

MAÎTRISE DE LA QUALITÉ DES EAUX DESTINÉES À LA CONSOMMATION HUMAINE EN SITUATION DÉGRADÉE : EXPÉRIENCE DU SERVICE DE SANTÉ DES ARMÉES FRANÇAIS

QUALITY CONTROL OF DRINKING WATER IN A DEGRADED ENVIRONMENT: EXPERIENCE OF THE FRENCH MILITARY HEALTH MEDICAL SERVICE

Par Mickaël BONI⁽¹⁾, Jean-Paul DEMONCHEAUX⁽²⁾, Caroline GIRARDET⁽³⁾ et Gilles BORNERT⁽⁴⁾
(Communication présentée le 20 novembre 2008)

RÉSUMÉ

Dans la situation dégradée des opérations extérieures, l'hygiène en campagne, notamment celle liée à l'eau potable, mérite d'être parfaitement maîtrisée. Une nouvelle doctrine impose pour chaque usage une qualité d'eau unique, équivalente à celle proposée en métropole. La production d'eau est mise en œuvre en opération extérieure par les armées, grâce à des matériels adaptés dont certains sont nouveaux et très performants. Pour répondre aux besoins quantitatifs et qualitatifs des troupes, le traitement de l'eau potable, basé sur les principes classiques de clarification et de désinfection, est choisi après une analyse des dangers et une étude pluridisciplinaire de la qualité de la ressource. Le contrôle est confié au service de santé des armées, en particulier aux vétérinaires qui disposent, pour assurer cette mission cruciale, d'une formation technique, de laboratoires de terrain, de laboratoires et d'experts référents en métropole.

Mots-clés : sécurité sanitaire des aliments, microbiologie alimentaire, zoonoses, eau potable, hygiène en campagne, service de santé des armées, vétérinaire, laboratoire.

SUMMARY

During foreign operations in a degraded environment, field hygiene, and especially that of drinking water, must be perfectly controlled. A new doctrine imposes a single standard for the quality of water, equivalent to that found in France. When on foreign operations, military staff produces drinking water using appropriate equipment, some of which is new and very efficient. To meet the quantitative and qualitative needs of the troops, water is treated using the traditional clarification and disinfection principles, based on a hazard analysis and a multidisciplinary evaluation of the resources available. The quality of the water is checked by the French military health services, in particular by their veterinary surgeons, who have the required technical knowledge and have access to field laboratories, as well as referral laboratories and experts in France.

Key words: food safety, food microbiology, zoonoses, drinking water, field hygiene, french military health medical service, veterinary surgeon, laboratory.

(1) DRSSA Saint-Germain-en-Laye, Camp des Loges, 78100 Saint Germain en Laye.

(2) Secteur vétérinaire de Lyon

(3) Secteur vétérinaire de Paris

(4) DRSSA Brest

INTRODUCTION

En opérations extérieures, les armées sont souvent confrontées à des situations épidémiologiques très défavorables, qui peuvent compromettre leur disponibilité opérationnelle et perturber la conduite des opérations militaires. Ce n'est pas un constat nouveau, le cas historique de la bataille de Valmy illustrant les conséquences opérationnelles d'une épidémie de dysenterie. Pour éviter de telles situations, l'hygiène en campagne est une préoccupation majeure du service de santé des armées, notamment l'hygiène de l'eau, dont sont chargés spécifiquement les vétérinaires.

Le problème de la logistique de l'eau a pris une importance particulière depuis environ quinze ans, dès lors que les forces armées se sont engagées loin de leur base arrière. Les besoins des militaires dans ce domaine ne sont pas différents de ceux des organisations humanitaires confrontées à des populations déplacées : il s'agit d'alimenter en eau des effectifs importants, dans des conditions parfois précaires, avec le souci de préserver leur santé. Préoccupation de toujours pour les armées, et pour leur service de santé en particulier, l'eau est un domaine de compétence plus récent pour les vétérinaires militaires. À partir des années 1990, la multiplication des interventions extérieures et leur contexte particulier ont conduit à confier la gestion du dossier de l'eau aux vétérinaires présents sur les théâtres d'opération, en raison de leur formation en hygiène générale et plus spécifiquement en hygiène des aliments. Cette mission n'a fait que prendre de l'ampleur au fur et à mesure que l'expertise technique des vétérinaires a été reconnue.

Les constats de terrain étaient d'une manière générale assez préoccupants, le besoin s'étant modifié sans que l'organisation logistique ne soit profondément remise en question. À partir de 2001, la refonte du cadre réglementaire applicable aux eaux destinées à la consommation humaine, au sein de l'Union européenne, a constitué le moteur de l'évolution. Un dernier aspect est venu compliquer le débat, tout en le plaçant sur le devant de l'actualité : l'émergence d'une menace terroriste. Tous ces éléments motivent la réflexion que mènent actuellement les armées sur la « chaîne de l'eau ».

Le service de santé des armées a été un précurseur en la matière en proposant des lignes directrices dans une instruction ministérielle récente (1), ainsi qu'au travers d'une participation active aux travaux de l'OTAN. Ce sont les principaux éléments de cette réflexion qui seront développés dans cette communication. Nous aborderons successivement les besoins en eau, les moyens de traitement, les outils de contrôle utilisables sur le terrain pour terminer par quelques réflexions d'actualité.

