Contrôle qualité externe des analyses d'eau sur les bâtiments de la Marine

D. Saurat[a], A. Gollion-Evrard[b], M. Boni[c], J.-U. Mullot[a, d]

a Laboratoire d'analyses de surveillance et d'expertise de la Marine (LASEM), BP 61 – 83800 Toulon Cedex 9.
b Service de protection radiologique des armées (SPRA), 1 bis rue du Lieutenant Raoul Batany – 92141 Clamart Cedex.
c Économat des armées, 26 rue Delizy – 93507 Pantin Cedex.
d École du Val-de-Grâce, 1 place Alphonse Laveran – 75230 Paris Cedex 05.

Résumé

Les bâtiments de la Marine nationale disposent de moyens propres de production d'eaux destinées à la consommation humaine à partir de l'eau de mer. En mission, avoir les moyens d'apprécier régulièrement les principales caractéristiques physico-chimiques de l'eau permet de détecter rapidement toute anomalie pouvant remettre en cause la qualité de l'eau produite et prendre les dispositions adéquates. Il est donc essentiel de vérifier la fiabilité du matériel de terrain et l'aptitude des opérateurs à l'utiliser. C'est pourquoi, le laboratoire d'analyses de surveillance et d'expertise de la Marine de Toulon a organisé en 2014 son deuxième essai inter-bâtiments. Les paramètres pH, conductivité, turbidité, chlore (libre et total), cuivre et nickel ont été mesurés à l'aveugle sur trois échantillons différents par les participants. Au final, 90 % des résultats rendus ont été jugés satisfaisants, démontrant la bonne maîtrise de la surveillance de la qualité de l'eau à bord. Néanmoins, cet essai a mis en évidence des variabilités importantes pour certains paramètres dont l'origine peut être double : matérielle et/ou humaine. Une vigilance particulière sera donc observée sur ces points lors des prochains essais.

Mots-clés : Analyse d'eau. Essai interlaboratoires. Contrôle qualité. Marine.

Abstract

EXTERNAL QUALITY CONTROL OF WATER ANALYSIS ON NAVY BOATS.

Navy boats can produce drinking water from sea water. During missions, they regularly assess the main physico-chemical characteristics of the water to detect any abnormality which could affect the quality of the produced water, and take the necessary measures. So, it is essential to check the reliability of the field equipment and the ability of the operators to use it. That is why Toulon navy laboratory organized his second inter-boats tests in 2014. Parameters such as pH, conductivity, turbidity, chlorine (free and total), copper and nickel were measured by each participant on three different samples. Finally, 90 % of the results were satisfactory, proving the good control on board of water quality monitoring. However, the tests showed significant variability for some parameters which can be explained for two reasons: material and/ or human. Particular vigilance will be observed on these points during future tests.

Keywords : Inter-laboratory test. Navy. Quality control. Water analysis.

DOSSIER

Introduction

À bord des bâtiments de la Marine nationale en mission, la quantité d'eau utilisée pour la boisson, la cuisine et l'hygiène est importante. Afin de maintenir leur autonomie en toutes circonstances, les bâtiments sont dotés de systèmes de production qui permettent d'obtenir, à partir de l'eau de mer, des eaux dites « destinées à la consommation humaine ». Pour ne pas nuire à la santé de l'équipage et par conséquent à son aptitude opérationnelle, il est essentiel de mettre en place des mesures permettant de maîtriser la qualité de cette production *in situ*. Cette maîtrise passe notamment par la vérification de critères de qualité bactériologiques et physico-chimiques définis par l'instruction n° 3252/DEF/DCSSA/PC/VET du 9 juillet 2014 (1) selon les modalités précisées par la circulaire n° 501584/DEF/DCSSA/PC/VET du 10 juin 2015 (2). En dehors du port base, lorsque la surveillance des principaux paramètres

D. SAURAT, pharmacien des armées. A. GOLLION-EVRARD, pharmacien des armées. M. BONI, vétérinaire en chef, praticien certifié. J.-U. MULLOT, pharmacien en chef, professeur agrégé du Val-de-Grâce.
Correspondance : Madame le pharmacien D. SAURAT, Laboratoire d'analyses de surveillance et d'expertise de la Marine (LASEM), BP 61 – 83800 Toulon Cedex 9.
E-mail : dominique.saurat@intradef.gouv.fr

ne peut plus être assurée par les Laboratoires d'analyses de surveillance et d'expertise de la Marine (LASEM), les bâtiments disposent alors d'analyseurs de terrain leur permettant d'assurer le suivi de paramètres-clés attestant du bon fonctionnement de leurs systèmes. Néanmoins, et bien que n'assurant pas directement l'analyse, en parallèle de ce qui peut être réalisé à l'hôpital avec la biologie délocalisée gérée par les laboratoires de biologie médicale, les LASEM sont tenus de s'assurer de la qualité des résultats obtenus. Afin de vérifier la fiabilité des mesures réalisées à bord, le LASEM de Toulon a organisé, en 2014, son deuxième essai inter-bâtiments de la Marine nationale. Les résultats sont présentés et commentés dans cet article.

