the Congo, 345 000 000 Belgian Francs (6 900 000 dollars); in Rwanda-Burundi, 495 000 000 Belgian francs (9 900 000 dollars), making a total of 840 000 000 Belgian francs (16 800 000 dollars).

A particular problem has been specially studied in the case of pipelines laid across the lava plains in Northern Rwanda and the neighbouring region of the Congo Republic: the deterioration of the piping due to the corrosive effect of the water and the penetration of roots. As is often the case in tropical regions, the water has a very low pH value: it is rich in free CO₂ and poor in lime salts. The absence or thinness of the chalky deposits exposes the pipes, particularly the concrete variety, to the corrosive effects of the water. A simple and economical system has been developed which associates lime treatment — a cheap alkalinizer — with the aerating process; the latter is obtained by making the water pass through perforated polyvinyl chloride

sheets (PVC). By means of this combined treatment, the carbonated hardness is increased by the reaction of the lime on the CO_2 of the water, and the corrosive CO_2 is either eliminated by the aerating process or fixed on the CaO .

The second factor in weakened piping, i.e. root penetration through the bitumen joints and the walls, is bound up with the deterioration process outlined above: the porosity of the pipes as a result of water corrosion facilitates root penetration. The roots form plugs which either block the pipes or reduce the area through which the water can flow. The result is increased pressure and greater leakage in the permeable spots. Moreover, it is quite likely that organic acids secreted by the plants hasten the corrosion of the piping. The bitumen in the joints was replaced by a special product known as a "tock-joint". The outside walls of the pipes were coated with a mixture of tar, toluol and penta-chlorphenol. The practical results of this treatment were very satisfactory. Under local conditions, the cost price of using herbicides was revealed as prohibitive since the dosage needed was far higher than that normally prescribed. The cleaning of the platform by local workers proved to be less expensive.

Owing to the hampering restrictions imposed by low local budget availabilities, an attempt has been made to use locally-produced materials wherever possible.

Finally, an educational programme has been put under way for the training of specialised personnel.

The third part of the memoir is an annex dealing with the properties required in good drinking water. This survey is a digest of the work done by experts of the World Health Organisation in 1958 and 1962 and the experience acquired in Central Africa. The following properties are reviewed in turn: physical standards (temperature, turbidity, colour, taste and smell, electrical conductivity); chemical standards (toxic substances, those involving a possible health risk, those likely to affect its potableness, those which indicate pollution); bacteriological standards (total germ count, research and count of germs indicating faecal contamination); biological standards; radiological standards (total germ count, research and count of germs in-
quency of such checks are also dealt with.

RESUMEN

El primer capítulo de esta memoria recuerda las repercusiones directas e indirectas de la angustiosa escasez de agua que amenaza al mundo como consecuencia de la prodigiosa expansión demográfica.

Entre las enfermedades en cuya epidemiología interviene el factor hídrico, un primer grupo es de las afecciones cuyo agente causal abandona el depósito de virus por el ano o la uretra y es conducido por el agua hasta el hombre receptivo, infectándose este último por ingestión o por contacto. Estas afecciones están determinadas por bacterias (cólera, fiebre tifoidea, disentería bacilar, gastroenteritis y colitis), espiroquetas (leptospirosis), protozoarios (amebiasis), enterovirus (poliomielitis, hepatitis can virus), helmintos (ascaridiosis). En cada caso se analiza la importancia y el mecanismo de transmisión. En un segundo grupo de enfermedades, el agua es el medio natural de los huéspedes intermediarios (bilarciasis) y, en un tercero, las aguas de superficie juegan el papel epidemiológico al ofrecer un refugio a las formas larvarias del insecto vector (paludismo, fiebre amarilla, filariosis, meningoencefalitis can virus). Una política del agua ejerce notables efectos sobre su índice y la ignorancia de su epidemiología por parte de los ingenieros sanitarios puede tener consecuencias nefastas. Otra implicación del problema del agua en la salud pública: la frecuencia de las enfermedades cuya puerta de entrada es la piel en las regiones pobres de los trópicos.

Todavía bajo otro punto de vista, la amenaza de carecer de agua obscurece el porvenir alimenticio de la humanidad. Si es cierto que el 70 % de la población mundial está mal abastecida en agua, donde más aguda es esta escasez es en los países en desarrollo, pero se presenta de modo un poco diferente en los diversos países del Tercer Mundo. En todas partes la proximidad de un punto de agua es una de las preocupaciones mayores de los aldeanos; en muchos países el trabajo que entraña el acarreo del agua es verdaderamente abrumador. Finalmente la naciente industrialización

de los países tropicales va agravar todavía la amenaza de la escasez de agua. En suma, este problema del agua está asociado a todos los aspectos de la salud, según la definición que ha dado la carta constitutiva de la Organización mundial de la Salud. Cuando se busca una solución en los países tropicales se choca a menudo con dificultades de orden psicológico, político, educativo y financiero. La ayuda técnica internacional es indispensable en este terreno.

En el segundo capítulo se resumen los estudios y realizaciones que se emprendieron en 1948 y se prosiguen actualmente en las regiones rurales del territorio, anteriormente bajo administración belga, que forma en la actualidad tres Estados independientes: la República del Congo, la República de Ruanda y el Reino de Burundi. Allí donde se encontraron capas de agua suficientes en las proximidades de los pueblos, éstas fueron captadas en sentido vertical (pozos) u horizontal (fuentes): 2 429 pozos y 21 466 fuentes con bomba, o sea que se ha instalado un total de 23 895 puntos de agua. En las regiones desprovistas de aguas superficiales y donde las capas acuíferas son difícilmente accesibles, como las llanuras de lava, se ha necesitado recurrir a aducciones: 266 km están en servicio. El conjunto de estas instalaciones sirven a 4.249.372 habitantes. El total de las inversiones consagradas a esta campaña de saneamiento por el Fondo del Bienestar Indígena, de 1948 a 1963, ha sido de: 345 000 000 de francos belgas (6 900 000 dólares) para el Congo; 495 000 000 de francos belgas (9 900 000 dólares) para Ruanda-Burundi, o sea un total de 840 000 000 de francos belgas (16 800 000 dólares).

Se ha estudiado especialmente un problema particular en las aducciones de las llanuras de lava del Norte de Ruanda y de la región vecina de la República del Congo: la alteración de las canalizaciones por la agresividad del agua y por la penetración de las raíces. Como ocurre a menudo en regiones tropicales las aguas tienen un pH bajo, son ricas en CO₂ libre y pobres en sales calcáreas. La ausencia o delgadez del depósito calcáreo expone a los tubos, sobre todo los de hormigón, a la agresividad del agua. Se ha imaginado una instalación sencilla y económica que asocia el tratamiento por medio de cal, alcalizante barato, a la aireación; esta última se obtiene haciendo caer el agua a

través de placas de PVC agujereadas. Gracias a este tratamiento combinado se aumenta la dureza carbonatada por la reacción de la cal sobre el CO_2 del agua y el CO_2 agresivo se elimina por aireo o se fija sobre el CaO .

El segundo factor de ataque de las canalizaciones, la penetración de las raíces por las juntas del betún asfáltico y a través de las paredes, está ligada al primer proceso de alteración: la porosidad de los tubos consecutiva a la agresividad del agua, facilita la penetración de las raíces. Estas forman tapones que obstruyen los conductos o por lo menos reducen la sección útil de paso de agua. De ello resulta un aumento de la presión y la agravación de las pérdidas en los puntos permeables. Además, es probable que los ácidos orgánicos provenientes de las plantas aceleren el ataque de los tubos. Se ha reemplazado el betún de las juntas por un producto especial llamado « tock-joint ». Se han embadurnado las paredes exteriores de los tubos con una mezcla de alquitrán, de toluol y de pentaclorofenol. Los resultados prácticos de estos tratamientos han sido muy satisfactorios. En las condiciones locales, el precio de costo del tratamiento por herbicidas se reveló prohibitivo; en efecto, la posología útil era mucho más elevada que la que se preconiza habitualmente. Se reveló como menos costosa la limpieza de la plataforma efectuada por obreros.

Como consecuencia de la imperiosa sujeción a los escasos recursos de los presupuestos locales, se ha procurado, en la medida de lo posible, recurrir a materiales de producción local.

Por último, se ha organizado un programa educativo para la formación de personal especializado.

La tercera parte de esta memoria es un anexo consagrado a las calidades que requiere el agua de alimentación. Esta aclaración es una síntesis de los trabajos de los expertos de la Organización mundial de la Salud en 1958 y en 1962, y de la experiencia adquirida en Africa central. Se ha pasado revista a los caracteres siguientes: Normas físicas (temperatura, turbidez, color, sabor y olor, conductividad eléctrica); normas químicas (substancias tóxicas, substancias que pueden presentar un riesgo para la salud, substancias susceptibles de afectar la potabilidad, substancias indicadoras de contaminación); normas bacteriológicas (enumera-

ción de los gérmenes totales, investigación de los gérmenes indicadores de contaminación fecal); normas biológicas; normas radiológicas. También se han considerado la técnica de detección y la frecuencia de los controles.

AVANT-PROPOS

*L'eau est le meilleur de tous les dons,
Plus précieux que l'or qui brille
Comme un feu dans la nuit.*
(PINDARE, 1^{re} Olympiade, Ode 1-5)

Les découvertes de la science et de l'économie ont amplement confirmé la saisissante image de l'illustre lyrique grec. Les pays en voie de développement de la zone tropicale n'échappent pas, dans leur effort vers un mieux-être, à cette contraignante prééminence des problèmes hydrologiques, mais ceux-ci y présentent des aspects assez sensiblement différents de ceux rencontrés sous les climats tempérés. Même là où les précipitations sont abondantes, leur répartition plus tranchée au cours de l'année soumet plus étroitement les populations à leur sujétion. Les caractères physico-chimiques de l'eau sont particuliers, notamment sa turbidité, sa température, son pH et son agressivité, son degré hydrotimétrique, etc. La pollution de l'eau par l'homme et ses exonérations y est fréquente et souvent intense. Le captage et la distribution sont insuffisants et même inexistants, non seulement à cause du manque de ressources de ces collectivités pauvres, mais aussi parce qu'elles ignorent les problèmes sanitaires liés à l'eau.

Les aspects particuliers que cette situation, presque générale sous les tropiques, présente dans le milieu rural de l'Afrique centrale, sont analysés dans ce mémoire. Il développe un rapport préliminaire qui fut présenté au Septièmes Congrès de Médecine tropicale et du Paludisme (Rio de Janeiro, 1^{er}-11 septembre 1963). Dans le premier chapitre, nous avons exposé d'une manière très générale les incidences médicales et sociales des questions hydrologiques. Le second a été consacré aux études et aux réalisations dans les régions rurales du Congo, du Rwanda et du Burundi. Enfin, nous avons cru utile de faire, en annexe, une mise au point des normes actuellement applicables à l'eau de boisson.

Malgré les efforts consentis, la tâche reste immense et il en est de même dans tous les autres pays insuffisamment équipés d'Afrique, d'Asie, d'Amérique latine et d'Océanie. Mais il nous a paru utile d'exposer sous une forme qui ne prétend pas être exhaustive, la façon dont les problèmes les plus courants ont été abordés ainsi que les solutions qui y ont été apportées. Notre but sera atteint si cette étude rend quelque service aux ingénieurs et aux techniciens sanitaires, ainsi qu'aux médecins hygiénistes appelés à travailler sous les tropiques, et en général, à tous ceux dont la mission consiste à améliorer les conditions d'existence des populations rurales du Tiers-Monde.

I. EAU ET SANTÉ

1. *Rôle de l'eau et quantités requises*

Bien que l'eau ne soit pas un aliment, elle est une nécessité vitale pour l'homme et les animaux supérieurs qui meurent en quelques jours s'ils en sont complètement privés. Certes, la tolérance à la déshydratation varie suivant les espèces et les individus mais la règle est absolue. L'eau représente environ 70 % du poids de l'organisme humain, soit 50 kg d'eau pour un adulte de 70 kg. Le plasma en contient 90 %, le tissu nerveux 84 %, les poumons et les reins 80 %, les muscles 77 %, les tissus adipeux et les os 33 %. Cette eau qui irrigue véritablement l'être vivant se répartit en eau intracellulaire (50 %), interstitielle (15 %) et circulatoire (5 %). Elle est le milieu où s'opèrent les réactions physico-chimiques de la vie. Son rôle dans la régulation thermique est fondamental, surtout aux hautes températures des climats tropicaux où l'évaporation de la sueur est le principal mécanisme de l'homéothermie.

L'eau est absorbée et excrétée plus rapidement que n'importe quelle substance. A l'état normal, l'homme en élimine journellement de 1500 à 3000 ml par les reins (50 %), la peau (28 %), les poumons (20 %), les matières fécales et les autres sécrétions (2 %). Cette perte doit être compensée par un apport équivalent. Les besoins physiologiques minima sont généralement estimés à deux litres d'eau de boisson par jour. Les aliments, de leur côté, apportent un supplément d'eau: un régime moyen en fournit environ un demi-litre par jour. La consommation spontanée est plus élevée dans les pays chauds, surtout en climat tropical sec, où elle peut aller jusqu'à 4, 5, voire même 10 litres. Mais, comme tous les êtres vivants, l'homme est susceptible d'une certaine adaptation, comme le démontra l'extraordinaire expérience de Th. MONOD: pour un trajet saharien de 19 jours effectué en 1955, il établit un record de sous-consommation avec une moyenne de 1,041 litre par jour.

L'approvisionnement doit de plus faire face à la demande domestique (travaux de cuisine, soins de propreté corporelle, nettoyage de l'habitation, lessive) et assurer les besoins urbains (lavage des rues, piscines, fontaines publiques, tout-à-l'égout). La consommation générale dans l'économie du monde doit répondre de plus aux besoins des activités créées par l'homme: l'industrie, l'agriculture, la navigation. Aux Etats-Unis, elle atteint le niveau moyen de 1200 m³ par habitant et par an.

La quantité totale fournie a fort varié au cours de l'histoire. Les Romains, ces maîtres de l'hygiène publique, faisaient une énorme consommation d'eau; au temps de la Rome Impériale, la population avait quotidiennement à sa disposition 500 litres d'eau par habitant, eau amenée par 14 aqueducs. Mais après la chute de l'Empire romain, l'Europe connut un recul considérable de l'assainissement; l'hygiène du milieu était souvent comparable à ce qu'elle est encore actuellement dans maints pays insuffisamment développés et cette situation persista jusqu'à la fin du XVIII^e siècle, puisqu'en 1789 les Parisiens ne disposaient encore que de 13 litres d'eau par personne et par jour.

Ce n'est qu'au XIX^e siècle que le monde occidental reprit une conscience hygiénique; l'adduction d'eau et l'évacuation des matières usées connurent alors un nouvel essor. Aujourd'hui, aux Etats-Unis, la quantité d'eau dont dispose un citadin se rapproche en général de celle fournie à un habitant de la Rome Antique, la dépasse même dans les grandes villes.

La quantité d'eau consommée est extrêmement différente dans les diverses régions du monde; elle dépend de nombreux facteurs: climat, importance de l'agglomération, niveau social et sanitaire de la population, mode de distribution (puits publics, bornes-fontaines ou raccordements), évacuation des matières usées par le tout-à-l'égout, présence d'industries, etc. L'estimation varie dans de notables proportions selon qu'on ne tient compte que des besoins alimentaires et domestiques ou qu'on inclut dans le calcul les besoins urbains et industriels. Aux Etats-Unis, la consommation est de 400 litres dans les petites villes et de 700 litres dans les grandes. Elle est plus faible en milieu rural lorsqu'il n'y a pas de canalisation d'adduction. Ainsi selon le U.S. Joint Committee on Rural Sanitation, un ménage disposant

d'une pompe à main ne consommerait que 38 litres par jour et par tête; le chiffre monte à 57 quand un robinet existe sur l'évier de la cuisine pour atteindre 190 litres lorsque l'eau est distribuée dans toute la maison (cuisine, buanderie, douche et W.C.). L'influence du mode d'approvisionnement sur la quantité consommée est d'ailleurs une constatation générale. Ainsi des observations faites dans des plantations de Ceylan et ailleurs ont montré que les travailleurs disposant d'une prise d'eau à domicile évitaient le gaspillage qui était de règle, au contraire, aux fontaines publiques: souvent le robinet endommagé y coule en permanence.