BESOINS EN EAU

Besoin quantitatif

Le manque d'eau entraîne des désordres physiologiques. Il est à l'origine d'une fatigue, liée à la déshydratation et favorise l'ap-

parition du coup de chaleur bien connue des sportifs. Le besoin quantitatif varie très largement en fonction de l'activité physique et des conditions climatiques. Pour les personnels militaires, différents documents ont été rédigés, qui fournissent des indications sur ce sujet et qui précisent les besoins normaux, minimaux ou encore spécifiques (2).

Un français utilise en moyenne 37 litres d'eau par jour pour ses différents usages : la boisson et la préparation des aliments, l'hygiène corporelle, le lavage du linge et des matériels. La boisson ne représente qu'un usage mineur au regard de la quantité totale d'eau nécessaire. Ces volumes sont qualifiés dans les armées de besoins normaux. À l'échelle d'une collectivité, par exemple dans le cas d'un camp de mille hommes tel qu'il s'en construit actuellement pour les troupes en phase de stationnement, ils sont considérables, de l'ordre de 150 m³ à fournir chaque jour.

Les besoins minimaux correspondent à des apports quotidiens permettant d'assurer uniquement la boisson, la préparation des aliments et le lavage des mains, dont devrait disposer le combattant en situation de déploiement ou de combat, sur le terrain. Ils sont, en climat chaud, de 30 litres par homme et par jour, mais peuvent être ramenés à 10 litres de manière exceptionnelle et pour une durée n'excédant pas trois jours (tableau 1).

	Métropole Centre-Europe	Outremer
Usage minimal exceptionnel (3 jours maximum)	5	10
Usage minimal normal	10	30

Tableau 1 : Besoins minimaux en eau pour un combattant (en litres/homme/jour), d'après (2).

Ces besoins minimaux exceptionnels correspondent à la situation d'un combattant engagé dans une opération ponctuelle de courte durée, isolé ou en groupe de combat.

Il faut enfin prendre en compte les besoins spécifiques, liés à des activités techniques, par exemple pour les structures de soins. Il faut ainsi prévoir de l'ordre de 100 litres d'eau par blessé et par jour. Il existe sur ce point des normes spécifiques de l'OTAN, précisées dans l'accord de standardisation (Standardization agreement) StanAg n°2885 (3), dont l'ordre de grandeur est le même.

Certains dispositifs militaires sont destinés à apporter des secours à des populations civiles sinistrées (guerre, catastrophe naturelle...). Pour ce type de situation, nous nous référons aux données définies par le Haut Commissariat des Nations Unies pour les réfugiés (4). Un apport de sept litres par personne et par jour est considéré comme le « minimum de survie ». Il s'agit là d'eau destinée à la boisson, à la préparation des aliments et aux ablutions *a minima*. Cette quantité sera portée, le plus rapidement possible, à 15-20 litres par personne et par jour, afin d'as-

sur un minimum d'usages sanitaires améliorant l'hygiène corporelle, vestimentaire ou environnementale. On ajoute à cela les besoins spécifiquement dédiés aux activités médicales (40-60 litres par patient et par jour), ainsi qu'à une éventuelle activité de préparation alimentaire à l'échelle collective (20-30 litres par personne et par jour). En situation de catastrophe, l'abreuvement du bétail, voire l'irrigation des cultures, doivent être pris en compte. Laisser le bétail ou les cultures sans soins revient à accepter l'arrêt des activités agricoles et le risque de survenue de famines à moyen terme. Pour autant, il ne faut pas laisser le bétail épuiser les ressources en eau : un bovin a besoin d'environ 30 litres d'eau par jour, soit l'équivalent du minimum de survie pour quatre personnes...

Il faut aussi retenir que, de manière plus insidieuse, l'insuffisance quantitative des apports en eau aura des répercussions immédiates sur l'hygiène individuelle, favorisant la transmission de très nombreuses maladies, en relation notamment avec le péril fécal.

Besoin qualitatif

Au plan qualitatif, il importe de définir les caractéristiques attendues d'une eau considérée comme propre à la consommation humaine.

Le débat est complexe : il faut comprendre, en première intention, que la notion d'eau potable recouvre trois types d'exigences qui concernent l'aspect sanitaire, l'aspect organoleptique et celui de la minéralisation de l'eau. L'eau ne doit pas contenir d'agents susceptibles de constituer un danger pour la santé des personnes, doit être agréable à consommer, présenter en particulier des caractéristiques de limpidité, de couleur, d'odeur et de saveur acceptables pour le consommateur. L'altération des caractéristiques qualitatives de l'eau peut avoir deux impacts sur la santé humaine : une eau de mauvaise qualité organoleptique, soit est sous-consommée, et l'on devra alors faire face aux mêmes problèmes que lors de l'insuffisance des apports en quantité, soit amène le consommateur à recourir à d'autres ressources en eaux, de meilleure qualité organoleptique, mais dont la salubrité n'est pas garantie. L'eau doit enfin convenir aux usages domestiques auxquels elle est destinée, ce qui impose des contraintes techniques vis-à-vis de ses propriétés de dureté et d'agressivité : une eau agressive, en favorisant la corrosion des canalisations, dégrade en effet les réseaux d'adduction et favorise la libération de métaux toxiques comme le nickel ou le plomb.