Surveillance des eaux destinées à la consommation humaine produites et disponibles à bord

En dehors des eaux embouteillées, les Eaux destinées à la consommation humaine (EDCH) disponibles à bord proviennent soit du réseau d'adduction des ports base et d'escale, soit des installations de production propres à chaque bâtiment (fig. 1). L'eau peut alors être produite à partir de l'eau de mer par distillation via un bouilleur ou par osmose inverse. Une étape de reminéralisation est ensuite mise en œuvre. La chloration interviendra ensuite avant et/ou pendant le stockage de l'eau dans les cuves du bâtiment. En cas de non-maîtrise de l'ensemble du processus de production et distribution à bord, la qualité de l'eau peut être affectée. À chaque étape de la « chaîne eaux » (production, stockage et distribution), des anomalies peuvent survenir. Par exemple, l'utilisation des bouilleurs peut entraîner le relargage de métaux tels que le cuivre ou le nickel. Ces paramètres seront ainsi spécifiquement suivis pour les bâtiments équipés de ce dispositif de production. Tant que l'eau produite ne présentera pas une concentration en métaux conforme, elle ne devra pas être consommée. Un dysfonctionnement de l'osmoseur, du bouilleur ou un problème de reminéralisation modifieraient en sortie les concentrations ioniques, ce qui se révélerait par une modification progressive ou brutale de la conductivité : ce paramètre est donc étroitement contrôlé. Enfin, la présence de bras morts (eau stagnante favorisant le développement bactérien) pourrait être révélée soit par un dosage du chlore (concentration insuffisante) ou par une mesure de turbidité (valeur élevée). C'est pourquoi, en fonction de l'analyse des risques initialement effectuée sur chaque bâtiment de la Marine, un suivi régulier de certains paramètres physico-chimiques a été jugé nécessaire. Réglementairement, la surveillance minimale des eaux de consommation humaine à bord est réalisée par le suivi régulier de la conductivité, de la dureté (paramètre défini selon les concentrations en ions magnésium et calcium), du potentiel hydrogène (pH), de la turbidité, des concentrations en chlore libre et total et de certains métaux tels que le nickel, le cuivre ou encore le zinc (2). Une dérive ou une variation brutale de ces paramètres alerterait le bord sur un dysfonctionnement du système de production de l'eau. Ces anomalies pouvant avoir des répercussions néfastes sur la santé des consommateurs ou sur les installations du réseau (corrosion, entartrage…), des mesures correctives devront être prises rapidement pour y remédier : purges régulières, entretien des matériels, vérification de la chloration ou de la reminéralisation.

Lorsque les bâtiments sont en mission, cette surveillance paramétrique est réalisée par des personnels du bord habilités, grâce aux appareils de mesure des critères de qualité des EDCH fournis par le service logistique de la Marine (SLM) (3).

Chaque kit de surveillance contient trois analyseurs de terrain : un pH-mètre/conductimètre, un turbidimètre et un photomètre ainsi que les consommables associés (fig. 2). Ils permettent de suivre les paramètres physico-chimiques minimaux pour la surveillance de la qualité de l'eau (tab. I). Des analyseurs équivalents sont utilisés en OPEX par les vétérinaires des armées.

Si besoin, en fonction de l'analyse des risques, des réactifs supplémentaires peuvent être approvisionnés afin de doser d'autres composés avec le photomètre.

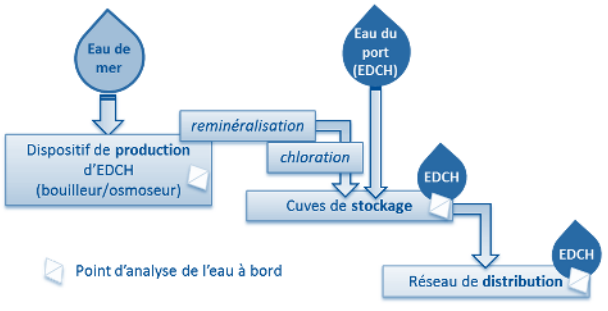


Figure 1. Schéma simplifié de la chaîne « eaux destinées à la consommation humaine » à bord de la majorité des bâtiments de la Marine nationale en mission.

