



Lignes directrices pour l'évaluation
des **eaux minérales
naturelles**
au regard de la sécurité sanitaire



AGENCE FRANÇAISE
DE SÉCURITÉ SANITAIRE
DES ALIMENTS



AGENCE FRANÇAISE
DE SÉCURITÉ SANITAIRE
DES ALIMENTS

Lignes directrices pour l'évaluation des eaux minérales naturelles au regard de la sécurité sanitaire

- Mai 2008 -

Composition du groupe de travail

Dans le cadre de l'appui scientifique et technique à la Direction générale de la santé (DGS), l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments (Afssa) a créé, sur proposition du Comité d'experts spécialisé « Eaux » (CES « Eaux »), un groupe de travail dénommé « Eaux minérales naturelles » chargé :

- « d'une part, d'apporter l'expertise nécessaire à la refonte de la réglementation relative à la sécurité sanitaire des eaux minérales naturelles ;
- d'autre part, de procéder, avant la publication du décret n° 2007-49 du 11 janvier 2007 relatif à la sécurité sanitaire des eaux de consommation humaine, à l'examen technique des saisines de la DGS concernant les demandes individuelles d'autorisation d'exploitation des eaux minérales naturelles. »

Le groupe de travail était composé comme suit :

■ Membres

M. Gilbert ALCAYDÉ – Président

Comité d'experts spécialisé « Eaux »

M. Jean-Luc BOUDENNE

Université de Provence – Laboratoire chimie et environnement – Personnalité compétente auprès de l'Afssa

M. Jean CARRÉ

École des hautes études en santé publique – EGERIES – Comité d'experts spécialisé « Eaux »

M. Paul CHAMBON

Comité d'experts spécialisé « Eaux »

M. Norbert CRAMPON

Personnalité compétente auprès de l'Afssa

M. Jean-François DUHAMEL

Personnalité compétente auprès de l'Afssa

Mme Sylvie DUBROU

Laboratoire d'hygiène de la ville de Paris – Comité d'experts spécialisé « Eaux »

M. Pierre LEROY

Personnalité compétente auprès de l'Afssa

M. Antoine MONTIEL

Comité d'experts spécialisé « Eaux »

M. Jacques-Noël MUDRY

Université de Franche Comté – Géosciences – Comité d'experts spécialisé « Eaux »

M. Jean-François MUNOZ

Afssa – Laboratoire d'études et de recherches en hydrologie – Comité d'experts spécialisé « Eaux »

Mme Marie-Pierre SAUVANT-ROCHAT

Université d'Auvergne – Laboratoire santé publique et environnement – Comité d'experts spécialisé « Eaux »

■ Autre expert

Mme Aline MARCELLI

Personnalité compétente auprès de l'Afssa

■ **Membres associés**

M. Xavier DAUCHY

Afssa – Laboratoire d'études et de recherches en hydrologie

M. Romain MÉHUT

Afssa – Laboratoire d'études et de recherches en hydrologie

M. Georges POPOFF

Afssa – Direction de l'évaluation des risques nutritionnels et sanitaires
– Unité d'évaluation des risques liées à l'eau

M. Christophe ROSIN

Afssa – Laboratoire d'études et de recherches en hydrologie

Mme Roselyne TARDIVEL

Direction générale de la santé - DGS – Bureau de la qualité des eaux

■ **Coordination scientifique**

Mlle Audrey COMMIEU

Afssa – Direction de l'évaluation des risques nutritionnels et sanitaires
– Unité d'évaluation des risques liées à l'eau

Mlle Mathilde HARVEY

Afssa – Direction de l'évaluation des risques nutritionnels et sanitaires
– Unité d'évaluation des risques liées à l'eau

Mme Juliette HOSPITALIER-RIVILLON

Afssa – Direction de l'évaluation des risques nutritionnels et sanitaires
– Unité d'évaluation des risques liées à l'eau

■ **Ont par ailleurs été auditionnés**

M. Bernard ANDRÉ

Direction générale de la consommation, de la concurrence et de la répression des fraudes - DGCCRF

M. Jean DOLQUES

Division nationale des eaux minérales et thermales - DNEMT

Mme Nezha LEFTAH-MARIE

Direction générale de la santé - DGS – Bureau de la qualité des eaux

Mme Anne NOVELLI

Direction générale de la santé - DGS – Bureau de la qualité des eaux

M. Charles SAOUT

Direction générale de la santé - DGS – Bureau de la qualité des eaux

Le présent rapport a été présenté et validé par le Comité d'experts spécialisé « Eaux » lors de la séance du 5 février 2008.