En métropole et *a fortiori* sur les théâtres extérieurs, il est de la responsabilité du service de santé des armées de veiller à éviter toute négligence dans ce domaine.

Dangers associés

Le problème le plus aigu est lié à la présence fréquente dans l'eau de contaminants divers, dangereux pour l'homme par ingestion. Les agents susceptibles d'être véhiculés par l'eau sont très nombreux. Le risque chimique ou biologique peut être un risque qualifié de naturel, par opposition au risque provoqué, lié à une

action de l'homme. Le risque naturel peut être constant, émergent ou réémergent. La notion de risque provoqué, souvent limitée aux usages intentionnels d'armes chimiques ou biologiques, revêt le plus souvent un caractère accidentel, en relation avec l'imprudence ou la négligence de l'homme.

Pour ne retenir que l'essentiel, deux types de pollutions constituent des préoccupations majeures. Il s'agit d'une part de pollutions par des bactéries, des virus et des parasites d'origine fécale, responsables des maladies du péril fécal. On se positionne alors en partie dans le contexte du risque naturel (eaux contaminées par des matières fécales animales) mais surtout dans un cadre de risque biologique provoqué accidentel (déversement négligent d'eaux usées dans le milieu). Le second volet concerne, d'autre part, les pollutions par les toxiques chimiques issus des activités humaines, que l'homme répand en grandes quantités dans son environnement (*tableau 2*).

L'éventualité d'une contamination volontaire de l'eau, s'inscrivant dans une logique de guerre, de sabotage ou de chantage crapuleux, est plus que jamais d'actualité.

BACTÉRIES	Shigelles (<i>Shigella dysenteriae</i> , <i>S. flexneri</i> , <i>S. boydii</i> , <i>S. sonnei</i>). Salmonelles : - sérotypes typhiques (<i>Salmonella</i> Typhi, Paratyphi A et Paratyphi B), - sérotypes non typhiques (dont Typhimurium, Enteritidis). <i>Vibrio cholerae</i> <i>E. coli</i> (pathovars entérotoxiques, entéro-hémorragiques, entéroinvasifs, entéro-pathogènes).
VIRUS	Entérovirus : - Virus de la poliomyélite. - Virus Coxsackie A et B. - Echovirus. - Entérovirus 68 à 71. Virus des hépatites A et E. Virus agents de gastro-entérites : Calicivirus, Astrovirus, Coronavirus, Adénovirus.
PARASITES	Protozoaires (<i>Cryptosporidium</i> , <i>Giardia</i>). Helminthes (dont <i>Ascaris lumbricoïdes</i> , <i>Trichuris trichiura</i> , <i>Enterobius vermicularis</i>).
AGENTS BIOLOGIQUES	<i>Bacillus anthracis</i> , <i>Francisella tularensis</i> , <i>Coxiella burnetii</i> , <i>Brucella</i> spp., <i>Burkholderia mallei</i> , <i>Burkholderia pseudomallei</i> , neurotoxine de <i>Clostridium botulinum</i> , entérotoxine B de <i>Staphylococcus aureus</i> , ricine.
AGENTS CHIMIQUES	Cyanures, hydrocarbures, produits phytosanitaires, organophosphorés, etc.

Tableau 2 : Principaux agents biologiques et chimiques pouvant être retrouvés dans l'eau

On peut considérer qu'un acte de ce type mettra en jeu des agents actifs à de faibles concentrations. Le militaire cherche à diminuer les capacités du combattant adverse, le terroriste cherche le plus souvent à tuer, même si l'on sait qu'en matière de terrorisme ou de chantage, l'important est moins la réalité du risque que l'ampleur de l'inquiétude que l'on génère au sein des populations par des effets d'annonce relayés par les médias.

Il n'existe que très peu de données disponibles, et pour cause, quant à la manière de saboter efficacement une chaîne de ravitaillement en eau, mais le sujet a fait l'objet de travaux dans le passé dans une perspective militaire.

Pour les agents biologiques, il est possible de se référer aux travaux du Center for Disease Control and prevention (CDC) qui propose une liste des agents les plus susceptibles d'être utilisés dans des actes de type bioterroriste (Rotz 2002), établie à partir des études de leur impact potentiel sur les populations. L'évaluation de cet impact prend en compte la gravité médicale des effets, la facilité de dissémination de l'agent (résistance dans le milieu extérieur, contamination interhumaine), la perception de son action nocive par le public et la possibilité de prévention. Restreinte au seul domaine de l'eau, cette liste met en avant les agents les plus communs du risque naturel, mais envisage aussi l'utilisation d'agents plus originaux dans nos pays. Les toxines occupent aussi une place de choix dans les hypothèses du CDC, à la limite entre le risque biologique et le risque chimique.

Pour les agents chimiques, la liste est longue : les toxiques de guerre, en particulier ceux qui présentent une bonne solubilité dans l'eau (cyanures principalement), constituent des dangers potentiels. Il en est de même pour les hydrocarbures ou les produits phytosanitaires : ils ont l'avantage d'être en vente libre et certains se révèlent particulièrement toxiques par voie orale, à l'image de nombreux herbicides dont la DL 50 par voie orale chez l'homme est très faible (tableau 2).