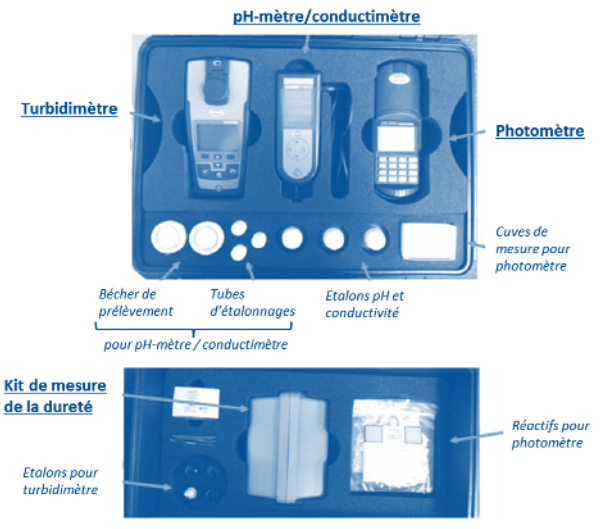


Figure 2. Composition du kit de surveillance des eaux destinées à la consommation humaine fourni par le service logistique de la Marine.

Tableau I. Analyses à effectuer par le bord pour le contrôle des eaux destinées à la consommation humaine.

Fréquence	Paramètres	Appareils/kit
Mesures quotidiennes	Chlore libre et total	Photomètre
	Turbidité	Turbidimètre
	Conductivité de l'eau	pH-mètre/ conductimètre
Mesures régulières	Dureté (titre hydrotimétrique)	Kit de mesure de la dureté
	pH	pH-mètre/ conductimètre
Analyses complémentaires selon analyse des risques	Métaux : zinc, cuivre, nickel	Photomètre

Par exemple, si un risque de corrosion du réseau a été identifié, le fer pourra être spécifiquement suivi.

À l'achat, les performances analytiques de ces matériels ont été vérifiées par le LASEM de Toulon. Bien qu'une légère surestimation ait été mise en évidence sur les mesures de conductivité et de turbidité, les performances obtenues ont été jugées satisfaisantes au regard de l'usage de ces matériels.

La fiabilité des résultats repose à la fois sur les performances analytiques des appareils et sur leur utilisation correcte ce qui rend essentielle l'habilitation du personnel. À Toulon par exemple, la formation des utilisateurs est dispensée par le Centre d'instruction naval de Saint-Mandrier. Avant toute mesure, la réalisation de contrôles est essentielle pour vérifier le bon fonctionnement des appareils. Au-delà du respect du mode opératoire lors de l'analyse, l'entretien du matériel est aussi important. Une sonde de pH mal conservée verra rapidement ses performances se dégrader. Afin de garantir la fiabilité des matériels au cours du temps, il est nécessaire de faire procéder annuellement à la vérification de leur étalonnage par les LASEM. Dans ce contexte, l'organisation d'un essai inter-bâtiments permet de tester l'évolution au cours du temps du couple matériel/utilisateur.

Essai inter-bâtiments de la Marine à Toulon en 2014

Objectif

L'objectif de cet essai inter-bâtiments de la Marine à Toulon était de vérifier la fiabilité des résultats obtenus par les bords lors de la mise en œuvre des appareils de terrain pour l'analyse de paramètres critiques de l'EDCH.

Matériel et méthode

L'essai s'est déroulé les 14 et 15 avril 2014 sur la base navale de Toulon. Il comprenait l'analyse de différents paramètres sur trois types d'échantillons différents, notés A, B et C (tab. II).

Tableau II. Composition des échantillons de l'essai et paramètres à déterminer.