Liste des figures	8
Liste des tableaux	9
Introduction	10
Première partie : historique et réglementation	11
I. Rappel historique	11
II. Reconnaissance des eaux minérales naturelles dans le code de la santé publique	12
Deuxième partie : contexte hydrogéologique, vulnérabilité du système aquifère et captage	14
I. Origine	14
II. Typologie des systèmes aquifères	15
III. Vulnérabilité du système aquifère	16
IV. Investigations nécessaires à la connaissance de l'origine et de la vulnérabilité des eaux minérales naturelles au regard du risque sanitaire	17
V. Captage des eaux minérales naturelles	19
V.1 Captage	19
V.1.1 Captage des émergences naturelles	19
V.1.2 Captage par forage	20
V.1.3 Abandon des captages	20
V.2 Exploitation des ouvrages de captage	20
V.2.1 Exploitation par artésianisme	21
V.2.2 Exploitation par pompage	21
V.3 Équipement des ouvrages de captage	21
V.4 Protection des captages : aspects réglementaires	21
V.4.1 Périmètre sanitaire d'urgence	21
V.4.2 Périmètre de protection	22
V.4.3 Travaux dans le périmètre de protection	22
V.4.4 Travaux à l'extérieur du périmètre de protection	22
Troisième partie : caractéristiques physico-chimiques, stabilité et pureté des eaux minérales naturelles	23
I. Caractéristiques	23
I.1 Caractéristiques essentielles	23
I.2 Classification	23
I.2.1 La minéralisation	23
I.2.2 La composition physico-chimique de l'eau	24
I.2.2.1 Les eaux sulfurées	24
I.2.2.2 Les eaux sulfatées	24
I.2.2.3 Les eaux chlorurées sodiques	25
I.2.2.4 Les eaux faiblement minéralisées	25
I.2.2.5 Les eaux ferrugineuses	25
I.2.2.6 Les eaux « bicarbonatées » gazeuses	25
I.3 Mentions d'étiquetage en rapport avec la composition fixées par le code de la santé publique	26