Au bilan, la liste des dangers est, dans l'absolu, très longue, mais le risque dans des circonstances données est, en pratique, fonction de la situation épidémiologique locale, du contexte tactique et en particulier, de l'éventualité d'utilisation d'armes non conventionnelles, ainsi que du niveau de la menace terroriste.

Le risque est enfin directement lié à la fiabilité des moyens mis en place pour assurer l'approvisionnement en eau et tout particulièrement, les caractéristiques de la ressource et les moyens d'épuration. Certaines substances, comme les dérivés perfluorés ou les agents chimiques de guerre, sont très difficiles à détruire ou à extraire de l'eau. Il ne faut pas enfin oublier les possibles approvisionnements parallèles, comme l'achat d'eau en bouteilles, produite localement ou dans des pays à risque, eau dont la qualité est souvent inconnue.

La distinction entre les effets aigus et les effets chroniques liés aux pollutions de l'eau conduit souvent, de manière pragmatique, à négliger le risque chronique pour ne se focaliser que sur les risques aigus (essentiellement lié au risque biologique par ingestion) et de ne pas prévoir les moyens les plus performants pour traiter l'eau conduisant à se satisfaire en permanence d'une

situation dégradée, notamment pour les usages autres que la boisson (cuisine, douches). Ce risque chronique ainsi que les risques liés à l'inhalation d'une eau polluée, par exemple par le trichloréthylène, ne doivent pas être négligés. La préparation joue alors un rôle crucial, pour prévoir *a priori* les meilleurs procédés de traitement pour traiter efficacement toute qualité d'eau.

TRAITEMENT DE L'EAU

Principes de traitement des eaux

Les procédés d'épuration de l'eau reposent presque toujours sur deux étapes principales : la clarification et la désinfection.

Clarification

L'étape de clarification a un double objectif, éliminer les substances toxiques présentes dans l'eau et capter un maximum de la matière en suspension, dont la présence nuit à l'efficacité de la seconde étape, la désinfection.

Classiquement, l'étape de coagulation-floculation est suivie d'une décantation éventuellement d'une filtration. Pour évaluer l'efficacité d'un procédé de filtration, il faut tenir compte de la taille des particules à éliminer, sachant que parmi les microorganismes, les plus petites particules ont un diamètre de 20 nm (virus de la poliomyélite) mais que dans le domaine des polluants chimiques, on atteint des tailles beaucoup plus petites avec les ions.

Les différents procédés de filtration sont alors classés en fonction de leur seuil de coupure, qui correspond au diamètre apparent des pores du filtre (de l'ordre du micromètre pour la microfiltration, de 0,1 micron à 10 nanomètres pour l'ultrafiltration, de l'ordre du nanomètre pour la nanofiltration et plus petit encore pour l'osmose inverse permettant d'éliminer les ions comme les chlorures).

La filtration peut être complétée par des techniques d'adsorption sur charbon actif ou sur résines échangeuses d'ions, qui permettent de retenir de façon plus ou moins sélective certains polluants chimiques. À côté de ces techniques, il existe une possibilité d'assurer la clarification de l'eau par distillation.

Désinfection

La désinfection constitue une étape majeure en technologie de l'eau. Son objectif est d'assurer la destruction des agents biologiques, microorganismes, parasites et toxines.

Dans les armées, pour des installations de campagne, on donnait la préférence à des produits pratiques d'emploi, en particulier l'hypochlorite de sodium en solution, c'est-à-dire l'eau de Javel et l'hypochlorite de calcium ou HTH. Depuis quelques années, on leur préfère le dichloroisocyanurate de sodium, plus connu sous l'abréviation DCCNa, qui est commercialisé sous forme de comprimés effervescents ou de poudre et que l'on trouve désormais dans les rations de combat individuelles. Tous les dérivés chlorés induisent la formation d'acide hypochloreux (HClO), qui est un oxydant puissant à l'origine de l'effet

désinfectant : on parle de « chlore actif ». L'effet létal des dérivés chlorés est quantifié au moyen du Ct99, qui correspond au couple concentration/temps de contact permettant de détruire 99 % de la population initiale du microorganisme considéré⁽⁵⁾. D'une manière générale, les virus ont un Ct99 environ dix fois supérieur à celui des bactéries, tandis que les oocystes de protozoaires sont 100 fois plus résistants que les bactéries.

L'acide hypochloreux peut se combiner à des molécules organiques pour former ce qu'il est convenu d'appeler le chlore « combiné ». La chloration est donc d'autant plus efficace que l'eau est peu chargée en matière organique. L'ensemble du chlore libre et du chlore combiné constitue le chlore « total ».

Au bilan, dans la conception d'un protocole de chloration de l'eau, on utilise des doses variant de 1 à 10 mg de chlore par litre d'eau. Dans les armées, le protocole retenu vise à garantir, après 30 minutes de contact, une teneur résiduelle en chlore actif au moins égale à 0,5 mg.l⁻¹, ce qui suppose des niveaux de chloration initiale pouvant aller jusqu'à cinq, voire 10 mg.l⁻¹, si l'eau est mal clarifiée.