Un facteur essentiel de l'approvisionnement est évidemment aussi l'éloignement du point d'eau. Lorsque celui-ci se trouve à grande distance, les usagers préfèrent souvent consommer sur place une eau sale et contaminée, plutôt que de devoir transporter une eau de meilleure qualité. On admet, par point d'eau, un maximum de 200 usagers qui ne devraient pas se déplacer à plus d'une centaine de mètres. En zone rurale, cette norme est rarement réalisée. Nous reviendrons sur ces diverses données de base lorsque, au deuxième chapitre, nous envisagerons la programmation de l'équipement qui fut réalisé en Afrique rurale.

2. *Origine hydrique des maladies*

L'eau contaminée dissémine des organismes pathogènes et intervient ainsi dans l'épidémiologie de nombreuses affections.

Il y a tout d'abord le groupe des maladies où l'agent causal quitte le malade par l'anus ou l'urètre et est véhiculé par l'eau jusqu'à l'homme réceptif, ce dernier s'infectant par ingestion ou par contact.

Comment se transmettent les maladies de ce *premier groupe*, souvent appelées maladies hydriques?

L'homme qui contracte une affection intestinale en buvant de l'eau polluée n'est pas contaminé par cette eau qui n'a été qu'un lieu de passage du germe infectant, mais par un autre homme, malade ou porteur, qui a souillé cette eau. C'est la théorie du réservoir vivant de virus de Robert KOCH. Cette distinction qui n'est pas purement académique, ne fait considérer

comme potable que l'eau n'ayant pas été en contact avec l'homme et ses exonérations.

Dans les villages perdus de la savane ou de la forêt tropicale, les habitants n'ont jamais envisagé la nécessité de prévoir des endroits spéciaux pour s'exonérer. Ils le font au petit bonheur, un peu partout, à quelques pas du village ou même à côté des maisons. Le « péril fécal » des auteurs français est une menace constante pour ces villages où, par ailleurs, pullulent les mouches, transporteuses de germes pathogènes. Rien d'étonnant alors dans la prédominance des infections intestinales dans ces communautés misérables.

La pollution des eaux de surface est facile à comprendre; il en va de même des puits souvent alimentés par une nappe superficielle. Les sources aussi peuvent être dangereuses quand il s'agit de résurgences. Enfin l'eau des canalisations est susceptible d'être contaminée quand les conduites sont défectueuses et momentanément en dépression.

L'allure que présentent dans les collectivités les maladies d'origine hydrique, varie avec la nature de l'agent pathogène et avec les modalités de la pollution. Les parasites relativement lourds comme les œufs de vers ou les kystes de protozoaires, se déposeront au fond de l'eau et ne détermineront que des éclosions localisées, tandis que la contamination accidentelle par des bactéries légères et mobiles, comme le vibrion cholérique et le bacille typhique, auront plus tendance à déterminer des épidémies explosives. Celles-ci se caractérisent d'abord par l'apparition brusque de nombreux cas parmi les gens se servant de la même eau, ensuite par l'arrêt de l'épidémie grâce aux mesures empêchant l'usage ou ordonnant l'épuration de cette eau. Si, au lieu d'être passagère, la pollution est permanente, la maladie deviendra endémique avec, de temps en temps, des épisodes épidémiques.

Le rôle du facteur hydrique — nous allons le voir — est d'ailleurs inégal dans les diverses maladies de ce groupe: le choléra est typiquement une affection d'origine hydrique; dans la fièvre typhoïde aussi, l'eau souillée a été la cause de certaines épidémies; par contre, ce facteur n'intervient que secondairement dans l'épidémiologie de la dysenterie bacillaire.

Les agents des infections et des parasitismes intestinaux sont des bactéries (vibrion du choléra, bacilles de la fièvre typhoïde et de la dysenterie) des protozoaires (amibe dysentérique), des virus et des helminthes.

La tête de file des maladies bactériennes est le *choléra*. L'étude classique que fit John SNOW de l'épidémie qui sévit à Londres en 1854 avait déjà montré que l'affection fut plus fréquente et plus grave dans un quartier desservi par un puits pollué. Il s'agissait de coïncidences épidémiologiques particulièrement troublantes.

En 1884, Robert KOCH isola le vibrion cholérique de l'eau des puits dans une zone endémique de l'Inde et depuis lors, maintes fois, l'analyse épidémiologique et l'isolement bactériologique confirmèrent le rôle habituel de l'eau dans l'apparition des épidémies de choléra. Ne citons que celle qui, en 1892, frappa Hambourg et deux agglomérations voisines: Altona et Wandsbeck. Cette dernière localité était alimentée par l'eau provenant d'un petit lac, tandis que Hambourg et Altona situées le long de l'Elbe, la première en amont de la seconde, prélevaient l'eau de cette rivière. Hambourg utilisait l'eau brute et rejetait ses eaux résiduaires en amont d'Altona. Mais l'eau du fleuve consommée dans ce faubourg était filtrée sur sable avant sa distribution. Wandsbeck et Altona furent les moins touchées par l'affection tandis que Hambourg lui paya un lourd tribut comme on peut le voir au tableau suivant:

TABLEAU I. — Mortalité due au choléra en 1892 dans les trois agglomérations d'Hambourg, d'Altona et de Wandsbeck.

Villes	Population	Décès	Décès pour 1.000 habitants
Hambourg	640 000	8 605	134,4
Altona	143 000	328	23
Wandsbeck	20 000	43	22

Selon les paroles même de KOCH, le choléra sévissant à Hambourg s'arrêtait aux limites d'Altona. Dans une longue rue formant frontière entre les deux villes, il y eut des cas de choléra côté Hambourg, tandis que le côté Altona était indemne.

Depuis des temps immémoriaux, le choléra se maintient dans son foyer d'origine, les deltas du Sud-Est asiatique, d'où depuis

le XIX^e siècle il a envahi tous les continents en six vagues pandémiques qui causèrent des millions de morts. C'est le type des maladies d'origine fécale où la transmission hydrique joue un rôle primordial. Son redoutable pouvoir de diffusion rend partout sa pénétration toujours possible; la grave épidémie du Caire, qui fit 20 000 victimes en 1947-1948 fut une menace directe pour l'Europe et pour l'Afrique entière.

La fièvre typhoïde est une autre maladie dont les rapports épidémiologiques avec l'eau ne sont plus à démontrer. Ce rôle de l'eau semble avoir été mis en évidence pour la première fois dans le petit village suisse de Lausen en 1872. Ce village était alimenté par un puits dont l'eau était distribuée par bornes-fontaines. A peu de distance de cette agglomération, dans la vallée de la Fürler, séparée de Lausen par une colline, on reconnut quelques cas de fièvre typhoïde. Deux mois après que le premier eut été observé, l'affection apparut dans le village où il y eut plus de 100 malades durant les quatre premières semaines; seules furent épargnées les familles disposant de leur propre puits. La distribution des cas s'expliquait par l'existence d'une connexion directe et souterraine entre le puits communal et un ruisseau de la Fürler qui passait à proximité de la maison du premier typhoïdique et avait été pollué par les selles du malade. Depuis lors, de nombreux épisodes semblables ont été signalés. Dans tous les pays développés, l'amélioration de l'approvisionnement en eau a été suivie d'une baisse de l'endémicité typhique. C'est ainsi qu'en Belgique, de 1860 à 1880, le nombre des communes possédant une distribution d'eau passait de 25 à 161: à cette époque, 4 000 personnes mouraient annuellement de fièvre typhoïde. En 1939, 935 communes étaient dotées d'adductions et le nombre de décès par la maladie n'était plus que de 100 par an. Actuellement, plus de la moitié des communes belges ont une distribution d'eau et, comme celles qui n'en possèdent pas sont en général les moins importantes numériquement, on peut dire que la grande majorité de la population belge dispose d'une distribution d'eau; parallèlement à ce progrès, la mortalité est tombée de 4-5 décès par an.

La fréquence des fièvres typhoïde et paratyphoïdes d'origine hydrique est parfois sous-estimée dans les pays tropicaux; d'abord, par suite de la rareté des laboratoires équipés pour poser le diagnostic bactériologique de certitude; ensuite, du fait de la confusion probable de beaucoup de cas de ces maladies dans le vaste groupe des « fièvres indéterminées ». Aussi les chiffres relevés dans les rapports médicaux officiels sont-ils certainement en-dessous de la réalité: 1 308 cas au Congo en 1958; 1 198 cas au Ruanda-Urundi en 1960.

La transmission par l'eau contaminée n'a certainement pas dans l'épidémiologie de la *dysenterie bacillaire* la place dominante qu'elle occupe dans celle du choléra et des infections typhoparatyphiques. S'il n'a jamais été établi que *Shigella shigae* ait été l'agent d'une épidémie hydrique, des bacilles fermentant la mannite en ont été incriminés. Citons l'observation de J. JADIN et de ses collaborateurs qui, à l'aide d'une ingénieuse technique de concentration, ont isolé 9 souches de bacilles dysentériques des eaux du lac Kivu et une souche de celles du lac Tanganyka. La plupart des auteurs admettent la possibilité de l'origine hydrique de la dysenterie bacillaire dans les collectivités tropicales sans organisation sanitaire, ni éducation fécale, ni distribution d'eau potable, bref dans des conditions de souillure massive de l'eau.

En Afrique centrale, de vastes campagnes de vaccination et un large emploi de la chimiothérapie par les sulfamidés ont considérablement réduit l'incidence de la maladie. Au Congo, au cours des dernières années de l'Administration belge, de 4 000 à 6 000 cas de cette maladie déterminaient annuellement de 100 à 200 décès, au Ruanda-Urundi, en 1960, plus de 4 000 cas avec près de 100 décès.

Le groupe étendu des *gastro-entérites et des colites* comprend certainement, surtout en pathologie tropicale, un grand nombre de cas frustes des maladies spécifiques que nous venons de passer en revue, ainsi que beaucoup d'affections à étiologie moins précise. Le rôle de l'eau dans leur fréquence ressort d'informations publiées par l'Organisation Mondiale de la Santé: à Porto-Rico, la modernisation du système d'eau et des égouts, qui avait été entreprise en 1945, a fait passer le nombre de canalisations de

70 000 à 236 000; parallèlement le taux de mortalité par diarrhée et entérite a baissé de 480 à 62 pour 100 000 habitants. Au Congo, on a observé certaines années jusqu'à 50 000 cas de gastro-entérites et de colites.

La mortalité et la morbidité intestinale sont considérables dans le Tiers-Monde. En Inde et pour la période allant de 1940 à 1950, on a relevé 27 438 000 décès par maladies intestinales. Dans les pays développés la réduction de la mortalité infantile et de la part prise dans cet indice par les affections intestinales est incontestablement attribuable, en grande partie, à l'assainissement du milieu (approvisionnement d'eau potable et évacuation des matières usées) et contraste avec les taux élevés qu'on enregistre dans des Etats moins favorisés, comme en témoigne le tableau suivant dont nous empruntons les données aux Statistiques épidémiologiques et démographiques annuelles, 1959, de l'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S.).

Pays	Mortalité infantile (taux pour 1 000 naissances vivantes)	Décès par diarrhée infantile et entérite, enfants de moins de quatre semaines exclus %
Egypte (1958), localités à bureau sanitaire	145	54,2
Portugal (1959) et îles adj.	88,6	30,5
Mexique (1959)	74,4	21,4
Venezuela (1959)	55,3	16,8
Belgique (1959)	30,4	1,7
Suisse (1959)	22,2	1,9
Suède (1959)	16,6	1,4

Mais même dans les pays à haut standing hygiénique les contaminations d'origine hydrique n'ont pas disparu. Le Committee on Water Supply of the American Public Health Association a publié, en 1938, un relevé des épidémies d'origine hydrique sur-

venues aux Etats-Unis de 1930 à 1936 en les classant d'après l'origine de la pollution.

Point de pollution	Epidémies	Cas de fièvres typhoïde	Cas de diarrhée et dysenterie	Total des personnes malades
Eau de surface non traitée	34	442	3 283	3 725
Eau souterraine	64	1 378	1 780	3 188
Contamination de réservoirs et citernes	4	17	196	213
Contrôle insuffisant du traitement	15	608	9 678	10 286
Contamination dans le système de distribution	15	287	1 975	2 266
Divers	38	448	1 969	2 417
Total :	170	3 180	18 881	22 095

Si nous avons cru utile de citer cette statistique qui concerne un pays riche, c'est parce qu'elle nous autorise à en inférer, sans extrapolation abusive, que l'intervention de l'eau contaminée dans l'épidémiologie des infections intestinales doit être considérable dans les pays pauvres des tropiques.

Voisine des bactéries se situe la classe des spirochètes. Parmi les maladies dont ils sont les agents, la *leptospirose* a une épidémiologie particulière dans laquelle le véhicule hydrique est dominant. Il s'agit d'une zoonose, c'est-à-dire d'une infection des animaux, pouvant éventuellement passer sur l'homme. Les réservoirs animaux sont multiples; les rongeurs sont les plus typiques. Leur urine répand des leptospires pathogènes dans les eaux de surface qui infectent l'homme par ingestion ou, plus généralement, par contact: les spirochètes pénètrent à travers la peau excoriée ou même peut-être intacte. La maladie — on le comprend — est souvent professionnelle et sévit notamment dans les mines souterraines et alluvionnaires, dans les cultures irriguées depuis les rizières du Japon et de l'Italie du Nord jusqu'aux plantations de canne à sucre d'Australie, etc. La leptospirose est très répandue dans la zone tropicale. Dans les villages congolais, 20 % des

habitants pris au hasard ont un sérodiagnostic positif, dans les zones minières ce pourcentage peut s'élever à 50 %.

Parmi les *maladies causées par les protozoaires*, la *dysenterie amibienne* mérite une mention spéciale. Si la forme végétative de l'amibe meurt rapidement dans l'eau, les kystes peuvent y survivre un mois et, s'ils sont ingérés, déclencher un nouveau cycle d'infection. En faveur de l'origine hydrique de l'amibiase plaide sa disparition des groupements humains où a été réalisée une épuration. D'ailleurs, quelques épidémies amibiennes bien étudiées étaient consécutives à des contaminations directes, massives et presque continues de l'eau de boisson par du matériel fécal. Ce fut le cas notamment en 1933-1934 à Chicago où 1 200 cas d'amibiase furent observés dans la clientèle de deux hôtels; les enquêteurs conclurent à la pollution de l'eau de consommation par suite d'une intercommunication entre ses canalisations et celles évacuant les eaux usées vers les égouts. Au Congo, au cours des dernières années du régime belge, de 27 000 à 34 000 cas de dysenterie amibienne étaient soignés annuellement par les services gouvernementaux, avec 300 décès; au Ruanda-Urundi 9 000 habitants souffraient d'amibiase en 1960.

La transmission par l'eau des *entérovirus* est normalement à redouter. Celui de la poliomyélite a une longue survie dans le milieu extérieur et résiste remarquablement à la compétition microbienne dans les matières usées liquides. Des flambées épidémiques en ont été attribuées à la consommation d'eau contaminée, mais certains auteurs considèrent que la preuve de leur origine hydrique n'est pas faite. Un millier de cas de cette virose cosmopolite sont observés chaque année dans la population congolaise, de même que 3 000 cas d'hépatite épidémique. Dans cette dernière affection aussi la voie hydrique a été incriminée par les expériences de NEEFE et les observations épidémiologiques faites à Delhi où, en 1955, une épidémie de 29 300 cas éclata à la suite de la contamination des eaux de la rivière Jammu par l'effluent des égouts.

Enfin, l'homme peut, à partir de l'eau, être contaminé par certains *helminthes*. Bien que le sol semble constituer pour les œufs et les larves d'ankylostomes, un meilleur gîte que l'eau et que d'autre part, la pénétration transcutanée du parasite soit de

loin sa porte d'entrée la plus fréquente, la contamination par ingestion d'eau est néanmoins possible. Plus significatif est probablement le rôle de l'eau dans l'ascaridiose, où l'homme s'infecte par ingestion d'œufs embryonnés dont la résistance dans le milieu extérieur est remarquablement élevée.