<table>
<tr><th></th><th>Échantillon A</th><th>Échantillon B</th><th>Échantillon C</th></tr>
<tr><td>Composition</td><td>Eau du robinet (pH ≈ 7,9 ; conductivité ≈ 720 µS/cm ; dureté ≈ 35 of) + turbidité ≈ 1 NFU</td><td>Eau minérale (pH ≈ 7,6 ; conductivité ≈ 600 µS/cm ; turbidité ≈ 0 NFU) + solution chlorée ≈ 0,3 mg/L</td><td>Eau déminéralisée (pH ≈ 3,9 ; conductivité ≈ 70 µS/cm) + cuivre ≈ 1 mg/L + nickel ≈ 20 µg/L</td></tr>
<tr><td>Contenant</td><td>Flacon en plastique</td><td>Flacon en verre</td><td>Flacon en plastique</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Paramètres à déterminer</td><td colspan="3">pH
Conductivité</td></tr>
<tr><td colspan="2">Turbidité</td><td rowspan="2">Cuivre
Nickel</td></tr>
<tr><td>Dureté</td><td>Chlore libre
Chlore total</td></tr>
<tr><td>Conservation</td><td>Température ambiante</td><td>+4 °C</td><td>Température ambiante</td></tr>
</table>

Les valeurs des différents paramètres ont été choisies dans la gamme des appareils de mesure et représentatives d'une eau produite à bord (en sortie d'osmoseur pour l'échantillon C ou à un point de consommation pour les deux autres). Pour chaque type d'échantillon, une solution unique a été préparée au LASEM et répartie dans des contenants individuels distribués aux participants selon le protocole préalablement défini et validé pour garantir leur homogénéité (dispersion inter-participants < 5 %). La solution dite « chlorée » a été préparée à partir d'un réactif aboutissant au même substrat coloré mais plus stable que le chlore.

Pour chaque participant, trois échantillons (A, B et C) ont été distribués, accompagnés d'une feuille de rendu des résultats. Les consignes indiquées aux bords concernaient les modalités d'analyse (utilisation des appareils de terrain du bord, réalisation par une personne habilitée), de rendu des résultats (dans la journée, par mail ou par télécopie), de conservation des échantillons (à température ambiante ou à +4 °C) et les différents paramètres à déterminer. Aucune indication sur la composition de l'échantillon ne leur était donnée.

Une fois les résultats recueillis, l'exclusion des valeurs aberrantes a été réalisée pour chaque paramètre de chaque échantillon par le test statistique de Dixon (4). Les calculs de la moyenne et de l'écart-type de dispersion des résultats non aberrants ont ensuite été obtenus avec les fonctions MOYENNE et ECARTYPE d'Excel. À partir de là, le Z-score de chaque résultat a été calculé avec la formule suivante :

$$Z_{score} = \frac{\text{Valeur observée par le bâtiment} - \text{Moyenne des valeurs observées}}{\text{Ecart-type des valeurs observées}}$$

L'interprétation du Z-score se fait ensuite de la manière résumée dans le tableau III.

Après synthèse des résultats, un rapport d'essai individuel a été envoyé à chaque participant et un rapport d'essai collectif et anonymisé à leur autorité (ALFAN). En cas de résultat insatisfaisant, des hypothèses sur les causes envisageables ont été proposées ainsi que des conseils sur les mesures correctives à mettre en place.

Tableau III. Interprétation du Z-score.

	|Z-score| ≤ 2	2 < |Z-score| ≤ 3	|Z-score| > 3
Interprétation de la valeur obtenue par le bord	Résultat **satisfaisant** Valeur cohérente avec les résultats de l'ensemble des participants	Résultat **à surveiller** Valeur statistiquement anormale Paramètre à surveiller	Résultat **insatisfaisant** Signe d'un dysfonctionnement Action corrective à mettre en place

Résultats

Le nombre de participants à cet essai a été de quinze : les frégates légères furtives *Guépratte*, *Aconit* et *Courbet*, les frégates de défense aérienne *Chevalier Paul* et *Forbin*, la frégate anti-aérienne *Cassard*, les frégates anti-sous-marines *Montcalm* et *Jean de Vienne*, le patrouilleur de surveillance océanique L'*Adroit*, le porte-avions *Charles De Gaulle*, le bâtiment de projection et de commandement *Tonnerre*, les chasseurs de mines tripartites *Orion* et *Capricorne*, l'*aviso Commandant Ducuing*, et le LASEM de Toulon.

Parmi les résultats transmis par les bords, les valeurs statistiquement aberrantes selon le test de Dixon représentaient 6 % des résultats obtenus. Le nombre total de résultats rendus non aberrants variait, selon les paramètres, entre 4 (pour le nickel) et 15 (pour le pH), les bâtiments n'ayant pas tous à disposition les consommables nécessaires à la réalisation des analyses de métaux. Les moyennes et les écarts-types des résultats non aberrants, pris comme valeurs de référence pour le calcul des Z-scores, sont synthétisés dans le tableau IV.