À l'issue de la phase de traitement, toute la difficulté consiste à maintenir un taux de chlore actif résiduel suffisant lors des phases de distribution pour que l'eau se conserve. Une teneur en chlore actif de l'ordre de 0,1 à 0,2 mg.l⁻¹ en tout point du réseau est recommandée. Dans un contexte de menace bioterroriste, on recommande même d'augmenter cette concentration à 0,3 mg.l⁻¹ dans les eaux des réservoirs, comme cela est prévu, en France, par le plan Vigipirate.

Matériels de traitement mis en œuvre par les armées

Les armées ont développé des équipements, propres à répondre aux contraintes spécifiques des théâtres opérationnels, qui utilisent les principes de traitement qui viennent d'être décrits.

Matériels collectifs

Le matériel de traitement de l'eau modulaire (MATEM) de l'armée de terre, ou appareil en conteneur, est un équipement conditionné dans un conteneur, transportable sur camion comme par voie aérienne. Il a été mis au point pour les opérations humanitaires et permet d'alimenter en eau jusqu'à 2000 personnes. Il fonctionne sur le principe de la filtration sur sable, avec désinfection finale et n'assure qu'une épuration biologique de la ressource. Le seuil de coupure est ici de 3 µm. Globalement, il s'agit d'un équipement comparable à une station de traitement du type de celles que l'on rencontre en métropole.

L'unité mobile de traitement de l'eau (UMTE) de l'armée de terre est disposée sur une remorque chenillée, susceptible d'être tractée derrière un véhicule de la gamme tactique. Elle fonctionne selon le principe de la distillation et présente

l'énorme avantage d'assurer une épuration totale de l'eau, y compris vis-à-vis des toxiques chimiques de guerre et de certains radionucléides. Son inconvénient essentiel est sa faible capacité de production. Par ailleurs, elle requiert une abondante ressource en eau, condition qui n'est pas respectée dans toutes les régions du monde. Sa mise en œuvre s'est révélée difficile dans des conditions extrêmes de température ou d'altitude.

Le choix du recours à la distillation est original, puisqu'il s'agit d'une technologie que les autres armées de l'OTAN n'utilisent pas. Si l'expérience a démontré l'efficacité de cette technique, l'UMTE apparaît actuellement un peu dépassée car :

- les techniques d'osmose inverse sont désormais très perfectionnées et la fragilité des membranes invoquée autrefois est désormais infondée ;
- le rendement de la distillation est diminué à haute altitude ;
- la consommation de carburant de l'UMTE est considérable, ce qui crée des contraintes d'approvisionnement très lourdes et génère un risque de pollution par hydrocarbures de la zone de production ;
- l'eau produite est chaude, puisque malgré le circuit de refroidissement, elle est livrée à environ 30 °C, ce qui implique de pouvoir la laisser refroidir avant de la consommer.

Il importe au bilan de retenir la différence fondamentale d'efficacité qui existe entre ces deux types de matériels : le MATEM ne garantit qu'une épuration biologique ; l'UMTE permet une épuration totale.



Figure 1 : Station légère de traitement de l'eau potable par osmose inverse de l'armée de terre.

(5) Le Ct correspond au produit d'une concentration C (en mg.l⁻¹) appliquée pendant un temps t (en min). Pour un même effet, on peut ainsi réduire le temps de contact en augmentant la concentration du désinfectant. Il permet de comparer les désinfectants entre eux si on les utilise sur un même agent biologique et de comparer la résistance des agents biologiques à un même désinfectant.

À côté de cette génération d'appareils, qui arrive en fin de vie, de nombreuses études sont en cours pour développer de nouveaux concepts.

Au plan collectif, l'armée de l'air dispose déjà d'un système, qui comprend une unité d'ultrafiltration pouvant être couplée à un module d'osmose inverse. Ce matériel produit 240 m³ par jour en ultrafiltration simple et 60 m³ par jour en osmose inverse. L'armée de terre expérimente le concept de la station légère de production d'eau potable (SLPEP). Il s'agit d'un système permettant d'assurer l'approvisionnement d'un effectif de 300 hommes à raison de 30 litres par homme et par jour (figure 1). Cette station précède les MATEM et UMTE sur les théâtres, lors des phases de déploiement. Le cahier des charges impose :

- un débit de 9 m³ par jour,
- une capacité d'ensachage de l'eau,
- la production d'eau potable (sauf toxiques de guerre et radionucléides).

Il est enfin devenu courant, pour les phases de stationnement, de mettre en place des équipements qui ne sont pas militaires. Il s'agit d'unités d'ultrafiltration, de microfiltration ou d'osmose inverse, appareils issus directement du commerce civil.