En 1958, 476 000 Congolais furent traités pour ankylostomiase et 597 000 autres pour d'autres helminthiases et des infestations mixtes; pour les mêmes affections, on trouve dans les statistiques du Ruanda-Urundi pour 1960 respectivement 19 000 et 281 000 cas.

On voit combien est étendue et variée la gamme des maladies hydriques.

* * *

Dans un second groupe de maladies, l'eau est le biotope des hôtes intermédiaires. Les *bilharzioses* résultent de l'infestation par des helminthes des vaisseaux profonds du petit bassin. Le cycle de la transmission est, dans ses grandes lignes, le même pour les deux formes de la maladie qui sévissent en Afrique et en Amérique tropicale: la bilharziose intestinale et la bilharziose urinaire. Dans l'eau contaminée par les selles ou l'urine d'un malade ou d'un porteur, une larve mobile sort de l'œuf du trématode, pénètre dans le corps de certains mollusques qui servent d'hôte intermédiaire, y poursuit son évolution qui aboutit à l'émission de cercaires; ceux-ci nagent à la recherche de l'hôte définitif, l'homme; ils traversent, par un mouvement de vrille, les téguments souvent macérés par le séjour dans l'eau. La pénétration par voie buccale est aussi possible.

Maladies très anciennes de l'histoire humaine, les bilharzioses affectent dans le monde 150 millions d'êtres humains; les pertes qu'elles entraînent par incapacité de travail et séquelles de tout ordre pèsent lourdement sur l'économie des collectivités tropicales. En Afrique centrale, la bilharziose intestinale est véritablement indigène; 49 000 malades furent soignés en 1958 pour cette affection par les services médicaux officiels du Congo. La bilharziose urinaire, par contre, est un parasitisme importé; 11 000 personnes ont été atteintes en 1958.

* * *

Dans un troisième groupe les eaux de surface jouent le rôle épidémiologique d'offrir un refuge aux formes larvaires de l'insecte vecteur: paludisme, fièvre jaune, filarioses, méningo-encéphalites virales. Les problèmes que soulève la prophylaxie de ces maladies sortent un peu de notre sujet. Nous voudrions pourtant à ce propos souligner les multiples effets indirects qu'une politique de l'eau peut exercer sur leur incidence. Dans la fièvre jaune — pour ne prendre qu'un exemple —, le terrible *vomito negro*, cette virose qui jadis semait l'effroi sur les côtes africaine et américaine de l'Océan Atlantique, le transmetteur est un moustique urbain, *Aedes aegypti*. La femelle fécondée dépose ses œufs aux abords des habitations dans n'importe quel récipient contenant de l'eau, entre autres dans les « tanks », les réservoirs ouverts placés près des maisons. La suppression de ces gîtes larvaires éventuels par l'introduction d'un autre approvisionnement d'eau est une mesure antiamarile d'efficacité reconnue.

Des conséquences indirectes du même ordre se font sentir dans l'endémicité de la maladie du sommeil à *Trypanosoma gambiense*. Ici le vecteur, *Glossina palpalis*, ne présente pas de stade aquatique; la femelle fécondée de cette mouche tsé-tsé pond des larves qui s'enfoncent à 1 ou 2 cm dans les sols meubles, se transforment en pupes immobiles d'où sortiront les adultes ailés. Cette évolution exige de la chaleur, de l'humidité et de l'ombre; le biotope par excellence de cette espèce hygrophile est constitué par les galeries forestières le long des rivières et des lacs africains; c'est là que l'homme est piqué et infecté. On comprend que l'installation d'une prise d'eau dans un village où sévit cette redoutable endémie limitera fortement les risques de contamination d'une partie de la population; elle supprimera, en effet, les stationnements, pour puiser de l'eau, au bord des cours d'eau infestés de *Glossina palpalis*.

* * *

Il importe ici de faire une remarque qui intéresse spécialement les ingénieurs chargés de travaux d'adduction d'eau potable en zone tropicale. Ils ne doivent jamais perdre de vue le cycle épidémiologique des maladies du deuxième et du troisième groupe. La multiplication des plans d'eau sur de grandes étendues aboutit

fatalement, si on n'y prend garde, à la création de gîtes anophéliens et à la pullulation de mollusques aquatiques. En l'absence de mesures sanitaires adéquates, une alarmante aggravation de maladies endémiques existantes compromettra ou même réduira à néant les heureux résultats économiques obtenus à grand'peine. Il ne faut pas éviter le Charybde de la soif et de la contamination hydrique pour tomber dans le Scylla du paludisme et de la bilharziose. Pour cela il est indispensable que, dès le début des travaux et continuellement au cours de leur avancement, l'hygiéniste tropical surveille, dans les collections d'eau, le développement des invertébrés transmetteurs et dispose de moyens efficaces pour les combattre. Sa collaboration étroite avec l'ingénieur est la condition *sine qua non* du succès de l'entreprise.

3. *Autres implications du problème de l'eau dans la santé publique*

La revue de toutes ces maladies dans lesquelles l'eau joue un rôle direct ou indirect ne clôture pas la liste de ses interventions dans la pathologie infectieuse de l'homme. L'insuffisance d'eau a aussi comme conséquence une hygiène corporelle défectueuse. HANSEN écrivait que le savon est la meilleure protection contre la lèpre et cette opinion peut être étendue à toutes les affections si répandues sous les tropiques où, par suite du paupérisme et aussi parfois de la pénurie d'eau, l'état de la peau mal soignée facilite la pénétration des germes de maladie.

Certes, dans les pays tropicaux en développement, les maladies transmissibles sont restées les grands ennemis de leurs populations déshéritées; au premier plan des fléaux sociaux s'y impose encore la virulence des infiniment petits dont PASTEUR nous a révélé l'existence. Mais à côté de ce péril infectieux, l'action agressive du climat sur les sols tropicaux, le faible rendement de ces derniers, la médiocrité de l'élevage expliquent la gravité des problèmes alimentaires, non seulement en ce qui concerne l'insuffisance de l'apport global, mais aussi et surtout par suite du mauvais équilibre de la diète et de ses carences en principes essentiels, avant tout en protéines. La pathologie de ces pays est dominée par le complexe malnutrition-parasitisme. Ces deux

facteurs sont d'ailleurs si intimement mêlés qu'il n'est souvent pas possible de préciser leur rôle respectif. Or dans un monde où l'accroissement des subsistances ne rejoint pas celui de la population, la menace de manquer d'eau assombrit l'avenir alimentaire de l'humanité. Faut-il rappeler que la production par la nature d'un kg de matière végétale sèche ou de produit animal nécessite l'intervention de centaines de litres d'eau? Enfin, la fertilisation des sols par l'irrigation est l'un des rôles essentiels de l'eau dans l'économie tropicale.

Ajoutons enfin que le besoin d'eau n'est pas seulement physiologique: la propreté suscite un sentiment de bien-être, favorise l'activité de l'individu et sa productivité.

4. Aspect social du problème de l'eau

L'eau n'est pas seulement indispensable à la vie de l'homme, son importance sociale et économique pour les collectivités humaines est de loin plus étendue et plus variée.

Le monde, en effet, est menacé par un dramatique manque d'eau; ce n'est pas une des moins graves répercussions de la prodigieuse expansion démographique. Les êtres humains qui n'étaient que 1 milliard 600 millions en 1900 sont à présent au nombre de 3 milliards: au rythme actuel d'accroissement, 1,8 % — le plus élevé qu'on n'ait jamais enregistré — ils seront 6 milliards en l'an 2000, 20 milliards en 2100. Or il n'existe à la surface du globe terrestre que 20 000 km³ d'eau douce disponibles par an. Il en résulte qu'au taux actuel des Etats-Unis (1 200 m³/an/habitant) 20 milliards d'habitants représentent un plafond pour la population du globe. Au cours de ces dernières années, l'écart entre le nombre des hommes et la couverture de leurs besoins en eau n'a cessé de s'accroître. C'est ainsi qu'en dépit d'efforts d'équipement à grande échelle en Amérique latine et en Afrique centrale — ces derniers étant le principal objet de ce mémoire — l'augmentation de la population fait baisser chaque jour la proportion de ceux ayant facilement accès à un point d'eau convenable.

Dans ce domaine, comme en tant d'autres, la richesse est encore fort inégalement répartie entre les peuples. D'après l'O.M.S.,

70 % de la population du monde est mal approvisionné en eau salubre. C'est dans les pays en développement que la carence en eau est la plus aiguë. Cette pénurie peut à juste titre figurer parmi les critères du sous-développement, mais elle se présente de façon un peu différente dans les divers pays du Tiers-Monde.

Dans les régions tropicales à forte densité démographique comme dans les deltas du Sud-Est asiatique ou, en Afrique centrale, le Ruanda et le Burundi, la surpopulation favorise la contamination des approvisionnements d'eau, mais de plus les habitants et les animaux domestiques, ces commensaux des sociétés humaines, en particulier le bétail, ne disposent que d'une quantité de loin insuffisante. De même, les populations de la zone désertique, où les précipitations sont extrêmement réduites, souffrent d'un angoissant manque d'eau. Ailleurs, dans d'immenses espaces faiblement peuplés tel le bassin de l'Amazone ou celui du Congo, c'est moins cet aspect quantitatif que, par suite du niveau médiocre de l'hygiène du milieu, les dangers de la pollution hydrique qui sont préoccupants pour les autorités responsables.

Partout la proximité d'un point d'eau est un des soucis majeurs des villageois. Dans maints pays, le travail qu'entraîne la corvée de l'eau est véritablement accablant: rappelons-en l'émouvante évocation dans le film japonais « L'île nue ». Nous verrons combien, avant la mise en service d'adductions, la situation était, à cet égard, véritablement dramatique dans les plaines de laves du nord du Rwanda et de la région voisine du Congo. Le spectacle de la femme portant un récipient d'eau sur la tête a bien souvent inspiré les peintres, les sculpteurs et les poètes. Cependant GOETHE n'eût point trouvé dans les campagnes tropicales le cadre idyllique convenant à Hermann et Dorothee. Le fond de la scène du prélèvement de l'eau du ménage est bien souvent constitué par une mare, témoin d'activités variées: lessive, toilette, préparation du manioc, et au voisinage de laquelle les villageois s'exonèrent habituellement.

Enfin l'industrialisation, qui exige une énorme masse d'eau et qui a pris un si rapide départ dans le monde tropical, aggrave encore la menace véritablement angoissante de manquer d'eau.

Ce problème de l'eau est en somme associé à tous les aspects de cet « état complet de bien-être physique, mental et social » qu'est la santé, suivant la définition qu'en a donnée en 1946 l'Acte constitutif de l'O.M.S. Lorsqu'on en cherche une solution, on se heurte souvent dans les pays tropicaux, à des difficultés d'ordre psychologique, politique, éducatif et financier:

1. Sur le plan psychologique, la notion ancestrale que l'eau est un don du ciel, rend les gens rétifs à toute tentative de la rendre payante, mesure pourtant indispensable à toute modernisation de la distribution.
2. Il en résulte que les gouvernants sont peu enclins à inscrire à leurs budgets pour des réalisations de cet ordre, des dépenses, qui risquent d'être impopulaires.
3. Le manque d'ingénieurs sanitaires et de techniciens spécialisés entrave la mise en œuvre de tout programme d'adduction d'eau.
4. Les investissements qu'exigent l'adduction et le traitement de l'eau destinée aux hommes et aux animaux sont considérables.

Quelques chiffres nous fourniront un ordre de grandeur. On lit, dans un communiqué récent de l'O.M.S., qu'un but que la décennie pourrait atteindre serait de doubler la proportion des populations urbaines qui ont accès à des adductions d'eau saine: le coût approximatif serait de 400 millions de dollars par an jusqu'en 1970. Une estimation relative au milieu rural a été avancée pour l'Inde. Ce pays compte un demi-million de villages, le simple fait d'y installer un modeste puits muni d'une rudimentaire pompe à main coûterait quelque 70 millions de dollars, c'est à dire trois fois et demi le budget de l'O.M.S. en 1960. De tels sacrifices financiers dépassent évidemment les moyens des Etats intéressés. Comme l'écrit le grand démographe A. SAUVY: « Ce sont les plus dénués de ressources qui ont les charges les plus lourdes ». Nous sommes ici dans un domaine où, comme dans tant d'autres, s'impose d'une façon impérieuse une collaboration technique internationale.

Il a été bien démontré que cette assistance des pays riches aux pays pauvres s'est avérée d'une efficacité inégale ou même

douteuse sous la forme de prêts ou de dons. Sa seule forme socialement payante est l'aide technique; ce sont moins des capitaux que les organisations internationales doivent prêter aux pays insuffisamment développés que des hommes, ce sont des techniciens munis du matériel nécessaire qui peuvent le plus efficacement faire sortir de grandes masses humaines de l'ornière du paupérisme. De plus, il faut intensifier et améliorer sur place l'enseignement d'un tel personnel.

II. ETUDES ET RÉALISATIONS DANS LES RÉGIONS RURALES DU CONGO, DU RWANDA ET DU BURUNDI

1. Zones à desservir

Les territoires où furent entreprises les études et les réalisations, que nous résumons dans ce mémoire, sont situés à cheval sur l'équateur, entre 5°20'N et 13°30'S, et s'étendent de l'océan Atlantique jusqu'au cœur du continent africain à 31°15'E. Précédemment sous administration belge, ils comprennent maintenant trois Etats indépendants: la République du Congo, la République du Rwanda et le Royaume du Burundi. On peut, dans ce vaste ensemble, distinguer deux parties nettement différentes tant au point de vue de la densité de la population, que de celui de la configuration géographique: le Congo, d'une part, le Rwanda et le Burundi, d'autre part. Au faible peuplement du premier de ces pays s'oppose la surpopulation des deux autres:

	Superficie (km ²)	Population (millions)	Nombre d'habitants au km ²
République du Congo	2 345 000	15	6
République du Rwanda	37 000	2,7	73
Royaume du Burundi	19 000	2,3	121
Total :	2 401 000	20	

En plus de ce contraste démographique, celui que présente la configuration géographique est frappant. D'un côté, une vaste cuvette, au fond étalé à des altitudes inférieures à 400 m et drainé par le fleuve Congo et ses affluents, est délimitée par un bourrelet périphérique irrégulier. De l'autre, à l'est de la République du Congo s'élèvent les hauts plateaux du Rwanda et du Burundi, au relief profondément découpé, avec des sommets volcaniques dépassant les 4 000 mètres. En plus des différences entre ces deux grandes zones, les particularités régionales accentuent encore la multiplicité des problèmes que pose l'alimentation en eau des habitants.

Dans toute l'Afrique centrale, des cycles d'érosion échelonnés à diverses périodes ont laissé subsister une succession de surfaces d'aplanissement en plages d'étendue variable. Le sous-sol est formé de roches altérées ou, le plus généralement, de dépôts superficiels meubles d'argile, de sable, de graviers et parfois de formations latéritiques. Les dépôts superficiels, comme aussi ceux des plaines alluviales, sont susceptibles d'héberger une nappe aquifère importante quand ils ont une étendue et une épaisseur suffisante et qu'ils possèdent un soubassement imperméable.

En raison de la grande dispersion de la population, les captages — par puits creusés ou forés et par fontaines — ont principalement portés sur les nappes superficielles. Dans certains cas cependant il a fallu avoir recours à des nappes plus profondes localisées dans des roches poreuses, ou soumises à des altérations favorables, ou simplement disloquées.

On conçoit facilement les difficultés que présente la localisation des captages, en raison de l'étendue et de l'épaisseur variable des nappes ainsi que de leur alimentation irrégulière.

Dans ce pays, comme partout, l'effort fut porté d'abord sur les problèmes hydriques nés des concentrations urbaines ou des activités industrielles et minières: fourniture d'eau à usage domestique ou industriel dans les agglomérations, captation de l'énergie hydroélectrique, etc.

Sous l'égide directe des autorités ou grâce aux dispositions légales imposées par elles aux employeurs, ou même à l'initiative de ceux-ci, l'approvisionnement en eau de près de deux millions des habitants des centres urbains et industriels avait, fin 1948,

été organisé (Regideso). Mais, 13 millions d'Africains vivant dans les innombrables villages éparpillés sur un territoire aussi vaste que l'Europe occidentale, prélevaient et buvaient l'eau à la façon souvent peu heureuse des coutumes ancestrales.