Tableau IV. Synthèse des résultats obtenus à l'essai inter-bâtiments de 2014 pour chacun des paramètres de chaque échantillon (A, B et C) classés selon leur Z-score.

		Nombre de résultats rendus en 2014		
		|Z-score| ≤ 2	2 < |Z-score| ≤ 3	|Z-score| > 3
pH	A	13	0	2
	B	13	2	0
	C	14	1	0
Conductivité (µS/cm)	A	14	0	1
	B	13	1	1
	C	14	1	0
Turbidité (NFU)	A	14	0	0
	B	14	0	0
Dureté (of)		12	0	0
Chlore libre (mg/L)		12	1	2
Chlore total (mg/L)		12	1	2
Cuivre (mg/L)		8	0	1
Nickel (mg/L)		4	0	1
Totalité		157 (90 %)	7 (4 %)	10 (6 %)

Sur l'ensemble des paramètres étudiés rendus, 90 % des résultats étaient satisfaisants (|Z-score| ≤ 2), 4 % à surveiller (2 < |Z-score| ≤ 3) et 6 % insatisfaisants (|Z-score| > 3). Le nombre de résultats classés par Z-score pour chacun des paramètres des trois échantillons est synthétisé tableau V. Les Z-scores obtenus par les quinze participants pour les paramètres pH, conductivité, chlore et métaux des échantillons A, B et C sont présentés dans les graphiques (fig. 3-6).

Discussion

En 2014, la participation a été 1,5 fois plus élevée que pour l'essai du même type réalisé en 2013 (9 participants),

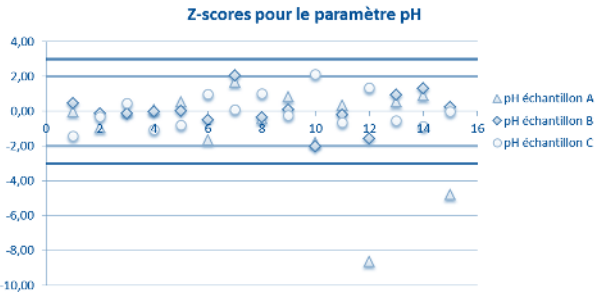


Figure 3. Représentation graphique des Z-scores pour le paramètre pH.

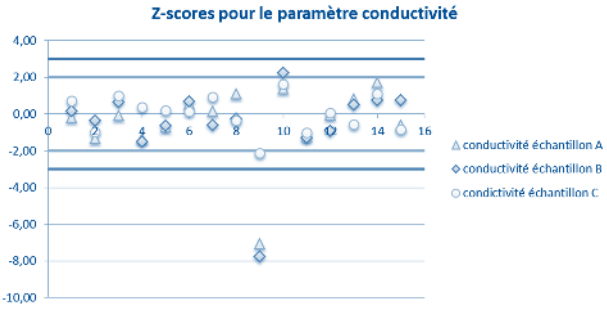


Figure 4. Représentation graphique des Z-scores pour le paramètre conductivité.

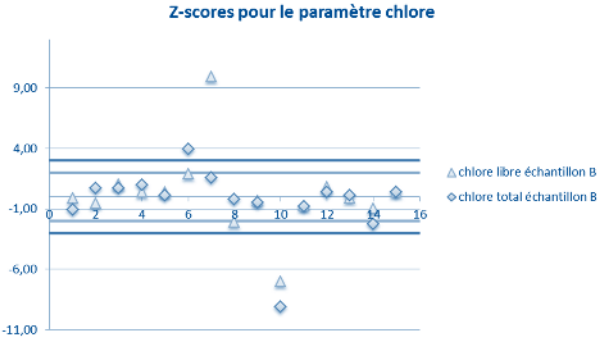


Figure 5. Représentation graphique des Z-scores pour le paramètre chlore (libre et total).