Matériels individuels de traitement

En pratique, les appareils individuels et portables, anciens, sont désormais interdits d'emploi dans les armées. D'autres matériels plus performants devraient les remplacer à moyen terme. Le traitement de l'eau dans les situations très dégradées au cours desquelles le traitement par le combattant lui-même s'avère nécessaire, n'est en effet pas résolu. Les solutions proposées par les dispositifs du commerce consistent soit dans l'ébullition de l'eau, soit dans l'ajout d'un désinfectant. Ce dernier doit être ajouté après une clarification (élimination des matières organiques et des parasites par précipitation avec ou sans filtration) pour être efficace. Des nouvelles techniques, en cours de développement, associent dans un seul produit des propriétés clarifiantes et désinfectantes (ChlorFloc®, OneDrop® ou encore Aquasure®). Ces produits sont prometteurs pour le combattant mais aussi pour les situations de catastrophes ou les opérations humanitaires. Par exemple, le produit Aquasure® se présente sous la forme d'une pastille bicouche permettant un traitement séquentiel de l'eau : floculation/décantation des matières en suspension par un sel ferrique dans un premier temps, désinfection par le chlore actif libéré dans un second temps. Chaque pastille est dosée pour traiter 200 litres d'eau. En 2006, ce produit a déjà fait l'objet d'un test sur le terrain par le service de santé des armées, lors du déploiement de forces françaises dans le cadre d'un exercice de la force de réaction rapide de l'OTAN sur l'archipel des îles du Cap Vert. Les résultats analytiques obtenus sont très prometteurs. Il a également fait l'objet d'un grand

nombre d'essais par les instances gouvernementales ou des organisations non gouvernementales, essentiellement en Afrique. Ce type de produit ne permet cependant pas d'éliminer totalement le risque chimique.

Matériels de distribution

La distribution de l'eau produite sur les théâtres est actuellement envisagée presque uniquement sur un mode discontinu. Le Commissariat, service chargé de la fourniture de l'eau, dispose pour cela de citernes, souples ou rigides, destinées au transport, puis à l'entreposage de l'eau. Il détient aussi des appareils permettant l'ensachage de l'eau de boisson. La qualité de la distribution est primordiale pour maintenir celle de l'eau potable produite. Le service en charge de la fourniture de l'eau a défini de façon très précise les modalités à respecter dans l'utilisation de l'eau, en particulier les délais de mise en consommation. En effet, en fonction des conditions locales et du niveau de chloration appliqué, l'eau ne conserve ses qualités sanitaires que de façon limitée dans le temps. Les citernes utilisées doivent être en bon état de propreté et subir des opérations de nettoyage et de désinfection au moins tous les ans. Elles sont en permanence maintenues hermétiquement fermées et leur remplissage s'effectue sans ouverture des trappes techniques. Une simple inspection visuelle périodique des matériels permet d'apprécier leur état général.

Logique d'utilisation

Le point de départ de la démarche est un inventaire quantitatif et qualitatif des différentes ressources disponibles sur le théâtre, au cours de la phase initiale d'installation d'un dispositif. La mission de reconnaissance doit évaluer chaque ressource et apprécier les conditions environnementales, en particulier en identifiant les sources potentielles de pollutions. Elle réalise aussi un bilan analytique de l'état des ressources naturelles. La synthèse des données recueillies permet de caractériser non seu-

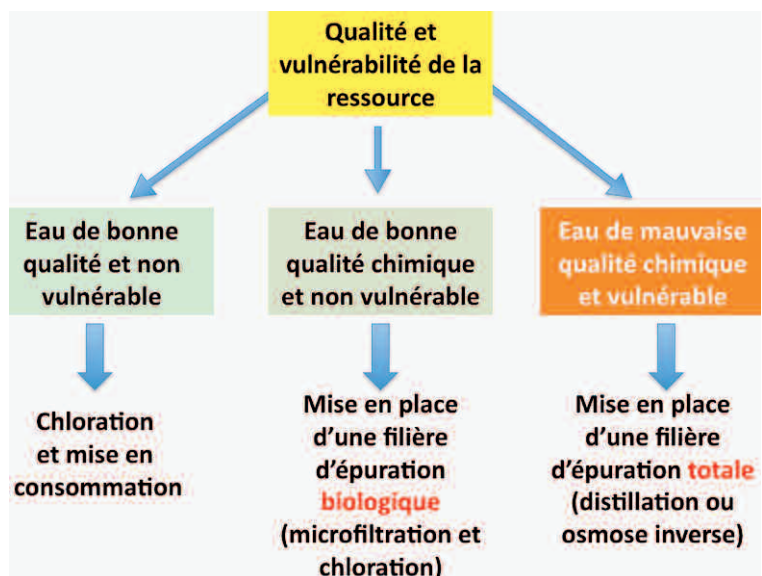


Figure 2: Types de traitement en fonction de la pollution de la ressource.

lement la qualité de chaque ressource mais aussi sa vulnérabilité, c'est-à-dire le risque d'observer une modification de ses caractéristiques au fil du temps (interactions avec le milieu naturel, les activités humaines, la menace terroriste). Cette analyse des dangers implique de disposer d'équipes pluridisciplinaires d'experts. Ce travail doit déboucher sur le choix de la ressource à exploiter après son homologation.

La nature des procédés de traitement à mettre en œuvre est alors définie, afin de garantir la cohérence entre la filière de traitement et la ressource à traiter. Le principe est basé sur un arbre de décision à trois branches, en fonction des caractéristiques de la ressource, afin d'optimiser l'emploi des matériels de traitement.

L'important est de retenir que lorsque la ressource n'a pas été caractérisée de façon précise, la seule option technique acceptable est le traitement complet (biologique et chimique), par distillation ou par osmose inverse (*figure 2*).