Des efforts méritoires, quoique sporadiques avaient été à l'origine de quelques puits ou fontaines, parfois même d'une installation plus complète au bénéfice de villages, d'écoles ou d'hôpitaux. Mais d'une manière générale, la situation était restée celle de tous les pays tropicaux avant l'introduction de la technique sanitaire moderne. L'absence d'études d'ensemble et l'insuffisance de moyens opératoires limitaient en effet le champ d'action de ces tentatives isolées.

Le 1^{er} juillet 1947, le Prince CHARLES, Régent de Belgique, créa un établissement, le Fonds du Bien-être Indigène (en abrégé F.B.I.) chargé de promouvoir le développement matériel et moral de la société rurale du Congo, du Rwanda et du Burundi. Cette institution plaça le problème de l'approvisionnement en eau au premier plan de ses préoccupations. Les ingénieurs et les techniciens de son Service hydrologique ont acquis une expérience de premier plan dans la recherche, l'évaluation, le captage et l'utilisation des nappes d'eaux souterraines. Les travaux qu'ils ont poursuivis de 1948 à 1963, les difficultés qu'ils ont rencontrées et les procédés qu'ils ont mis au point pour y faire face, sont brièvement résumés dans ce chapitre.

2. Quantité d'eau à distribuer

Une donnée de base de toute programmation est évidemment l'estimation des besoins à couvrir. C'eût été un manque de bon sens que de choisir comme élément de référence les consommations urbaines dans les pays développés; il faut plutôt se rappeler celles, citées au premier chapitre, du Parisien au XVIII^e siècle (13 litres) et, actuellement encore, de l'habitant de certaines régions rurales nord-américaines (38 litres). Des plans utopiques sont toujours moins efficaces que des programmes qui, pour combler le retard des pays tropicaux, partent de points de départ modestes. C'est dans cet esprit que le chiffre de 30 litres a été adopté comme strict minimum individuel avec

l'espoir d'atteindre le plus rapidement possible le taux journalier de 50 litres, l'apport supplémentaire d'installations communautaires (douches, lavoirs) étant éminemment souhaitable. Pour les établissements hospitaliers et scolaires, les normes suivantes ont servi de base à l'estimation des besoins:

Consommation d'eau, en litres, par tête et par jour

Ecoliers externes sans douche	2
Ecoliers externes avec douche	10
Ecoliers internes (tous soins compris)	50 à 100
Cuisine et réfectoire	20
Hôpitaux (par malade hospitalisé, tous soins compris)	200

Les problèmes des qualités à exiger d'une eau potable est si important et si complexe que nous avons cru bon de lui consacrer une annexe.

3. Solutions adoptées

Le recours à l'eau souterraine a été possible pour assurer l'alimentation de 99 % de la population desservie. Là où des ressources suffisantes furent trouvées dans le voisinage du village, celles-ci furent atteintes par un captage vertical (puits) ou horizontal (fontaines). Dans les régions dépourvues d'eaux superficielles et où les couches aquifères sont malaisément accessibles, comme les plaines de lave, il fallut recourir à des adductions distribuant l'eau par gravité ou par pompage.

A. Puits

Ils offrent pour les usagers l'avantage d'une proximité souvent immédiate. En outre, en cas de nappes peu profondes, un procédé de captage relativement simple permet la multiplication des points d'eau pour les intéressés. Enfin, en cas de formations aquifères profondes, l'accessibilité de l'eau est assez aisée, même à travers de mauvais terrains.

Deux types de puits ont été utilisés:

1° Puits creusé (Photo 1)

Il comporte un cuvelage composé d'anneaux de béton de 0,8 m ou 1 m de diamètre et de 1 m de hauteur et est équipé d'une pompe à balancier avec piston dans le corps de pompe pour les profondeurs inférieures à 8 m ou dans une travaillante descendue dans le puits pour des profondeurs de 8 à 15 m. La pratique a montré, qu'il est préférable de ne pas dépasser cette dernière profondeur. L'exécution de pareils puits est peu exigeante en matériel et en matériaux et est à la portée d'une main-d'œuvre peu spécialisée. Elle ne permet que des prélèvements modestes à partir de nappes de puissance restreinte.

Une remarque générale s'applique à l'organisation de tous les travaux d'approvisionnement d'eau. Si l'on veut tirer le meilleur parti des effectifs et du matériel et réduire le coût de l'exécution, il y a lieu de veiller à ce que les programmes soient suffisamment étoffés et de s'efforcer de grouper les chantiers. Le prix de revient d'un puits de 8 à 10 m de profondeur creusé dans un chantier groupe a atteint 30 000 à 40 000 F, tandis qu'il s'accroissait de 50 % et davantage lorsqu'il s'agissait de creuser un puits isolé.

2° Puits foré (Photo 2)

Le forage se fait soit à sec, soit par injection d'eau, soit par un système mixte. La dimension standardisée de 10 cm de diamètre s'est imposée le plus couramment. Un tube filtrant pénétrant dans la nappe aquifère est prolongé jusqu'à la surface du sol par un tube aveugle; une pompe rotative à volant complète l'équipement. La plus grande profondeur accessible par ce procédé diminue les risques de pollution; il donne aussi plus de liberté dans le choix de l'emplacement. Mais, si réduit qu'on puisse le rendre, le matériel mis en œuvre est assez pondéreux, ce qui pose des problèmes d'accès et de transport.

Le prix de revient d'un puits foré, en terrain meuble, de 30 mètres de profondeur, avec équipement métallique a varié de 108 400 à 116 400 F pour un puits isolé et de 82 600 à 90 600 pour un puits intégré dans un programme de 50 puits. L'usage

de filtres et de tuyaux de revêtement de PVC pourrait entraîner pour de tels puits une économie de 8 000 F.

1 634 puits ont été mis en place au Congo et 795 au Rwanda-Burundi, au total 2 429 puits, creusés ou forés.

B. Fontaines (Photo 3)

Le cas le plus simple de captage horizontal est celui où l'exutoire d'une nappe est une source localisée et bien dégagée, mais généralement le captage doit réunir des venues assez confuses à l'aide de drains abrités dans une tranchée ou une galerie. L'ouvrage captant aboutit à la chambre de départ de la fontaine. Au Congo, le type de fontaine généralement choisi était réalisé en béton coulé, à l'intervention d'un coffrage extensible. Ce dernier permet une meilleure adaptation de l'équipement aux conditions locales, à l'importance du débit disponible et au nombre des usagers. L'ensemble était souvent complété par un baquet de lessive et un bassin permettant les ablutions. Le prix de revient atteignait facilement 50 000 F. Le relief profondément découpé du Rwanda-Burundi rend la corvée d'eau particulièrement pénible pour la population si dense de cette région; il suscite, de plus, des difficultés dans l'acheminement du matériel et des matériaux à pied d'œuvre. Dans ces conditions il a paru indiqué de multiplier de petites fontaines, pour lesquelles un équipement assez rudimentaire fut mis au point: une douzaine de dalles et rigoles préfabriquées en béton vibré auxquelles s'adjoignent des tuyaux légers perforés ou non et quelques matériaux; le tout pèse moins d'une tonne et l'assemblage se fait sur place. Le coût d'une de ces petites fontaines s'établissait entre 5 000 et 10 000 F.

Par captage horizontal, 1 355 fontaines ont été installées au Congo et 20 111 au Rwanda-Burundi, soit au total 21 466 points d'eau.

C. Adductions

Des captages horizontaux ont alimenté aussi la plupart des adductions. Nous nous limiterons à celles qui desservent les plaines de lave du nord du Rwanda (143 km) et la région attenante

de la République du Congo (49 km). Dans cette zone, l'eau de pluie traverse rapidement les cendres volcaniques et les couches de lave fissurée; il n'y a ni source, ni rivière; une population dense attirée par la fertilité du sol souffre intensément d'une carence hydrique quantitative. Avant la mise en service des adductions, les villageois devaient parfois se déplacer jusqu'à 15 km pour se ravitailler en eau.

Le forage, à travers la lave, de puits profonds a été écarté dès le début pour plusieurs raisons. D'abord, la très grande dureté des laves rendait prohibitif le prix de revient de ce procédé. Ensuite la moyenne de profondeur des puits aurait dépassé 100 m. En outre, l'installation et le fonctionnement de pompes à main auraient été difficiles à de telles profondeurs. Enfin, les géologues estimaient que les nappes d'eau, bien qu'abondantes, étaient limitées aux anciennes dépressions du socle, existant avant le dépôt des laves; d'après leurs estimations, un puits seulement sur quatre aurait atteint une telle nappe.

La solution retenue a donc été l'adduction d'eau prélevée dans la zone périphérique. Les régions à alimenter se trouvaient sensiblement aux mêmes altitudes que les ressources d'eau exploitable. Plusieurs adductions n'ont de ce fait dû recevoir qu'une pente relativement faible (3 ‰). D'autre part les débits demandés étaient destinés à alimenter en eau une population nombreuse et dense. Des tuyaux d'un diamètre relativement grand variant de 120 à 260 mm permirent de faire face à ce desideratum. Enfin, le prix d'un mètre de conduite en acier de 250 mm était d'environ 1 000 F, tandis qu'un tuyau en béton de 260 mm de même longueur, fabriqué sur place, revenant à environ 180 F, c'est-à-dire à un prix cinq à six fois inférieur à celui de l'acier; le choix se porta donc sur le béton. Le prix des adductions avec pompage et refoulement s'établissait en moyenne entre 80 000 et 100 000 F le km.

Les premières canalisations furent mises en service en 1954 et deux ans et demi plus tard, des altérations sérieuses des tubes de béton furent constatées. Elles étaient causées par deux facteurs associés, l'agressivité de l'eau et la pénétration des racines dans les canalisations. Nous envisagerons successivement ces deux agents d'attaque des canalisations.

4. Mesures contre l'agressivité

Il s'agit d'une situation qui est fréquemment rencontrée en zone tropicale et qui sera envisagée de plus près dans l'*Annexe*. Les eaux y ont souvent un pH inférieur à 7 et même à 6; leur teneur élevée en CO₂ les rend agressives. Elles sont pauvres en sels calcaires; ce sont des eaux douces à degré hydrotimétrique bas. L'absence ou la minceur de la protection que constituent les dépôts calcaires expose particulièrement les tuyaux à l'agressivité de l'eau; aussi s'efforce-t-on d'élever sa dureté à 8-10° français pour favoriser la formation d'un dépôt carbonaté.

Au Rwanda il fut constaté que l'enlèvement du CaO du ciment par l'eau agressive augmentait la porosité de ce matériau et diminuait, de ce fait, sa cohésion initiale: par simple pression du doigt, on arrivait à enlever des grains de sable et de fin gravier. Le phénomène était très net le long de la génératrice inférieure où des plaques humides prouvaient que l'eau avait traversé la paroi pour être absorbée par le terrain volcanique fortement hygrophile et par des racines, dont nous verrons plus loin le rôle adjuvant dans l'altération des matériaux. Cette perméabilité aboutissait finalement à une fuite plus ou moins importante. L'altération constatée était inversement proportionnelle au diamètre des tuyaux, ceux ayant le plus petit diamètre, 120 mm, étaient le plus atteints.

La *photo 4* montre une nipple galvanisée de 1 1/4", rongée par l'eau non traitée, après une durée de service d'environ 18 mois. Les conduites en béton se désagrègent encore plus rapidement (*Photo 5*).

Nous allons passer en revue les mesures générales contre l'agressivité.

1° Protection mécanique des matériaux.

Des essais ont été tentés pour reconstituer les parois déjà endommagées par l'envoi répété dans la canalisation, tronçon par tronçon, d'un lait de différents ciments notamment de ceux à prise rapide; les résultats ne furent pas satisfaisants par suite du dépôt rapide du ciment, uniquement dans le fond du tuyau. Le remplacement des conduites en béton par d'autres en matériau

plus résistant à l'agressivité, tels que le polyvinyl ou le polyéthylène, est en général trop onéreux pour ces pays pauvres. L'introduction d'une gaine en plastique mince est la solution la plus logique et elle moins chère; mais elle est techniquement plus difficile à réaliser. Aussi ne fut-elle adoptée que dans des cas exceptionnels. Le problème est, d'ailleurs devenu moins urgent: le traitement mixte décrit plus loin et appliqué au départ des adductions a arrêté l'altération du béton.

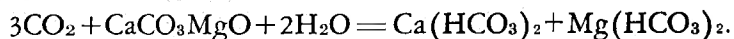
2° Réduction de l'agressivité par l'aération.

En divisant l'eau en un grand nombre de gouttelettes, on augmente sa surface de contact avec l'air et, de ce fait, l'élimination d'une partie du CO_2 libre. L'aération a d'abord été obtenue par la dispersion sous pression (*Photo 11*). On a ensuite expérimenté l'aération en escalier. Mais actuellement pour les petites installations en service, le meilleur procédé a été la superposition de plaques en plastique, PVC, de 2 mm d'épaisseur, placées à ± 10 cm l'une de l'autre. Elles sont percées de trous de 3 mm de section. Le débit par trou de 0,08 l/min. Un certain nombre de trous de réserve (20-30 %) rend le fonctionnement facile (voir *schéma*).

3° Correction chimique de l'eau.

a) Le filtre à magno.

Le magno est une dolomie partiellement calcinée dont la formule chimique est approximativement CaCO_3MgO . Il corrige l'eau suivant la formule



Les principaux avantages du magno sont un pouvoir désacidifiant élevé et une grande vitesse de filtration grâce au rapport élevé entre sa surface et son volume. Mas, d'autre part, le procédé présente aussi quelques inconvénients. La standardisation des installations est difficile; les dimensions des filtres doivent être adaptées au débit et à la composition de l'eau. De plus, le colmatage de la masse filtrante et la nécessité de lavages, au moins tous les huit jours, demandent une surveillance régulière. Dans une grande station, ces difficultés sont mineures, car le contrôle est confié à un personnel qualifié et on y dispose du courant

électrique pour actionner un compresseur d'air et une pompe de refoulement qui assure le nettoyage, ainsi que d'un volume d'eau suffisant. Mais ces inconvénients deviennent sérieux dans de petites installations (20 à 80 m³/jour) isolées, comme c'est le cas au Rwanda. Ajoutons que la méthode est trop onéreuse pour des pays économiquement faibles. Le magno doit être importé et son prix de revient rendu sur place était de 8,50 - 9 F le kg. Pour une eau contenant 40 mg de CO₂ libre par litre, le calcul a conduit à estimer à 0,72 F la dépense par m³ traité. Pour ces diverses raisons, ce procédé, en principe excellent, est peu indiqué en zone rurale pauvre.

b) Le traitement aux orthophosphates.

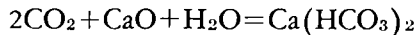
La protection contre la corrosion par les orthophosphates est basée sur la formation de sels doubles, insolubles, de calcium et de fer. Ces sels doubles forment une pellicule bien adhérente qui protège les parois internes des tuyaux de toute attaque. La formation de cette couche est pratiquement indépendante de la composition de l'eau. Le procédé n'a pas été retenu en Afrique centrale, parce qu'il est de loin plus coûteux que le filtre à magno.

c) Le filtre à calcaire.

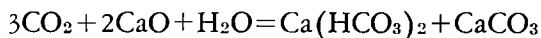
Ce procédé n'a pas été employé pour deux raisons. Il n'y a pas dans le pays de calcite (calcaire ou marbre) de bonne qualité. En outre, la désacidification de l'eau est lente; les filtres doivent, de ce fait, avoir de grandes dimensions.

d) Le traitement à la chaux.

La chaux est un alcalinisant peu coûteux. La neutralisation du CO₂ libre s'exprime par la formule:



Un excès de chaux élève le PH et rend l'eau incrustante:



L'altération du béton est arrêtée et, si la vitesse d'attaque de la paroi est inférieure à celle du dépôt protecteur, la paroi se reconstitue partiellement par des incrustations de CaCO₃.