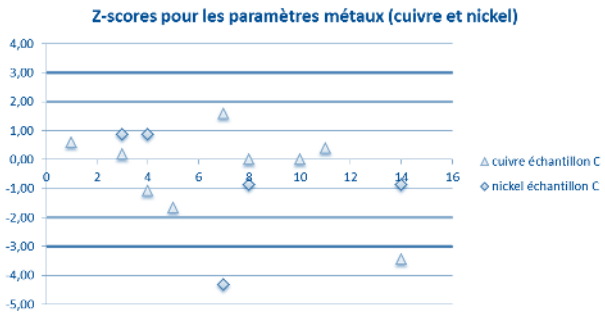


Figure 6. Représentation des Z-scores pour les paramètres métaux (cuivre et nickel).

ce qui montre une implication grandissante des bords pour ce sujet. La difficulté d'obtenir plus d'unités « Marine » participantes réside principalement dans le fait que les échantillons doivent être analysés dans la journée : les bâtiments participant doivent donc être à quai le jour choisi, ce qui exclut automatiquement tous les bâtiments en mission. Afin d'augmenter le nombre de participants, cet essai pourrait être élargi aux équipages des sous-marins et aux vétérinaires des armées de la base navale de Toulon.

Les Z-scores obtenus sur les paramètres pH, conductivité, turbidité, dureté, chlore et métaux par l'ensemble des participants, permettent de considérer ces analyses comme bien maîtrisées à bord, 90 % des résultats ayant été jugés « satisfaisants ». Ils confirmaient ceux obtenus lors du premier essai organisé en 2013 (88 % de résultats satisfaisants). Néanmoins, pour certains paramètres, ces bons résultats de Z-scores sont à mettre en relation avec des coefficients de variations élevés.

En ce qui concerne la mesure du pH, 89 % des résultats étaient satisfaisants. Deux participants avaient rendu des valeurs aberrantes sur l'échantillon A sans que ce soit le cas pour les deux autres échantillons. Dans cette situation, la cause matérielle ne semblait donc pas en cause. Il est possible qu'en ayant fait l'étalonnage juste avant la mesure, un mauvais rinçage de la sonde ait entraîné la contamination de l'échantillon A à l'origine cette anomalie. En ce qui concerne la variabilité des résultats, elle était de l'ordre de 4 % pour un pH compris entre 7 et 8 (échantillons A et B) ce qui est satisfaisant pour un pH de terrain. Par contre, pour un pH autour de 4,5 elle était importante, de l'ordre de 20 %. Cette grande variabilité a eu pour conséquence un faible taux de résultats considérés comme statistiquement anormaux : seul un résultat donnait un |Z-score| supérieur à 2 alors

Tableau V. Moyennes, écarts-types et coefficients de variation de reproductibilité des résultats obtenus par les participants à l'essai après retrait des valeurs jugées aberrantes par le test de Dixon.

	Échantillon A			Échantillon B			Échantillon C		
	Moyenne	Écart-type	Coefficient de variation (%)	Moyenne	Écart-type	Coefficient de variation (%)	Moyenne	Écart-type	Coefficient de variation (%)
pH	7,78	0,26	3,3	7,52	0,28	3,7	4,55	0,88	19,4
	n = 13 2 valeurs écartées			n = 15 pas de valeur écartée			n = 15 pas de valeur écartée		
Conductivité (µS/cm)	721	68	9,5	578	41	7,0	57	11	19,0
	n = 14 1 valeur écartée			n = 14 1 valeur écartée			n = 15 pas de valeur écartée		
Turbidité (NFU)	2,3	0,8	34,9	0,3	0,2	54,8			
	n = 14 pas de valeur écartée			n = 14 pas de valeur écartée					
Dureté (of)	34,2	6,0	17,4						
	n = 12 pas de valeur écartée								
Chlore libre (mg/L)				0,31	0,05	14,3			
				n = 13 2 valeurs écartées					
Chlore total (mg/L)				0,31	0,03	11,0			
				n = 13 2 valeurs écartées					
Cuivre (mg/L)							0,53	0,10	19,2
							n = 8 1 valeur écartée		
Nickel (mg/L)							0,026	0,005	17,8
							n = 4 1 valeur écartée		

qu'en pratique, d'autres dont le |Z-score| était inférieur à 2 ne pouvaient pas être considérés comme satisfaisants (pH à 3,29 ou à 5,73 pour une valeur de référence à 4,55). Ces résultats sont néanmoins cohérents avec les performances médiocres de cette sonde de pH constatées lors des vérifications annuelles du matériel en laboratoire.