Il convient également d'assurer au mieux la protection de la ressource. Avec le concept de périmètre de protection, l'objectif est d'éviter les pollutions de la zone située à proximité immédiate du point de captage de l'eau : cette zone est à clôturer, afin d'éviter toute intrusion, et à entretenir avec soin.

La compétence technique des personnels en charge des fonctions techniques liées à la chaîne de l'eau revêt une importance cruciale. Il faut insister aussi sur la nécessité de mettre à disposition des équipes, les documents techniques de référence concernant les modalités pratiques de mise en œuvre des différents équipements (instructions, notices). Les unités en charge de la production et de la distribution de l'eau sur le théâtre reçoivent pour mission d'assurer le pilotage de la production et la surveillance des paramètres techniques critiques ; la connaissance de ces paramètres leur permettra de détecter précocement tout dysfonctionnement susceptible de mettre en péril la santé des consommateurs et de pouvoir mettre en œuvre des actions correctives immédiates. Cette activité consiste en un ensemble d'actions quotidiennes de suivi des matériels de traitement et des modalités de leur utilisation, mais aussi de respect des règles de bonnes pratiques d'hygiène. Elle concerne aussi la distribution de l'eau, par exemple au travers de la réalisation d'un suivi régulier de la teneur en chlore libre dans l'ensemble de la filière. Ces différents aspects relèvent de toute évidence d'équipes spécialisées, les unités déployées sur le théâtre bénéficiant ainsi d'une prestation « clés en main », sans nécessité de s'investir dans la surveillance. L'ensemble des informations relatives à la chaîne de l'eau est consigné dans un registre sanitaire mis à la disposition du service de santé lors du contrôle sanitaire. Un officier, responsable unique de l'ensemble de la filière et de son pilotage, désigné par le commandant des forces, est l'interlocuteur privilégié du service de santé des armées dans sa mission de contrôle sanitaire.

CONTRÔLE DE L'EAU

Logique de mise en œuvre

Le contrôle sanitaire a pour objectif d'évaluer la pertinence, la réalité et l'efficacité des mesures mises en œuvre assurant la maîtrise et la surveillance de la qualité de l'eau. Il s'appuie, d'une part, sur des inspections périodiques des installations et, d'autre part, sur la réalisation de programmes d'analyses de l'eau. Cette activité est à la charge du service de santé des armées. Sa mise en place et son suivi sont réalisés, au plan technique, par un vétérinaire.

Deux approches sont possibles pour résoudre le problème des analyses d'eau en situation opérationnelle. La solution la plus simple en apparence consiste à envoyer les échantillons d'eau à des laboratoires de métropole, agréés pour ce type d'analyses. L'expérience a démontré qu'il était difficile de parvenir à assurer de tels envois de façon régulière, tout en respectant les délais impartis pour la réalisation des analyses. Assurer le transport des échantillons d'eau n'est pas, non plus, considéré comme une priorité absolue par le commandement.

Il est apparu indispensable de proposer des solutions compatibles avec le contexte opérationnel, centrées sur le développement de laboratoires projetables. Les possibilités de tels laboratoires sont largement obérées par la lourdeur de la mise en œuvre de certaines techniques.

À partir de ce constat, il a été décidé de définir les canevas analytiques suivants :

- des analyses de base, réalisables par les laboratoires de terrain, le sont avec une fréquence hebdomadaire ou mensuelle ;
- des analyses complètes dont la réalisation est beaucoup plus exceptionnelle, semestrielle ou annuelle, sont confiées à un laboratoire expert en métropole ;
- les fréquences de réalisation de ces analyses sont adaptées en fonction de la qualité du traitement (*tableau 3*).

Procédé de traitement	Programme complet (hors ressource)	Programme de routine en production	Programme de routine en distribution
Désinfection seule	2/an	1/mois	1/semaine
Microfiltration ou ultrafiltration	2/an	4/an	1/semaine
Osmose inverse ou distillation (ou procédé de performance équivalente)	1/an	4/an	1/semaine

Tableau 3 : Plan d'échantillonnage prévu pour les analyses d'eau en opération d'après (1). Le programme complet, réalisé en métropole, comporte les paramètres microbiologiques, physico-chimiques et chimiques. Le programme routine, réalisé sur le terrain, ne comporte que la microbiologie, les critères physico-chimiques et le chlore libre, les paramètres fer, cuivre, nickel étant spécifiques du programme routine en distribution.

Cette organisation résout en grande partie le problème de l'envoi des échantillons en métropole, même s'il reste nécessaire d'obtenir du commandement qu'il assure, en moyenne deux fois par an, des transports vers la métropole. Des dotations de matériels pour la réalisation de prélèvements d'eau ont été conçues. Ils permettent de conserver les échantillons dans les conditions nécessaires pour réaliser les analyses : flacon verre ou plastique, malle réfrigérée, ajout de conservateurs et de réactifs, suivi de la chaîne du froid.