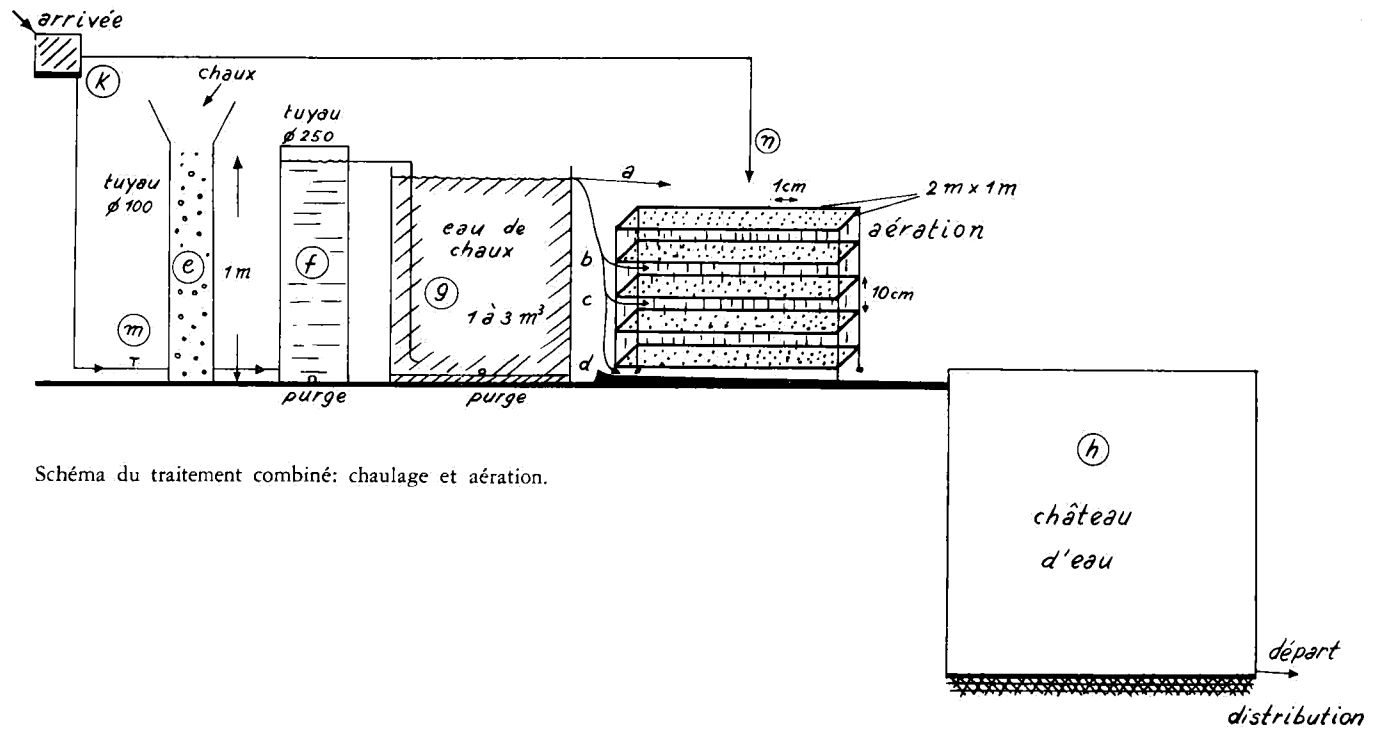


Schéma du traitement combiné: chaulage et aération.

Il faut théoriquement 0,65 g de CaO pour 1 g de CO₂. Mais si la chaux que l'on trouve au Rwanda ne coûte que 1,75 F le kg, elle est d'autre part, de mauvaise qualité: sa cuisson est imparfaite, elle est moulue grossièrement et sa teneur en CaO est rarement supérieure à 50 %. Aussi, dans la pratique, est-il prudent d'employer 2,5 fois plus de produit que la quantité calculée. Le traitement coûte alors 0,115 F par m³ d'une eau contenant 40 mg de CO₂ libre par litre, ce qui est quand même encore fort inférieur au prix de la neutralisation au magno.

Malheureusement, les chaumeurs sont relativement chers et doivent être importés. Chaque type d'appareil ne convient que pour un débit déterminé et il est difficile de maintenir le titre de l'eau de chaux à une valeur constante. De plus, l'obstruction du chaumeur est fréquente et une surveillance constante est nécessaire: l'appareil doit être purgé et chargé de chaux toutes les deux ou trois heures, même la nuit, service qu'il est difficile d'organiser dans les petites stations du Rwanda.

4° Traitement combiné: chaulage et aération.

Pour remédier aux inconvénients du chaumeur classique, un ensemble économique, qui associe le chaulage et l'aération, a été conçu par les ingénieurs du Service hydrologique (voir *schéma*).

Ce schéma fait comprendre le fonctionnement de l'installation. La totalité du débit arrive au point *k* où elle est divisée en deux parties inégales: $\pm 1/20$ est dirigé par la voie *k-m* vers le chaumeur *e*; les autres 19/20 sont amenés suivant *k-n* vers le dispositif d'aération. Le réglage se fait par la vanne *m*.

Le chaumeur *e* est un tuyau surmonté d'un entonnoir dans lequel on verse la chaux au fur et à mesure des besoins. A sa partie inférieure, l'eau dissout de la chaux et passe dans le tube *f* au fond duquel se déposent les particules insolubles entraînées. Le trop plein de ce tube s'écoule dans le bac *g*. Celui-ci sert à maintenir suffisamment constant le titre de l'eau de chaux qui déborde par un tuyau en plastique sur l'installation d'aération.

Ce dispositif simple, fabriqué sur place, est bien meilleur marché que le chaumeur classique. Le rechargement ne se fait qu'une ou deux fois par 24 heures et la purge une ou deux fois par

semaine. Une chaux de qualité médiocre peut, sans grand inconvénient, être utilisée.

Le procédé d'aération est celui que nous avons décrit au 2°. Les deux débits sont réunis en un point qui est déterminé par la composition chimique de l'eau à traiter.

En effet, on sait qu'une augmentation d'un degré hydrotimétrique français de la dureté de l'eau par la chaux absorbe ± 9 mg de CO_2 libre. Si au départ la dureté carbonatée de l'eau est supérieure à 6° fr., la jonction se fera au point *d*, où la presque totalité du CO_2 aura été éliminée par l'aération. Si, par contre, l'eau brute a une dureté voisine de 0° et si la quantité de CO_2 libre est inférieure à 72 mg/l, le raccord se fera en *a*; la totalité du CO_2 libre doit alors être conservée pour l'élévation de la dureté de l'eau.

Entre ces deux cas extrêmes, si l'eau contient x mg de CO_2 par litre et si sa dureté carbonatée est de y° fr., la quantité de CO_2 à éliminer par aération se détermine de la façon suivante:

Augmentation de la dureté pour la porter à 8: $8-y$

Quantité de CO_2 libre nécessaire pour cette augmentation et à ne pas éliminer: $(8-y) \times 9 \text{ mg/l}$

Quantité de CO_2 libre à éliminer: $x - 9(8-y) \text{ mg/l}$

Pour une telle eau, la jonction se situera entre les points extrêmes *a* et *d*, c'est-à-dire en *b* ou en *c*.

Le château d'eau *b*, où l'eau est recueillie après traitement, contribue à atténuer les variations de teneur en CaO à la sortie du chaudière *f* et à rendre la composition de l'eau de distribution pratiquement constante.

Quant à la quantité de chaux à mettre journellement dans le chaudière, elle doit être telle qu'à tout moment le pH de l'eau de distribution soit au moins égal à 8,4, c'est-à-dire largement supérieur à 7,6. Ce dernier titre est considéré comme indispensable pour que dans les eaux douces la vitesse d'attaque de la paroi reste inférieure à celle de la formation du dépôt protecteur. Le pH 8,4 est celui du virage de la phénolphthaléine; c'est une mesure très simple qui est à la portée du préposé à l'adduction.

En somme, par ce traitement combiné, la dureté carbonatée est augmentée par la réaction de la chaux sur le CO_2 de l'eau et le CO_2 agressif est soit éliminé par l'aération, soit fixé par le CaO .

5. *Pénétration des racines*

Un deuxième facteur d'attaque des canalisations a été la pénétration des racines par les joints en bitume (85 %) et à travers les parois (15 %). Il est d'ailleurs lié au premier processus d'altération: la porosité des tuyaux consécutive à l'agressivité de l'eau facilite la pénétration des racines. Celles-ci forment des bouchons qui obstruent les conduites ou tout au moins réduisent la section utile de passage d'eau. Il en résulte une augmentation de la pression et une aggravation des fuites aux points perméables. Les obstructions se produisaient presque toujours dans les tuyaux de petit diamètre, de 120 mm et occasionnellement de 160 mm; ceux de 260 mm n'étaient pratiquement jamais bouchés.

La fertilité du sol rend, d'une part, les plantes très résistantes et d'autre part, la sécheresse accentue leur attraction vers l'eau. Les cultures saisonnières, comme les patates douces enlevées à chaque récolte, n'ont pas le temps de prendre un grand développement. Les arbres, et notamment l'eucalyptus, sont plus redoutables. Parmi les arbustes, l'érythrine est le plus tenace et même le vulgaire chiendent produit des racines d'une vigueur peu ordinaire. Les bananiers recouvrent d'un tapis les parties humides des parois extérieures; les radicules pénètrent dans les porosités du béton et le rendent friable. En dehors de cette destruction mécanique, il est probable que des acides organiques provenant des plantes accélèrent l'attaque des tuyaux; on constate en effet, que l'eau a un pH plus bas à la sortie de l'adduction qu'à l'entrée, alors qu'on aurait pu s'attendre à une modification inverse par suite de la fixation sur le ciment du CO_2 non éliminé par le traitement. En somme, l'action combinée, mécanique et chimique, intensifie l'altération du béton.

La lutte contre les racines a été entreprise par diverses voies. D'abord le bitume des joints a été remplacé par un produit spécial, dit *tock-joint*. C'est un mélange de bitume et de caoutchouc,

spécialement préparé pour les joints des tuyaux en béton. Deux qualités de *tock-joint* ont été employées:

a. Le *tock-joint* ordinaire assure l'étanchéité du joint dont il forme environ 80 % du volume.

b. Le *tock-joint*, dit « anti-racines » qui s'applique à l'extérieur, sur le *tock-joint* ordinaire.

L'utilisation simultanée des deux produits est indispensable, le second ne pouvant entrer en contact avec l'eau potable.

Les parois extérieures des tuyaux étaient enduites d'un mélange de goudron, de toluol et de pentachlorophénol (2 %) qui a donné toute satisfaction.

D'autre part, plusieurs herbicides furent essayés avec des résultats équivalents: dans les conditions locales, la destruction de la végétation exigeait une dose double de celle prescrite et l'intervalle entre les applications devait être réduit de moitié. Le prix de revient quadruplé devenait prohibitif. Le nettoyage de la plateforme par des travailleurs s'avéra moins cher. Un homme est responsable du débroussaage d'un km de plate-forme. Les arbres ont été supprimés sur une bande de 25 m de chaque côté de l'axe de la conduite, les arbustes sur 5 m.

Les *photos 6 à 12* illustrent divers aspects des travaux d'adduction réalisés.

Nous voudrions encore attirer l'attention sur deux points dont l'importance est évidente dans les pays en développement: l'utilisation de matériaux de fabrication locale et le programme éducatif.

6. Matériaux de fabrication locale

En rendant compte de toutes ces réalisations, nous avons rencontré constamment l'astreignante sujétion des faibles ressources financières des budgets locaux. C'est dans le souci de maintenir les prix de revient aussi bas que possible que l'on s'est efforcé de recourir aux matériaux de production locale. C'est ainsi que furent fabriqués en béton, dans les contrées desservies, les dalles des fontaines et les tuyaux des adductions (133 km au

Rwanda); des chantiers furent ouverts qui permirent une production à l'échelle industrielle (*photos 13 à 16*).

7. Programme éducatif

Comme dans tous les domaines la formation d'un personnel spécialisé est ici aussi un besoin urgent des pays en développement. Deux écoles ont été mises sur pied, l'une au Rwanda et l'autre au Burundi, pour former des fontainiers. Les candidats, recrutés parmi les artisans ayant suivi deux années d'études post-primaires, reçurent une formation élémentaire portant sur les matières suivantes: l'importance de l'eau dans la vie de l'homme, la qualité de l'eau, la circulation de l'eau, la perméabilité des terrains, notions de géomorphologie (altitude, ligne de crête, thalweg, bassin), débit d'une source, acidité de l'eau, captage et protection des sources, choix du diamètre des tuyaux, granulométrie, béton, puits et pompes. Cette instruction était combinée à une formation pratique consistant dans l'application sur le terrain des théories enseignées en matière de captage de sources et de préfabrication des pièces en béton pour aménagement de fontaines. A un échelon plus élevé, des cadres africains, administratif et technique, ont été mis en service. Ils avaient subi sur place une formation théorique et pratique, complétée par un cycle de cours et de travaux pratiques d'une durée de 4 à 6 mois, effectué en Europe.

8. Vue d'ensemble des réalisations

Le *tableau* suivant est un relevé général des installations en service et de la population desservie.

	Fontaines	Puits avec pompe	Total points d'eau	Adductions en km	Population desservie
République du Congo	1 355	1 634	2 989	123	771 372
Rwanda-Burundi	20 111	795	20 906	143	3 478 000
Total :	21 466	2 429	23 895	266	4 249 372

De plus, tous les établissements médicaux (63 (0) F) et autres (24 (0) 49) financés à l'aide des crédits F.B.F. ont été créés et dotés d'une installation adéquate de provisionnement d'eau. Signalons enfin au Rwanda-Burundi la construction de 57 abreuvoirs pour le bétail.

Le total des investissements de 1948 à 1960 inclus est élevé à :

	Francs belges	Dollars
République du Congo	345 000 000	6 900 000
Rwanda-Burundi	495 000 000	9 900 000
Total :	840 000 000	16 800 000

ANNEXE

QUATRE REQUIS POUR LES EAUX D'ALIMENTATION

Les normes de pureté adoptées en Orient beaucoup de pays à l'autre de ceux de défense de santé publique contre les maladies d'origine hydrique avait incité le Conseil supérieur d'Hygiène du Congo du Ruanda Urundi à constituer en 1938 une Commission chargée de proposer les règles à préciser, elle se composait du Professeur BORT, président, du Professeur BRUNOCH, des Docteurs DURANT, VAN DEN BRANDE. Les progrès de nos connaissances dans ce domaine provoquèrent la formation en 1959 d'une nouvelle Commission ayant le même objet et dont faisaient partie les Professeurs BRUNOCH, BRUNOCH, RENAUX, VAN RIE, les Docteurs DE BRUYERE et DURANT. Les membres de cette Commission ont au cours de ses études poursuivies sous l'égide de l'Organisation Mondiale de la Santé leur rapport final inflé les positions prises par cette institution internationale. O.M.S. avait en effet convoqué en 1955 et 1956 à Alexandrie, Genève et à Manila des groupes d'experts chargés d'étudier le problème technique régional. Les résultats des travaux de ces divers groupes étaient l'aboutissement d'études qui avaient été poursuivies pendant plusieurs années. Ils furent en concordance à un point tel de passer sans délai à l'examen de question sur le plan mondial. Un groupe d'étude réuni à Genève en juin 1956 formula des recommandations détaillées applicables à l'ensemble du monde. Ces dernières furent publiées en 1958 sous la forme d'un volume intitulé « Normes internationales applicables à l'eau de boisson ». Cet ouvrage présente les normes minimales auxquelles il doit répondre et ce que l'on a destiné à usage domestique que l'on soit son origine, ainsi que les méthodes prescrites pour son analyse. Le fait qu'il a été possible après quelques années d'études et de discussions entre représentants de différents pays de parvenir à

une entente dépassant le cadre purement régional et d'élaborer un ensemble de normes universellement applicables, est un succès à l'actif de la coopération internationale. Les experts avaient souligné que les normes et les méthodes d'analyse n'avaient pas de caractère définitif et étaient susceptibles d'être modifiées ultérieurement. Les progrès ultérieurs des connaissances et des techniques incitèrent d'ailleurs le directeur général de l'O.M.S. à convoquer une nouvelle réunion du Comité d'experts, qui se tint à Genève du 14 au 20 août 1962. Le rapport de ces spécialistes suggère des modifications et des revisions de certaines normes admises en 1958. Conformément à l'intention annoncée dans notre avant-propos de fournir une documentation de référence aux ingénieurs et aux techniciens sanitaires ainsi qu'aux médecins hygiénistes, nous allons dans les pages suivantes faire une mise au point actuelle de cette question essentielle pour la santé publique: les normes de l'eau potable.