Mesurée avec le même appareil et la même sonde, la conductivité présentait également une variabilité importante des résultats, de l'ordre de 10 % pour des valeurs de 500 à 700 µS/cm, et allant jusqu'à 19 % pour une conductivité autour de 60 µS/cm. Les mêmes remarques sur les Z-scores que pour le pH peuvent donc être formulées. Toutefois en pratique, en dehors de la valeur de conductivité en elle-même, c'est le suivi régulier de ce paramètre qui est important. En effet, le but de cette mesure est surtout de détecter une variation brutale qui alerterait sur un dysfonctionnement du système de production. Dans ce contexte, cette variabilité, bien qu'importante, reste acceptable. Néanmoins, pour le participant 9 ayant eu 3 |Z-score| supérieurs à 2, des investigations pour rechercher la cause de ces anomalies répétées étaient indispensables. Ce participant n'ayant pas eu de valeurs aberrantes pour les autres paramètres étudiés, la cause matérielle semblait être la piste à privilégier. Il lui a donc été conseillé de faire vérifier le fonctionnement de sa sonde auprès du LASEM. Pour ce participant, le dysfonctionnement de la sonde a pu être identifié comme l'origine de ce mauvais résultat et celle-ci a été remplacée.

Les mesures de turbidité et de dureté semblaient elles aussi, à première vue, bien maîtrisées puisqu'aucune valeur aberrante n'avait été recensée et qu'aucun |Z-score| n'était supérieur à 2. Néanmoins, la variabilité de la turbidité sur l'échantillon A était très importante : de l'ordre de 35 %. Ceci n'avait pas été le cas en 2013 où la variabilité sur un échantillon similaire était de l'ordre de 3 %. La forte variabilité retrouvée sur l'échantillon B (50 %) restait quant à elle acceptable du fait qu'il s'agit d'une valeur proche de la limite de quantification de l'appareil. La même observation avait d'ailleurs été faite sur l'essai inter-bâtiments de 2013. Outre les causes liées à la mesure comme une agitation insuffisante de l'échantillon, malgré la mise en place d'un protocole permettant de garantir l'homogénéité des échantillons préparés, ce problème ne peut pas être totalement exclu : une attention particulière sera portée sur ce point lors des prochains essais. Par ailleurs, la surestimation du résultat déjà remarquée lors de la vérification des performances initiales semble se confirmer. Alors que la préparation de l'échantillon A visait une concentration autour de 1 NFU, la moyenne des participants a été de 2,3 NFU. En pratique, le seuil réglementaire étant fixé à 1 NFU, cela pourrait conduire à des restrictions d'usage injustifiées.

Pour la dureté, la variabilité étant de l'ordre de 17 %, certaines valeurs donnant des |Z-scores| inférieurs à 2 ne pouvaient pas être considérées comme satisfaisantes. Cette mesure étant la plus « manuelle », la cause de cette variabilité semblait essentiellement humaine. Si ce constat se retrouvait au prochain essai, un audit des pratiques sera réalisé afin de vérifier cette hypothèse et d'initier éventuellement un complément de formation pratique auprès des bords.

Les résultats des mesures en chlore libre et total étaient relativement peu dispersés en dépit des concentrations assez faibles ciblées et des difficultés de conservation de ce paramètre. Hormis les valeurs aberrantes, aucun résultat insatisfaisant n'a été relevé et les participants ayant un |Z-score| supérieur à 2 avaient, en pratique, un résultat qui pouvait être considéré satisfaisant mais dont le Z-score a été biaisé par la faible dispersion des résultats (cas des participants 8 et 14). Parmi les participants ayant rendu des valeurs aberrantes, deux cas se présentaient : le participant 10 qui avait rendu des valeurs aberrantes à la fois sur le chlore libre et le chlore total et les participants 6 et 7 qui n'avaient rendu qu'un résultat aberrant sur les deux. Lorsque les deux valeurs étaient impactées, un dysfonctionnement du matériel ou le non-respect du mode opératoire semblaient être privilégiés. Dans le deuxième cas, l'erreur humaine sur une des deux mesures était possible. En pratique à bord, il est peu fréquent d'avoir des valeurs de chlore libre et chlore total très différentes. Il aurait donc été souhaitable que face à cette situation, une nouvelle mesure soit spontanément entreprise sur le restant de l'échantillon avant de rendre les résultats.

Pour le cuivre et le nickel, seuls les bâtiments pour lesquels l'analyse des risques en avait révélé la nécessité disposaient des réactifs. Ceci explique le faible nombre de résultats obtenus pour ces deux paramètres et leur interprétation délicate. Néanmoins, hormis les valeurs aberrantes et malgré les faibles concentrations, la faible variabilité des résultats permet de les considérer satisfaisants. Les deux participants ayant rendu des valeurs aberrantes n'avaient qu'un seul des deux paramètres (cuivre ou nickel) concerné. Un problème de consommables ou une erreur dans le mode opératoire étaient donc possibles.