On retrouve dans les canevas analytiques des schémas assez comparables aux exigences de l'OTAN (6) et à ceux utilisés en métropole (7, 8). Pour les laboratoires de terrain, les techniques les plus simples possibles à mettre en œuvre ont été préférées. En bactériologie, la technique Colilert/Enterolert®, commercialisée par le laboratoire IDEXX, a été retenue. Ce matériel permet de réaliser de façon très simple soit la recherche, soit le dénombrement des microorganismes indicateurs de contamination d'origine fécale, les entérocoques et les *Escherichia coli* (et accessoirement les coliformes). On retrouve les critères définis par la réglementation en métropole.

Il sera aussi possible de réaliser le dénombrement des deux flores aérobies revivifiables (+22 °C et +37 °C) sur Petrifilm®. En revanche, il n'a pas été jugé possible de prévoir une technique pour le dénombrement des bactéries sulfitoréductrices, ce qui sera au mieux effectué en métropole.

Pour les paramètres chimiques, un spectrophotomètre est prévu : ce matériel pour lequel les techniques de mesure ont été validées par un laboratoire accrédité, est assez simple à utiliser grâce aux tests en tubes HACH-LANGE, qui contiennent les réactifs et dans lesquels il suffit de rajouter l'échantillon d'eau. Il est complété par différents équipements, pH-mètre, turbidimètre, photomètre pour le dosage du chlore libre.

Ces dotations permettent de déployer des laboratoires de terrain performants. En plus de ces matériels d'analyse conditionnés en malles, faciles à transporter et à mettre en œuvre, même dans des conditions précaires d'installation, il est prévu une version plus lourde de ce laboratoire, qui autorise la réalisation d'analyses plus complexes, notamment pour la gestion des incidents et pour l'évaluation approfondie des ressources : l'objectif poursuivi est de pouvoir dénombrer les bactéries et de caractériser les souches de contaminants.

Les analyses réalisées dans le cadre du contrôle sanitaire doivent être clairement distinguées de celles qui peuvent être nécessaires dans le cadre de la surveillance mise en œuvre par le personnel produisant l'eau potable pour s'assurer du fonctionnement correct de la filière. Il s'agit ici d'analyses exhaustives destinées à vérifier *a posteriori* la réalité de la maîtrise du processus de production d'eau. Le contrôle sanitaire ne se substitue jamais à la surveillance.

Au-delà de ce travail d'équipement, il serait illusoire de ne pas prendre en compte l'importance du facteur humain dans la réussite d'un tel projet. Les matériels doivent être confiés à des personnels formés et expérimentés, dont la compétence technique dans la mise en œuvre des techniques d'analyse ne peut être contestée. L'enjeu est trop crucial, puisqu'il s'agit de décider si l'eau peut être consommée. Pour ce qui concerne les vétérinaires et les techniciens vétérinaires, les premières actions dans ce domaine ont commencé en 2004 et se poursuivent aujourd'hui, les dotations vétérinaires pour analyses étant désormais disponibles sur les théâtres d'opération.

CONCLUSION

En situation opérationnelle, l'objectif final est de ne pas nuire à l'état de santé et de maintenir les capacités opérationnelles du personnel militaire. Pour cela, il importe de disposer d'une filière sûre de production et de distribution de l'eau, afin de fournir de l'eau potable en quantité suffisante, quel que soit son usage.

Les réflexions menées par les armées et en premier lieu, par les vétérinaires du service de santé, apportent des réponses concrètes aux difficultés rencontrées sur le terrain, en définissant la politique de la chaîne de l'eau en opération extérieure. Un cadre réglementaire a été créé, adapté aux spécificités et contraintes des théâtres d'opérations.

Il faut souligner l'importance de la préparation dans ce domaine précis. L'analyse des dangers est primordiale, afin de prévoir ce qui doit être mis en place pour gérer une éventuelle situation de catastrophe. Les techniques et les matériels existent, il suffit d'être prêt et formé pour les mettre en œuvre.

BIBLIOGRAPHIE

- 1- Instruction ministérielle n° 3252/DEF/DCSSA/AST/VET du 23 novembre 2006 relative à la mise en œuvre de la surveillance de la qualité et du contrôle sanitaire des eaux destinées à la consommation humaine, pour les forces en opérations et à l'entraînement.
- 2- Notice n° 1919/DEF/DCSSA/AST/TEC du 20 août 1991 relative à l'approvisionnement en eaux des formations et services des armées de terre, de mer et de l'air.
- 3- Accord de standardisation OTAN (StanAg 2885 / Édition n° 4) relatif au ravitaillement de secours en eau en temps de guerre.
- 4- Manuel des situations d'urgence. Haut Commissariat des Nations Unies aux Réfugiés Éditeur, Genève, 2001, 230 pages.
- 5- Rotz L., Khan A., Lillibridge S., Ostroff S., Hughes J. 2002. Public health assessment of potential biological terrorism agents. *Emerg Infect Dis.* 8 (2) : 225-230.
- 6- Minimum standards of water potability during field operations and in emergency situations. Accord de standardisation OTAN n°2136 / AMedP-18, janvier 2006, 49 pages.
- 7- Code de la santé publique. Partie réglementaire Livre III - Titre II « sécurité sanitaire des eaux et des aliments » chapitre 1 - section 1 « Eaux destinées à la consommation humaine ».
- 8- Arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7, R. 1321-38 du Code de la santé publique.