1. *Définition*

Est potable l'eau qui peut être absorbée sans risque pour la santé du consommateur. Elle ne doit pas véhiculer de germes pathogènes et être exempte de quantités excessives de matières minérales et organiques. Ce n'est donc pas une eau chimiquement pure, ne contenant aucun autre élément que l'hydrogène et l'oxygène. Elle renferme de nombreuses substances minérales provenant de la croûte terrestre, certaines à l'état de traces indosables à l'analyse.

Tout captage d'une eau en vue de sa distribution doit faire l'objet d'une enquête préliminaire sur la nature du sol et les caractéristiques de la nappe souterraine, lesquelles sont du domaine du géologue et de l'hydraulicien. En principe, la période minima de surveillance devrait s'étendre sur une année entière afin de suivre l'influence des divers régimes météorologiques sur la qualité de l'eau. La fréquence des prélèvements devrait être bimensuelle et l'analyse porter sur l'ensemble des caractères. Une décision finale valable tiendra compte de tous les éléments du dossier.

2. *Technique de prélèvement*

En cas de prélèvement au robinet d'une canalisation, il faudra s'assurer que l'eau vient directement du réseau et non d'une citerne ou d'un réservoir dont l'étanchéité n'est pas connue. On laisse couler l'eau pour vérifier l'absence de fuite ou de reflux au bourrage même du robinet. Celui-ci est alors refermé et son orifice flambé. Puis on l'ouvre de nouveau et on règle le débit de manière à obtenir un remplissage sans éclaboussures. A ce moment, le flacon de prélèvement est ouvert et le goulot est introduit rapidement sous le jet en prenant soin de tenir le récipient par sa partie inférieure. Le remplissage ne doit pas être complet afin de permettre la dilatation de l'eau sans faire sauter le bouchon.

Lorsqu'on puise l'eau d'une rivière ou d'un lac, le point de prélèvement sera aussi proche que possible de celui du captage afin d'obtenir un échantillon représentatif de l'eau qui sera distribuée. Le flacon collecteur est tenu par le fond et plongé sous la surface, le col incliné vers le bas. Il est ensuite renversé, l'ouverture dirigée vers l'amont et maintenue légèrement plus haut que le fond. Si l'eau est immobile, l'opérateur déplacera le flacon horizontalement afin de créer un courant artificiel. Si cette manière de procéder s'avère impossible, on prélèvera en profondeur au moyen d'un flacon lesté d'un poids et muni d'un dispositif de débouchage sous l'eau.

Quant à l'eau de puits, s'il n'existe pas de pompe mécanique et de distribution par robinet, elle sera pompée à la main pendant cinq minutes environ avant le prélèvement pour l'analyse. En l'absence de tout moyen de pompage, on puisera en profondeur.

Le degré de confiance que l'on peut attribuer aux résultats de l'analyse dépend dans une large mesure du soin apporté au prélèvement. Les précautions à prendre diffèrent suivant la destination de l'échantillon.

Pour l'analyse chimique, l'eau sera prélevée dans un flacon de verre neutre, bouché à l'émeri ou dans un flacon en polyéthylène. Ce dernier flaconnage sera indispensable si on a l'intention de

mesure la diaphanéité, afin de l'écarter, on absorbe par le récipient les échantillons propres en fin de série, avec le eau à analyser, au préalable de façon à ce que l'analyse ne soit pas de deux litres. Le délai séparant le prélèvement et l'analyse ne peut dépasser 24 heures.

Pour le prélèvement d'un échantillon ou au fin de la série, la bactériologie qui ne prendra que peu de précautions. La eau en verre stérile et propre, d'une contenance de 100 ml minimum sera stérilisée pour du bouillon de verre de Gerdner. Ce dernier peut être éliminé sur la bouteille de dans ce bouillon goutte lot sera en outre sur un bouillon de papier sans plastique avant la stérilisation. Pour des raisons de commodité au moment du prélèvement, est préférable d'obtenir la eau par un bouchon d'obturation de papier dans lequel le bouillon de verre est enveloppé stérilisée séparément. Le prélèvement sera pratiqué avec une pipette bactériologique prise lentement du bouillon de protection, le geste de précaution tout autre objet stérilisé, ne doit pas toucher les surfaces stériles (goutte lot, bouchon d'obturation, bouchon de l'ampoule) en contact avec l'eau. L'analyse devra être effectuée le plus rapidement possible en tout cas dans un délai qui ne dépasse pas 24 heures. Dans cet intervalle, les parties de D.O.M. St. ont que l'échantillon doit être maintenu à une température voisine possible de celle de l'eau au moment de son prélèvement. Dans les régions chaudes, pour des raisons préférables de le conserver dans le glaçon afin d'éviter une hausse proportionnée de la température qui suffirait à multiplier les germes et à fausser les résultats.

Pour l'analyse biologique, il faut disposer d'un échantillon propre en verre neutre ou polyéthylène, à large goulotte d'une capacité d'au moins de litres. Il ne doit pas être rempli trop vite afin de laisser un petit volume d'air suffisant pour fournir l'oxygène aux microorganismes du lactose. L'examen microscopique fait est entrepris immédiatement dans un délai d'une heure maximum. Si cela n'est pas possible, ajoutera à chaque portion de 100 ml d'eau prélevée à 35 ans de la solution de formol comme conservateur, et sera stérilisée de manière à obtenir un pH de 7,0 légèrement supérieur.

3. Normes

Les caractères physiques, chimiques, bactériologiques, biologiques et radiologiques de l'eau potable ont été définis par la Commission des experts de l'O.M.S. Par conséquent, ils entendent la prescription d'analyser de toute substance ou matière qui entre dans les normes qu'ils ont fixées.

Notons nous en attendant, à celles qui paraissent essentielles.

A. Normes physiques

Les principales sont :

1. Température.

Jusqu'à 10 mètres de profondeur, la température de l'eau est influencée par celle de l'atmosphère en univariés variations. Les eaux profondes de la température de l'air environnant, celle-ci sera généralement comprise entre 15° et 18° . On note toutefois l'influence du climat au niveau de montagne sera plus froide qu'au niveau sous-marin captée à basse altitude en région chaude.

La prise régulière de la température permettra l'établissement d'un abaque thermique. Celui-ci sera régulier et régulier si la nappes qu'il concerne bien protégée sans rapport immédiat avec l'extérieur ; il présentera au contraire des variations marquées en cas de communication directe de la nappe avec la surface.

2. Turbidité.

Une eau de bonne qualité doit être parfaitement limpide. La turbidité est due aux matières végétales et organiques oxygénées en surface. La clarification naturelle se présente à la formation de précipités insolubles en présence des sels calcaires. Une turbidité additionnée de gazite trouble définitivement l'eau si elle se clarifie spontanément par l'addition de carbonate de chaux. Une eau très résistante peut de voir un objet éclairé à travers un mètre d'épaisseur de liquide, lorsque la visibilité tombe en dessous de 150, 50 l'eau peut être consommée sans inconvénient. L'instrument de mesure type est le turbidimètre bougière de Jackson.

3. Couleur.

Il faut distinguer la couleur réelle due aux substances en solution dans l'eau et la couleur apparente provoquée par l'interférence des matières en suspension. La première est recherchée par la technique colorimétrique au platino-cobalt. Si l'eau à tester contient des substances en suspension, il faut au préalable les éliminer par centrifugation, car le papier filtre a une action décolorante.

4. Saveur et odeur.

Le goût est considéré comme une forme particulière de l'odeur. Il s'agit ici d'une appréciation subjective qui se fait à froid à 20° et à chaud aux environs de 58-60°.

5. Conductivité électrique.

Cette propriété non retenue par le Comité de l'O.M.S. nous paraît pourtant d'un intérêt qui n'est pas négligeable. Augmentant avec la teneur en sels minéraux, la conductivité électrique s'élèvera fortement lors de la contamination par l'urine et les matières fécales: 10 mg de chlorure de sodium ajoutés à un litre d'eau en quadruple la conductivité électrique. En recherchant journellement celle-ci dans une eau de boisson, on décèlera immédiatement tout apport anormal de substances minérales faisant craindre une souillure d'origine humaine.

B. Normes chimiques

La pollution de l'eau par des composés chimiques ne cesse d'être préoccupante par suite de l'industrialisation en développement constant, de l'utilisation de plus en plus fréquente de détergents et de pesticides à l'usage domestique, hygiénique et agricole, aussi bien dans les villes qu'en milieu rural. Les conséquences sur la santé publique en sont loin d'être complètement élucidées.

Dans sa détermination des normes chimiques, l'O.M.S. distingue quatre sortes de substances:

a) Les substances toxiques, nettement dangereuses lorsqu'elles dépassent la concentration limite;

- b) Les substances pouvant présenter un risque pour la santé;
- c) Les substances pouvant affecter la potabilité de l'eau;
- d) Les substances pouvant être utilisées comme indicateurs de pollution.

a) *Substances toxiques*

La concentration maximum en mg/l des principales substances toxiques, qui est compatible avec la salubrité de l'eau de boisson, est indiquée ci-après:

Plomb	0,05
Sélénium	0,01
Arsenic	0,05
Cadmium	0,01
Cyanures	0,20
Chrome (évalué en Cr hexavalent)	0,05
Baryum	1,00

L'intoxication hydrique la plus fréquente est le saturnisme. Il résulte de la corrosion des conduites d'eau potable en plomb par une eau agressive, à pH acide, riche en CO₂ et pauvre en sels alcalino-terreux, caractères communément rencontrés en zone tropicale.

b) *Substances pouvant présenter un risque pour la santé*

Il s'agit principalement des nitrates et des fluorures dont la concentration maximum admissible est respectivement de 50 et 1,5 mg/l.

Les nitrates présents dans l'eau proviennent de l'atmosphère (eaux météoriques), de certains terrains (limonite, marnes bitumeuses, etc.) ou encore sont l'aboutissement de la nitrification, c'est-à-dire de la minéralisation des matières organiques azotées. La pollution qu'une hausse anormale de leur quantité dans l'eau analysée fera soupçonner, sera donc relativement ancienne. En tout cas, la signification d'une teneur élevée ne pourra être interprétée qu'en association avec d'autres indices, tels que des taux anormaux de matières organiques, d'ammoniaque, de nitrites et de chlorures.

Lorsque l'eau de boisson contient plus de 50 à 100 mg/l de nitrates, sa consommation peut provoquer des accidents chez

les leucocytes sous forme d'artiole de floccule bactérienne et étiologie, les leucocytes sont réduits en fines etiques transformant l'hémoglobine en hémoglobine incapable de fixer l'oxygène. L'anoxémie se traduit par de la cyanose peut être étonnante.

Le fluorure est toujours contenu dans l'eau sous forme de fluorures, mais est contenu aussi dans certains aliments tels que légumes, etc. Il intervient dans la formation des dents et du squelette. Actuellement on admette plusieurs quantités de fluorures dans l'eau potable en eau dure de moins de 50 mg/l pour protéger les personnes une proportion plus importante de caries dentaires. Ces cas sont beaucoup moins nombreux lorsque la teneur en fluorure atteint 1 mg/l. D'autre part des teneurs élevées, par exemple de 5 mg/l, déterminent un syndrome toxique qui, fluorose, se caractérise par des anomalies dentaires osseuses. Chez les enfants, les dents définitives peuvent se développer blanchâtres contrastant avec de l'odontoblastite de l'émail qui lui donne souvent une fragilité anormale. Notamment les dents définitives sont rarement atteintes. Les lésions osseuses observées chez les adultes consistent en une augmentation de densité un épaississement des os, ce qui est communément appelé, déformations du canal rachidien des longs os; il y a une augmentation des fractures par suite de la fragilité des os. Des doses de fluorure ont été signalées dans les lésions de type vert.

La fluoruration de l'eau potable pour la prévention des caries dentaires est la plus importante. Le fluorure est absorbé par les enfants et l'effet persiste chez l'adulte au moins jusqu'à l'âge de 40 ans. Mais avant de déterminer la dose à ajouter à l'eau, il est nécessaire de connaître le rapport fluorure des aliments; il n'y a en effet qu'une faible marge de sécurité entre la dose préventive de 1 mg/l (1 mg) et celle provoquant la fluorose (environ 5 mg).

c) *Substances pouvant affecter la perméabilité*

Les valeurs portées dans le tableau ci-dessous sont celles indiquées par les experts de l'O.M.S.

Nature des substances	Concentration maximum acceptable pour le consommateur	Concentration maximum compatible avec la salubrité de l'eau de boisson
Matières solides totales	500 mg/l	1 500 mg/l
Fer (Fe)	0,3 mg/l	1,0 mg/l
Manganèse (Mn)	0,1 mg/l	0,5 mg/l
Cuivre (Cu)	1,0 mg/l	1,5 mg/l
Zinc (Zn)	5,0 mg/l	15 mg/l
Calcium (Ca)	75 mg/l	200 mg/l
Magnésium (Mg)	50 mg/l	150 mg/l
Sulfate (SO ₄)	200 mg/l	400 mg/l
Chlorure (Cl)	200 mg/l	600 mg/l
pH	7,0-8,5	6,5-9,2
Sulfate de magnésium + sulfate de sodium	500 mg/l	1 000 mg/l
Composés phénoliques (équivalents phénol)	0,000 mg/l	0,000 mg/l
Polluants organiques (extraits chloroformique sur charbon de C.C.C.)	0,2 mg/l	0,5 mg/l
Alcool éthylique (A.B.S. détectés)	0,5 mg/l	1,0 mg/l

1. Résidu total

Il est obtenu par évaporation de l'eau à 103° et 105° jusqu'à poids constant.

2. Dureté de l'eau

Une eau dure est une eau ayant une teneur élevée en sels calcaires et magnésiens. Caractère et classement apprécié par l'hydrométrie, méthode basée sur la propriété que possède le savon de donner le moussé quand il est agité avec de l'eau purifié; celle-ci contient des sels de calcium et de magnésium, ils précipitent le savon et le moussé ne peut donner que quelques tourterelles solubles, que le savon sera en excès. Pour cette recherche on utilise le savon liquide de la pharmacopée; le nombre de milligrammes pour obtenir un moussé persistant dans un volume de 100 ml d'eau indique le degré de dureté de

celle-ci. Une eau très dure titre 20° ou plus; une eau dure 15°, une eau douce moins de 7°.

On distingue la dureté temporaire, la dureté permanente et la dureté totale. La première disparaît à l'ébullition et est due aux bicarbonates, tandis que la seconde persiste. La dureté totale est la somme des deux précédentes. La détermination générale de la dureté peut être complétée par le dosage du calcium et du magnésium dont le Comité de l'O.M.S. a fixé les méthodes et les normes.

Une eau dure, inconvénient fréquent en Europe, convient peu aux usages domestiques. Elle cuit mal les aliments, sature les acides gras des savons dont le rendement est fortement réduit (une partie de carbonate de chaux neutralise huit parties de savon), entartre les appareils ménagers et de chauffage, est impropre à certaines industries. Au-delà de 30°, l'eau n'est utilisable qu'après adoucissement.

Dans les régions tropicales, au contraire, les eaux sont souvent douces et ont un degré hydrotimétrique inférieur à 7°. Le dépôt de sels incrustant les conduites, dont on s'efforce ailleurs d'empêcher ou de retarder la formation, est ici recherché comme protection contre la corrosion.

En plus des inconvénients culinaires et industriels liés à cette propriété des eaux, les eaux magnésiennes, comme on en rencontre entre autres en zone saharienne, causent quelques malaises intestinaux chez ceux qui n'y sont pas habitués. Ces ennuis mineurs mis à part, on n'attribuait à ce caractère de l'eau que peu de signification pour la santé humaine. Pourtant, des travaux récents ont montré qu'il pourrait y avoir une corrélation négative entre le taux de mortalité par maladies cardio-vasculaires et la dureté de l'eau.