L'origine de la non-conformité des résultats peut être double : matérielle et/ou humaine sans pour autant pouvoir les distinguer. Parmi les problèmes liés au matériel ou aux consommables, on peut évoquer notamment une sonde hors d'usage ou mal étalonnée, des consommables périmés ou mal stockés qui se sont dégradés ou encore des solutions d'étalonnage contaminées. Pour les causes liées à l'opérateur, citons principalement la mauvaise mise en œuvre des procédures d'étalonnage ou d'analyse. Pour les bords ayant eu des résultats insatisfaisants, leur recherche était essentielle à la mise en place de mesures correctives. Outre la vérification des performances de leurs matériels, le LASEM pourrait également, sur demande, réaliser des audits des pratiques afin d'aider les bords à identifier l'origine de ces anomalies. Enfin, il a été fait l'hypothèse d'une distribution normale des résultats afin de permettre des calculs de Z-scores compréhensibles par toutes les parties prenantes. Au vu des faibles effectifs constatés pour certains tests, cette hypothèse pourrait faire l'objet de tests complémentaires dans le futur avec utilisation de statistiques plus robustes.

La réalisation de cet essai a de nouveau permis de vérifier l'aptitude des personnels et des matériels à la surveillance des eaux destinées à la consommation humaine à bord des bâtiments de la Marine nationale. Il a ainsi mis en évidence les difficultés rencontrées avec certains appareils de terrain et rappelé aux bords l'importance de leur maintien en condition opérationnelle. C'est pourquoi, la mise en place annuelle d'un tel essai est indispensable. À plus grande échelle, la collaboration des trois LASEM (Brest, Cherbourg et Toulon) permettrait un essai inter-bâtiments inter-ports avec un changement des modalités de préparation des échantillons afin de s'adapter aux contraintes logistiques. Par exemple, l'utilisation d'un même lot d'ampoules concentrées et de composition connue, disponibles commercialement, permettrait la préparation d'échantillons similaires dans chacun des ports. Chaque LASEM serait ensuite responsable de la dilution puis de la distribution aux unités participantes. Dans un premier temps, une étude préalable permettant de garantir l'homogénéité des solutions ainsi reconstituées dans les différents ports serait alors à réaliser.

Conclusion

La maîtrise de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine à bord est une garantie de la bonne santé du consommateur et donc de son aptitude opérationnelle. En appréciant régulièrement les principales caractéristiques physico-chimiques de l'eau produite et distribuée à bord, toute dérive dans le fonctionnement des systèmes de traitement et de distribution serait rapidement détectée. Une valeur anormale pouvant entraîner des situations délicates sur la gestion de l'eau à bord (arrêt ou restriction de consommation), la fiabilité des mesures doit être régulièrement vérifiée. Les LASEM, en tant qu'acteurs indirects de ces analyses doivent donc tout mettre en œuvre pour encadrer au mieux les résultats obtenus à bord des bâtiments en mission. L'organisation annuelle d'un essai inter-bâtiments et les vérifications d'étalonnage en font partie. Par ailleurs, la surveillance « terrain » de la qualité de l'eau n'étant pas limitée à la Marine, il pourrait être intéressant, lors des prochains essais, d'élargir également le champ des participants aux vétérinaires des armées, qui, lorsqu'ils sont déployés en OPEX, utilisent ces mêmes types d'analyseurs.

Les auteurs ne déclarent pas de conflit d'intérêt concernant les données présentées dans cet article.

Remerciements : les auteurs remercient Anne-Charlotte Guillard et Arthur Rodriguez pour la préparation et la réalisation des deux essais inter-bâtiments de 2013 et 2014.

DOSSIER

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Instruction n° 3252/DEF/DCSSA/PC/VET 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 du 9 juillet 2014.
2. Circulaire n° 501584/DEF/DCSSA/PC/VET relative à la maîtrise de la qualité des eaux à bord des bâtiments de la marine nationale et modalités de la surveillance et du contrôle sanitaire du 10 juin 2015.
3. Décision n° 0-871-2015/DEF/EMM/MCO/NP relative à la mise en service des appareils de mesure des critères de qualité des eaux destinées à la consommation humaine du 21 janvier 2015.
4. NF ISO 5725 Application de la statistique – Fidélité des méthodes d'essai – détermination de la répétabilité et de la reproductibilité d'une méthode d'essai normalisée par essais interlaboratoires, décembre 1987.