3. Acidité et agressivité

Ce caractère est lié au précédent. Suivant que les eaux sont riches ou pauvres en calcium, elles fixent ou ne fixent pas l'anhydride carbonique; il en résulte que leur pH est élevé ou bas. La concentration de ions hydrogènes est déterminée par colorimétrie ou — c'est le procédé de choix pour l'O.M.S. — par la méthode de l'électrode de verre. Les eaux douces ayant

traversé des terrains granitiques ou gréseux, où il n'y a pas de carbonate de calcium pour neutraliser le CO_2 , sont souvent acides. Un pH bas peut aussi résulter de la présence d'acides humiques (terrains et marécageux), d'acides sulfureux, d'acide sulfurique ou encore de sulfates acides provenant de zones pyriteuses, gypseuses ou volcaniques. L'acidité rend les eaux agressives, c'est-à-dire qu'elles attaquent les tuyaux en béton et les conduits métalliques; l'altération de ces derniers expose les consommateurs au danger du saturnisme. Les eaux tropicales sont fréquemment pauvres en calcium et riches en CO_2 , leur pH est inférieur à 7 et même à 6. Sur 35 échantillons d'eau prélevés au Rwanda-Burundi, 8 fois le pH était compris entre 6 et 7, 21 fois entre 5 et 6, 6 fois entre 4 et 5. Dans trois eaux examinées la teneur en CO_2 libre dépassait 100 mg/l.

4. Fer et manganèse

Ces éléments ne sont guère à redouter pour la santé, mais au-delà d'une certaine concentration, ils donnent à l'eau un goût désagréable, âcre et métallique. Une telle eau est impropre aux usages domestiques, car elle laisse des traînées de rouille sur les évier, tache le linge et noircit les légumes. Enfin, il se constitue dans les conduites d'eau, des dépôts qui finissent par les obturer. Les sols tropicaux fortement latéritiques contiennent souvent des eaux ferrugineuses.

5. Cuivre

Ces sels donnent aussi à l'eau une saveur âcre et métallique mais ne sont pas nocifs aux concentrations habituellement rencontrées.

6. Chlorures

Ces sels sont parfois assez abondants dans les eaux ayant traversé un terrain chloré ou captées au voisinage de la mer, mais ils peuvent aussi être d'origine humaine (urines, matières fécales). Les eaux traitées au chlore accusent évidemment une teneur élevée en chlorures.

7. Sulfates

De même que les chlorures, leur origine est géologique (terrain gypseux) ou humaine. Ils ont l'inconvénient d'entartrer les chaudières et de ne pas convenir pour certaines industries. En

ce qui concerne la signification d'une haute teneur en chlorures ou en sulfates comme indice de pollution, nous pouvons que répéter ce que nous avons dit à propos des nitrates: est ce la courbe des teneurs qui est significative.

8. Composés phénoliques

Ils sont inconvénients de former au contact du chloroforme, que l'on utilise pour la désinfection de l'eau, des chlorophénols dont au goût désagréable particulièrement tenace d'odeur forte.

d) Substances indicatrices de pollution

Nous avons signalé que des substances appartenant aux deux groupes précédents pouvaient être d'origine humaine représentée de fait, les indices de pollution les plus sensibles, les sulfates et les nitrates, ces derniers, terme final de l'oxydation des matières organiques azotées, indiquent une pollution plus récente que l'ammoniac et les nitrites, dont on s'occupe de moins en moins. Les substances du quatrième groupe existent à l'état de traces dans les eaux de bonne qualité. Elles ont aucun effet sur la santé et même en excès la potabilité de l'eau. Leur teneur varie considérablement après son origine et on ne peut indiquer aucune valeur limite. Mais, comme pour les sulfates, nous nous en appelons à une hausse soudaine des teneurs est préoccupante et indique des investigations plus approfondies.

1. Matière organique totale

La teneur en matière organique totale certains préfèrent parler du degré d'oxydabilité d'une eau est classiquement évaluée par la mesure d'oxydabilité au permanganate de potassium. Dans le procédé de l'analyse, faut spécifier si la réaction a été effectuée en milieu acide ou en milieu alcalin. Les matières organiques d'origine végétale prennent ordinairement plus d'oxygène en solution, acide de est d'inverse pour les matières organiques d'origine animale (urines, purin, matières fécales) qui sont précisément les plus dangereuses. Le résultat est exprimé en oxygène (O₂) par le permanganate qui a disparu au cours de dosage. Dans l'analyse séjournée de l'eau potable à l'uranium, les chiffres sont exprimés en milligrammes par litre.

de 2 mg/lg/1 et des teneurs exceptionnelles de 0,50 et de 2 mg/lg/1; ce sont les valeurs communément rencontrées.

On propose cette méthode d'intégrité de l'action du permanganate sur les exportés de l'O.M.S. précipités à l'oxydation de matières organiques par le bichromate de potassium en présence d'antichlorure, tel suit le schéma.

2. Demande biochimique d'oxygène (D.B.B.O.)

Cette recherche est de plus en plus utilisée pour apprécier l'oxydabilité globale d'une eau. Afin de pouvoir comparer les résultats analytiques, elle doit être effectuée dans des conditions constantes: l'échantillon est placé dans l'obscurité pendant 5 jours à la température de 20° pour un dosage d'oxygène résiduel. La quantité résiduelle dans l'eau ayant été déterminée par la méthode aisée de calculer la consommation d'oxygène par les microbes aérobies qui assure la décomposition biologique de matières organiques, elle est exprimée en mg/l, c'est la demande biochimique d'oxygène en cinq jours ou D.B.B.O. Si l'échantillon est poursuivi on observe qu'elle représente environ 67% de la valeur trouvée après 70 jours (D.B.B.O.)₇₀ c'est la D.B.B.O. qui est la plus communément recherchée car elle permet d'obtenir des résultats valables dans un délai relativement court. Dans une eau de boisson, elle doit être nulle ou extrêmement faible.

3. Phosphates

Ils peuvent provenir du sol ou d'une teneur de fond de 0,50 mg/lg/1 sans inconvénient. Des concentrations plus élevées font craindre un pollution par des matières d'origine animale. Nous que des phosphates sont souvent ajoutés à l'eau afin de combattre l'érosion.

4. Ammoniac libre et albuminoïde

Dans des eaux non contaminées par des terres riches en matières organiques d'origine végétale, etc. etc., il est possible de trouver jusqu'à 1 mg/lg d'ammoniac libre et 0,1 mg/lg d'ammoniac albuminoïde. Cependant dans la grande majorité des cas, ces substances indiquent une pollution par des matières fécales, du fait des eaux égoutées, elle est récente car plus ou moins rapidement l'ammoniac est oxydé, par l'action enzymatique microbienne, en nitrates stables d'abord

et finalement en nitrates stables. En cas de pollution, l'association avec les nitrites, les nitrates et les chlorures est la règle.

5. Acide nitreux et nitrites

En principe, comme celle de l'ammoniaque, leur présence dans une eau naturelle est un signe de souillure récente. Il arrive toutefois qu'elle résulte d'une réduction de nitrates par des germes aérobies ou par des composés ferreux. Leur constatation n'a une signification fâcheuse qu'en association avec les autres indicateurs chimiques de pollution.

C. Normes bactériologiques

Ce sont les plus importantes. La contamination récente d'origine intestinale par des eaux d'égoût, des excréta humains ou animaux, risque d'introduire dans l'eau de boisson les micro-organismes pathogènes (bactéries, protozoaires, virus) que nous avons passé en revue plus haut.

Le vibron cholérique est isolé assez facilement d'une eau contaminée grâce à certaines de ses particularités: sa grande aérophilie, sa propriété de se cultiver aisément et rapidement sur les milieux usuels même à pH élevé, de l'ordre de 9.2, où les coliformes et les autres bactéries ne poussent plus. Mais c'est là une exception. Bien qu'actuellement les milieux sélectifs permettent de déceler dans un échantillon d'eau les autres germes responsables d'infections intestinales, leur recherche, plus laborieuse, n'est pas entrée dans la pratique courante. Ils ne sont d'ailleurs que rarement isolés à partir d'une eau examinée, même lorsque celle-ci était incontestablement à l'origine d'une épidémie. Cela s'explique par l'extrême dilution du contagé, par la pullulation des saprophytes qui, sur les milieux de culture, masquent les germes pathogènes et aussi par le caractère souvent momentané et intermittent de la contamination; au moment où une analyse est prescrite à la suite d'une épidémie, l'auto-épuration peut déjà avoir joué son rôle. Aussi doit-on se contenter d'indices indirects, à savoir:

a) Numération des germes totaux

On ensemence une quantité connue de l'eau à analyser, diluée selon sa densité bactérienne probable, sur un milieu coulé en

boîte de Petri: gélose (mise en culture à 35-37° C ou à 20° C) ou gélatine (20° C). Après 24 heures, on dénombre les colonies qui se seront développées. Cette analyse quantitative ne permet pas de déceler une pollution fécale. Mais répétée à intervalles réguliers, elle peut donner des indications utiles; une augmentation soudaine des germes peut, en effet, être le premier signe de la contamination d'une eau naturelle ou, dans le cas d'une eau traitée, d'une déféction de l'épuration. Il est essentiel d'appliquer régulièrement et fréquemment cette méthode de complément dont les conclusions sont utiles mais non absolues et qui ne dispensent évidemment pas des épreuves plus spécifiques.

b) *Recherche et numération des germes indicateurs de contamination fécale*

Les microorganismes qui sont les hôtes normaux de l'intestin, servent de témoins de pollution fécale. Parmi eux, ce sont les bactéries qui sont utilisées comme germes indicateurs. Les virus sont actuellement encore écartés par le Comité d'experts de l'O.M.S.; ceux-ci estiment insuffisantes les données épidémiologiques qui les concernent et trop peu nombreuses les techniques disponibles. La mise en évidence des germes indicateurs et l'estimation de leur nombre permettent de soupçonner l'existence et l'intensité d'une contamination par des bactéries ou des virus intestinaux pathogènes, et de déclarer l'eau bactériologiquement non potable. A l'inverse, on conclut de leur absence à la potabilité de l'eau analysée.

Les indicateurs retenus sont: les bacilles du groupe coliforme, les entérocoques et surtout *Streptococcus faecalis*, les germes anaérobies sporogènes dont *Clostridium welchii*.

1° *Groupe coliforme*

Le colibacille, *Escherichia coli*, est un indice sûr de pollution fécale récente. Un de ses caractères, la fermentation avec gaz du lactose, est partagé par tout le groupe des bactéries appelées coliformes. Leur présence doit être tenue comme suspecte car leur origine peut être intestinale, mais ne l'est pas nécessairement; certains sont en effet des saprophytes du sol. D'après les experts de l'O.M.S., le groupe des *coliformes* comprend tous les bacilles

en forme de bâtonnets, aérobies et anaérobies facultatifs, gram-négatifs, non sporogènes, provoquant en moins de 48 heures à 35-37° la fermentation du lactose avec production d'acide et de gaz.

Au cours de sa dernière réunion en 1962, le Comité d'experts a préféré abandonner le terme *Escherichia coli* pour lui substituer la dénomination *coliformes fécaux* qui englobe des germes un peu plus divers mais qui sont tous d'origine intestinale. Ce groupe comprend — telle est la définition de l'O.M.S. — tous les bacilles en forme de bâtonnets, gram-négatifs, non sporogènes, provoquant en moins de 24 heures à 44-45° C la fermentation du lactose avec production d'acide et de gaz.

La recherche des bactéries coliformes débute par une épreuve de présomption: on ensemence au moins 5 tubes de bouillon lactosé avec, dans chacun, 10 ml d'eau à analyser. Si c'est possible, on augmentera le nombre et le volume des portions de l'échantillon étudié (par exemple: 5 x 10 ml, 5 x 1 ml et 5 x 0,1 ml, 1 x 50 ml et 5 x 10 ml, etc.). La densité en bactéries coliformes sera exprimée par le « nombre le plus probable » d'organismes présents dans 100 ml d'eau; on adopte l'abréviation M P N constituée par les initiales de l'expression anglaise correspondante: *most probable number*. Des tables donnent d'après le nombre de tubes avec réaction positive dans les nombreuses combinaisons de répartition possibles, l'indice M P N et les limites de confiance. Ce premier test est complété par des épreuves de confirmation et de vérification finale afin notamment de déterminer la nature des coliformes en cause.

La présence et le nombre des coliformes sont aussi recherchés par la technique des membranes filtrantes: le matériel recueilli sur des microfiltres est ensemencé sur milieu sélectif. Cette méthode est plus rapide et se prête à l'examen d'échantillons plus volumineux. Son utilisation est intéressante dans les régions où l'envoi au laboratoire demande un temps considérable, car elle peut être exécutée sur place. Elle est, d'autre part, moins recommandable pour les eaux chargées d'algues ou d'autres matières en suspension qui colmatent le filtre.

Les experts de l'O.M.S. se sont penchés sur le difficile problème des normes de qualité bactériologique à recommander.

Dans de nombreuses régions, il n'est pas économiquement et techniquement possible d'exiger un degré de pureté idéale. C'est notamment pour ces cas que des critères différents ont été établis selon que l'eau a été traitée ou est distribuée sans traitement préalable.

Eau traitée. Dans 90 % des échantillons examinés au cours d'une année, les coliformes seront absents ou l'indice M.P.N. devra être inférieur à 1. Dans aucune analyse il ne pourra dépasser 10. La valeur M P N ne peut être comprise entre 8 et 10 pour deux échantillons consécutifs. Une telle constatation entraînera immédiatement d'autres prélèvements au même point et, si possible, des contrôles similaires dans les autres parties du réseau, à la station de traitement et aux relais (réservoirs, station de pompage).

Si on utilise la technique de la membrane filtrante, la moyenne arithmétique du nombre des coliformes dans 100 ml doit être inférieure à 1 dans 90 % des échantillons et ne pas dépasser 4 dans deux prélèvements consécutifs; cette dernière valeur ne peut être trouvée dans plus de 10 % des résultats.

Eau non traitée. Au cours d'une année et dans 90 % des échantillons examinés, l'indice M P N pour les coliformes ne peut s'élever au-dessus de 10 et celui des coliformes fécaux doit être inférieur à 4. Dans tous les cas, cet indice ne dépassera pas 20 pour les coliformes et 8 pour les coliformes fécaux. Si dans deux échantillons consécutifs le M P N est au-dessus de 20, il faudra sans délai prendre les mesures de contrôle signalées à propos de l'eau traitée.

Avec la technique de la membrane filtrante, la moyenne arithmétique du nombre de coliformes dans 100 ml doit être inférieure à 10 dans 90 % des échantillons et ne pas dépasser 20 dans deux prélèvements consécutifs; cette dernière valeur ne peut être trouvée dans plus de 10 % des résultats.

2° Entérocoques

La recherche des entérocoques dont le plus caractéristique est le *Streptococcus faecalis*, est pratiquée en ensemencant par des volumes d'eau en progression géométrique, du bouillon à l'azide de sodium ou du bouillon lactosé au tellurite de potassium; elle

permet de confirmer dans les cas douteux la nature fécale de la pollution. Ces coques sont toujours présents dans l'intestin mais généralement en plus petit nombre que les coliformes fécaux. Dans l'eau, ils disparaissent en même temps que ces derniers et plus rapidement que les autres coliformes. Dans un échantillon contenant des coliformes non fécaux, l'identification d'entérocoques confirmera la pollution et sera l'indice d'une contamination récente.

3° *Germes anaérobies sporogènes*

Pour les mettre en évidence, on ensemence par des volumes d'eau en progression géométrique du lait tournesolé récemment bouilli. Ils sont également moins nombreux dans l'intestin que les coliformes fécaux. Leurs spores survivent dans l'eau plus longtemps que les germes coliformes; elles résistent aux doses de chlore ordinairement utilisées pour la désinfection de l'eau. Si, dans une eau naturelle, on trouva *Clostridium welchii* en l'absence de coliformes, on pensera à une contamination fécale ancienne.

D. *Normes biologiques*

L'examen microscopique de l'eau, habituellement après concentration, révèle la présence et le nombre des particules minérales et des organismes vivants. Il existe un rapport entre le plancton et la qualité de l'eau en ce qui concerne son goût et son odeur. L'analyse biologique a l'avantage de mettre rapidement en évidence la pénétration d'eaux polluées dans le réseau et de contrôler l'efficacité des traitements appliqués pour remédier à ce défaut. Mais, du point de vue quantitatif, aucune méthode reconnue ne permet une évaluation précise de la pollution biologique.

E. *Normes radiologiques*

Le risque d'irradiation externe en provenance d'une eau rendue radioactive est pratiquement négligeable sauf circonstances exceptionnelles où le rayonnement gamma peut atteindre un niveau considérable, après une explosion par exemple. Le

danger provient de l'absorption d'une eau contaminée, amenant une irradiation interne par rayonnement corpusculaire alpha et bêta. Il est particulièrement marqué pour certains radio-éléments, à longue période physique et biologique, tel le strontium-90. On tient aussi compte de la teneur en radium-226. Elle varie de région en région en fonction de la nature du sol et est très élevée dans l'eau de source provenant de terrains fortement radio-actifs.

Pour l'eau de boisson consommée régulièrement la vie durant par de larges couches de population, les normes de radio-activité maximum retenues provisoirement par l'O.M.S. et exprimées en picocuries ou 10^{-12} curies, sont les suivantes:

Strontium-90	= 30 picocuries/litre.
Radium-226	= 10 picocuries/litre.
Emetteurs bêta (en l'absence de Strontium-90 et d'émetteurs alpha)	= 100 picocuries/litre.

Tant que ces taux ne sont pas dépassés, il est inutile de procéder à une analyse radiochimique.

4. *Surveillance permanente et fréquence des prélèvements*

Une seule analyse ne permet pas de conclure à la potabilité définitive de l'eau examinée; ses résultats ne sont valables que pour l'échantillon en cause.

Après la mise en service de l'installation, l'eau continuera à être l'objet de contrôles réguliers qui porteront surtout sur les normes bactériologiques; les analyses chimiques seront plus espacées.

1. Analyses bactériologiques.

A l'entrée du réseau, l'eau traitée devrait être examinée au moins une fois par jour. Lorsqu'il s'agit d'une eau non traitée dont les qualités ont été reconnues à l'issue d'une enquête approfondie, l'O.M.S. préconise de répéter les analyses bactériologi-

ques à des intervalles déterminés en fonction de l'importance de la population, les prélèvements étant effectués à tous les points d'entrée:

<i>Population desservie</i>	<i>Intervalle maximum entre prélèvements</i>
Jusqu'à 20 000 habitants:	un mois;
De 20 000 à 50 000 habitants:	quinze jours;
De 50 000 à 100 000 habitants:	quatre jours;
Plus de 100 000 habitants:	un jour.

Dans le réseau, la même fréquence sera adoptée, que l'eau ait été traitée ou non. Le nombre minimum d'échantillons à répartir sur l'ensemble du réseau sera calculé à raison d'un échantillon par mois et par 5 000 habitants; au-delà de 100 000 consommateurs, cette proportion sera ramenée à un pour 10 000 habitants. Ces valeurs constituent un minimum et les contrôles seront multipliés en cas de menace de pollution.

2. Contrôle chimique.

Il sera fait à l'entrée du réseau à intervalle trimestriel et plus souvent si on a des raisons de craindre une pollution accidentelle. Dans le réseau, la même fréquence sera adoptée lorsque le nombre des consommateurs dépasse 50 000; elle sera semestrielle pour une population inférieure à ce chiffre.

Les autres contrôles — (biologiques, radiologiques) ne sont pas habituels. Ils seront appliqués dans des circonstances particulières.

En résumé, il ressort de notre étude que l'analyse de l'eau n'a pas la simplicité que lui attribue souvent le public. Celui-ci ne saisit pas combien l'interprétation des résultats est délicate. Pour émettre un avis sur la potabilité de l'eau, on ne négligera aucun élément étranger à l'analyse elle-même: enquête sur place, débit, données hydrogéologiques, manière dont l'échantillon a été prélevé. De plus, tous les caractères de l'eau seront pris en considération: physiques, chimiques, bactériologiques, biologiques et radiologiques. Les chiffres-limites n'ont d'ailleurs pas toujours une valeur absolue. C'est sur une synthèse de tous ces

éléments que l'hygiéniste basera une conclusion valable. Ce qui importe surtout, c'est, au cours d'analyses successives, la courbe des chiffres obtenus, tant au point de vue des constituants chimiques que des numérations microbiennes.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BORGNEZ, G.: Problèmes hydrologiques au Congo Belge et au Ruanda-Urundi (I.R.C.B., Bruxelles, 1952).
- [2] —: Problèmes de l'approvisionnement en eau au Congo Belge (*Revue de la Société Royale Belge des Ingénieurs et des Industriels*, 1955, N° 4).
- [3] DEVROEY, E.J.: A propos de l'alimentation en eau potable des collectivités indigènes au Congo Belge (I.R.C.B., *Bulletin des séances*, 1949, p. 1 001).
- [4] Fonds du Bien-être Indigène: Rapports de gestion de 1949 à 1962.
- [4^{bis}] FURON, R.: Le problème de l'eau dans le monde (Payot, Paris, 1963).
- [5] Organisation Mondiale de la Santé. Normes internationales applicables à l'eau de boisson (Genève, 1958).
- [6] Organisation Mondiale de la Santé. Rapport du Comité d'experts des normes internationales pour l'eau de boisson (Genève, 14-20 août 1962).
- [7] VAN RIEL, J.: Hygiène Tropicale (Editions Desoer, Liège, 1958).
- [8] —: L'eau en Afrique rurale (Etudes et réalisations au Congo et au Rwanda-Burundi (Seventh International Congresses on Tropical Medicine and Malaria, Rio de Janeiro, 1-11 Septembre 1963. Abstracts of the Papers, p. 375).
- [9] WAGNER, E.G. et LANOIX, J.N.: Approvisionnement en eau des zones rurales et des petites agglomérations (Organisation Mondiale de la Santé, Série des Monographies, N° 42, Genève, 1961).

TABLE DES MATIERES

RÉSUMÉ	3
SAMENVATTING	6
SUMMARY	10
RESUMEN	13
AVANT-PROPOS	17
I. EAU ET SANTÉ	19
1. Rôle de l'eau et quantités requises	19
2. Origine hydrique des maladies	21
3. Autres implications du problème de l'eau dans la santé publique	31
4. Aspect social du problème de l'eau	32
II. ETUDES ET RÉALISATIONS DANS LES RÉGIONS RURALES DU CONGO, DU RWANDA ET DU BURUNDI	35
1. Zones à desservir	35
2. Quantité d'eau à distribuer	37
3. Solutions adoptées	38
4. Mesures contre l'agressivité	42
5. Pénétration des racines	47
6. Matériaux de fabrication locale	48
7. Programme éducatif	49
8. Vue d'ensemble des réalisations	49
ANNEXE: QUALITÉS REQUISES POUR LES EAUX D'ALIMENTATION	51
1. Définition	52
2. Technique de prélèvement	53
3. Normes	55
4. Surveillance permanente et fréquence des prélèvements	69
BIBLIOGRAPHIE	73
TABLE DES MATIÈRES	75
PHOTOS	<i>in fine</i>



FIG. 1. — Puits creusé.



FIG. 2. — Puits foré.



FIG. 3. — Fontaine.



FIG. 4. — Nipple galvanisée de 1 1/4", rongée par l'eau non traitée, après une durée de service d'environ 18 mois.



FIG. 5. — Altération d'un tuyau de béton.



FIG. 6. — Etablissement à flanc de coteau d'une adduction.

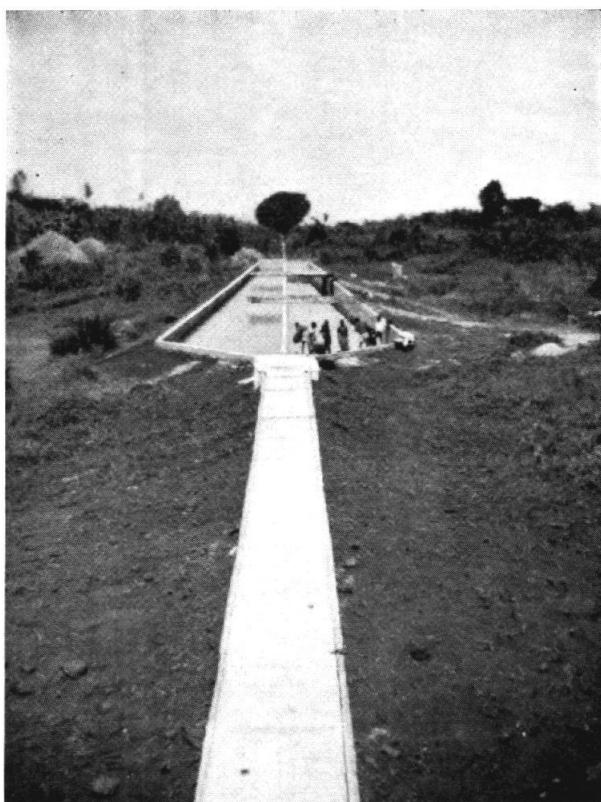


FIG. 7. — Filtre au départ d'une adduction.



FIG. 8. — Pose de canalisations d'adduction.

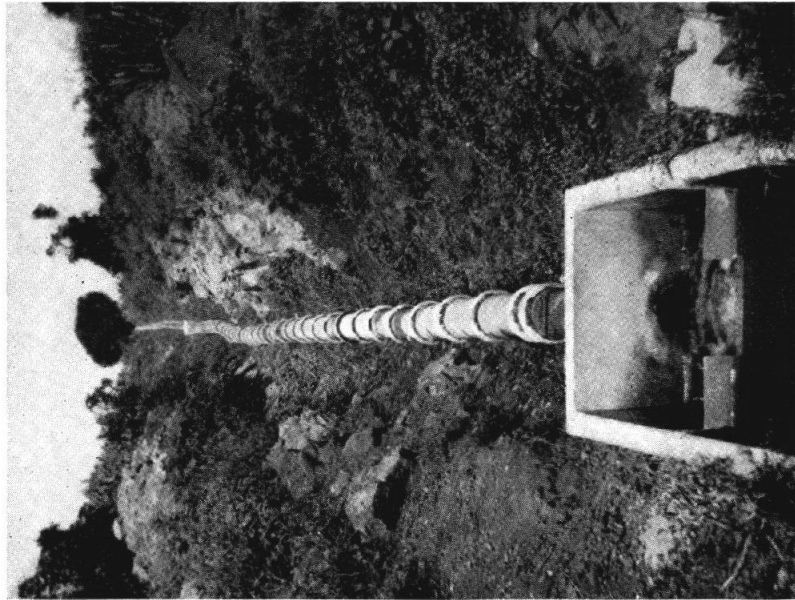


FIG. 9. — Départ d'une canalisation.



FIG. 10. — Une autre canalisation.

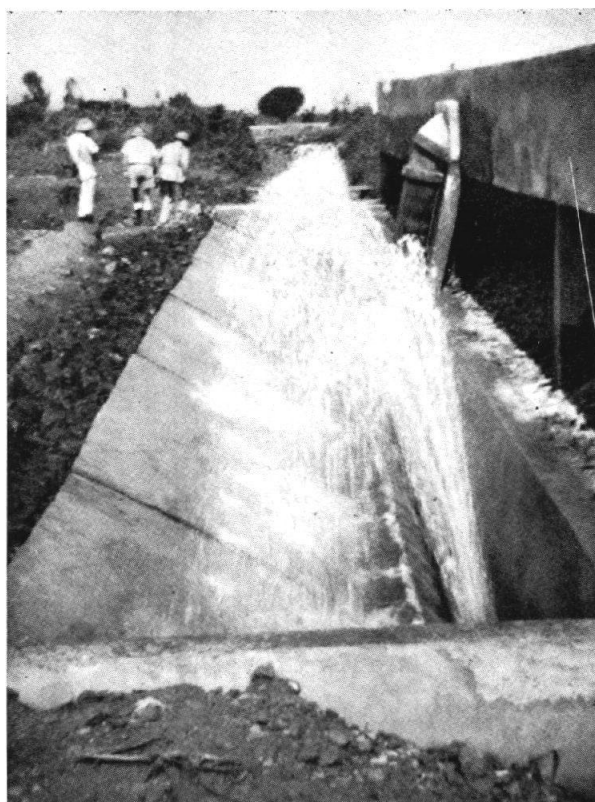


FIG. 11. — Réduction de l'agressivité par aération.

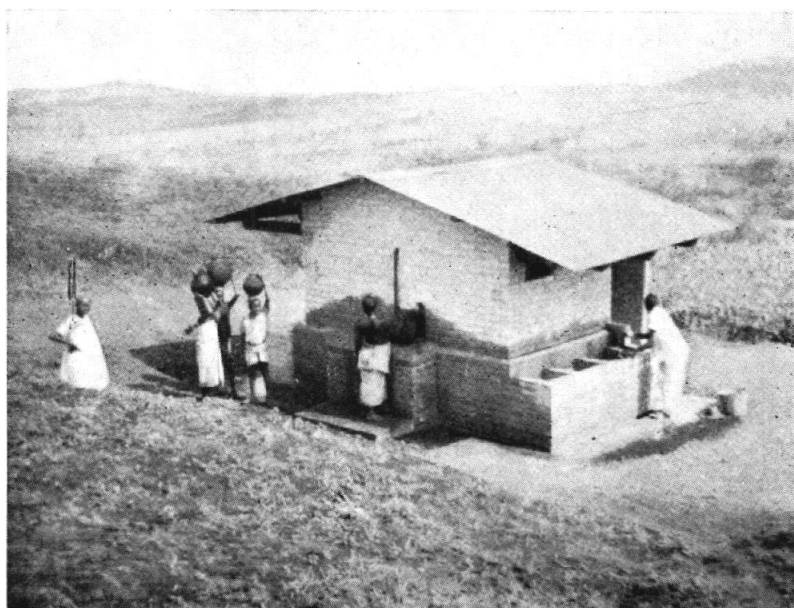


FIG. 12. — Point de prélèvement le long d'une adduction.



FIG. 13. — Lavage et stockage du sable pour fabrication de dalles pour les fontaines.

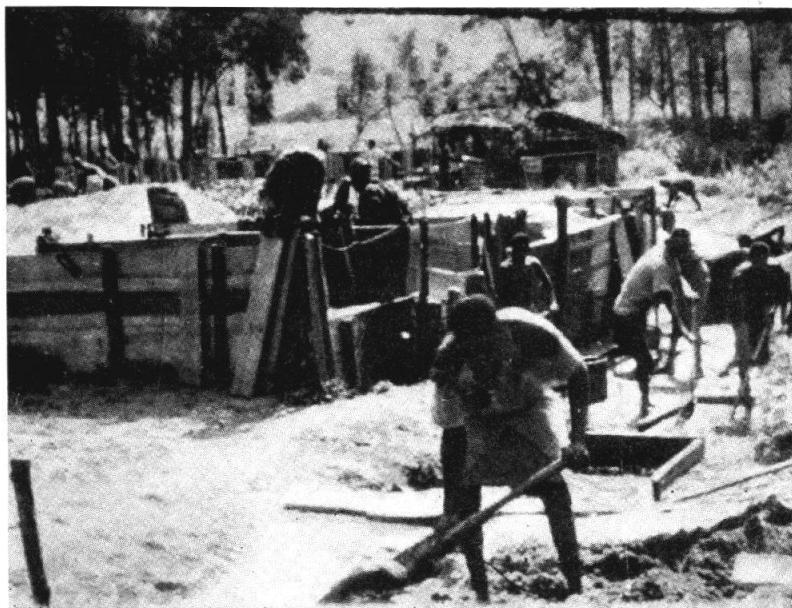


FIG. 14. — Moulage de dalles pour petites fontaines.



FIG. 15. — Stockage de dalles.



FIG. 16. — Stockage des tuyaux.

Achévé d'imprimer le 20 octobre 1964
par l'Imprimerie SNOECK-DUCAJU et FILS S.A., Gand-Bruxelles