II. Radioactivité.....	26
II.1 Radioactivité et eaux	26
II.2 Textes réglementaires	27
III. Stabilité.....	28
III.1 Évaluation de la stabilité de la composition de l'eau.....	28
III.2 Origines des variations de la qualité de l'eau	28
III.2.1 Origine géologique	28
III.2.2 Origine liée au régime d'exploitation.....	28
III.3 Incertitudes analytiques	29
III.4 Composition: stabilité, dérive ou fluctuation	29
III.5 Proposition de nouveaux critères pour l'évaluation de la stabilité.....	30
III.5.1 Proposition d'une méthodologie pour la caractérisation de la stabilité.....	30
III.5.2 Validation du critère de stabilité.....	31
III.6 Conclusion et recommandations.....	34
IV. Pureté des eaux minérales naturelles	35
IV.1 Critères microbiologiques réglementaires	35
IV.2 Critères physico-chimiques réglementaires.....	36
IV.2.1 Éléments minéraux réglementés.....	36
IV.2.2 Impuretés et réactions secondaires liées à l'ozone	36
IV.3 Critères physico-chimiques non réglementés.....	36
IV.4 L'exigence de la norme <i>Codex</i>	37
IV.5 Proposition pour son application aux eaux minérales naturelles	37
IV.6 Conclusion et recommandations.....	38
Quatrième partie: traitements et adjonction	39
I. Rappel réglementaire.....	39
II. Traitements et adjonctions actuellement autorisés.....	40
II.1 Séparation des éléments instables, par décantation ou filtration, éventuellement précédée d'une oxygénation	40
II.1.1 But.....	40
II.1.2 Traitements par aération/oxygénation	41
II.1.2.1 Effets.....	41
II.1.2.2 Risques indirects	41
II.1.3 Traitements par décantation ou filtration.....	41
II.1.3.1 Effets.....	41
II.1.3.2 Risques indirects.....	42
II.2 Élimination du dioxyde de carbone libre par des procédés exclusivement physiques.....	42
II.3 Adjonction ou réincorporation de dioxyde de carbone	42
II.4 Séparation des composés du fer, du manganèse, du soufre et de l'arsenic, à l'aide d'air enrichi en ozone.....	42
II.4.1 Principe.....	42
II.4.2 Risques indirects	43
II.4.2.1 Liés à la quantité d'ozone employée.....	43
II.4.2.2 Autres	43
II.5 Séparation des éléments indésirables.....	43
II.5.1 Nature des traitements par adsorption sélective	43
II.5.2 Médias filtrants autorisés.....	44
II.5.2.1 Nature.....	44
II.5.2.2 Avantages de ces traitements	45
II.5.2.3 Inconvénients de ces traitements.....	45
II.5.2.4 Traitements en cours d'évaluation par l'Aesa.....	45

II.6 Séparation de particules solides à l'aide de filtres	45
II.7 Limites des traitements autorisés pour les eaux minérales naturelles.....	46
II.8 Conclusion sur les traitements.....	47
Cinquième partie : conditions d'exploitation des eaux minérales naturelles	48
I. Mélange	48
II. Équipements d'exploitation	49
II.1 Réglementation.....	49
II.2 Matériaux utilisés.....	50
II.3 Altération des matériaux.....	50
II.4 Produits de nettoyage et de désinfection des ouvrages.....	51
III. Matériaux de conditionnement et procédés d'embouteillage.....	51
III.1 Matériaux de conditionnement.....	51
III.2 Utilisation de poly(éthylène téréphtalate) [PET] recyclé.....	52
III.3 Réutilisation d'emballages en matériaux organiques.....	53
III.4 Utilisation du verre.....	53
III.5 Traçabilité des matériaux.....	53
IV. Surveillance et contrôle.....	54
Conclusion et recommandations.....	56
I. Procédures de reconnaissance et d'autorisation d'exploiter.....	56
II. Captage et exploitation des eaux minérales naturelles.....	56
III. Protection des captages.....	56
IV. Caractéristiques des eaux minérales naturelles.....	57
V. Traitements et adjonction.....	58
VI. Conditions d'exploitation.....	58
VII. Embouteillage des eaux minérales naturelles.....	59
VIII. Surveillance et contrôle des eaux minérales naturelles conditionnées.....	59
Annexes.....	60
Annexe 1. Quelques concepts et méthodes utilisés en hydrogéologie.....	60
I. Rappel de quelques concepts et définitions.....	60
II. Quelques méthodes et moyens.....	68
Annexe 2. Validation du critère de pureté - Étude du Laboratoire d'études et de recherches en hydrologie (LERH) de l'Afssa.....	73
I. Méthodologie et paramètres de l'étude.....	73
II. Résultats.....	79
Références bibliographiques.....	83

Figure 1 : Procédure de détermination de la radioactivité des eaux	27
Figure 2 : Application du critère de stabilité à différents paramètres d'une eau minérale naturelle à la composition instable.....	31
Figure 3 : Évolution de différents paramètres d'une eau minérale naturelle à la composition instable.....	31
Figure 4 : Évolution de différents paramètres d'une eau minérale naturelle à la composition stable	32
Figure 5 : Application du critère de stabilité à différents paramètres d'une eau minérale naturelle à la composition stable.....	32
Figure 6 : Évolution de différents paramètres d'une eau minérale naturelle dans le cas intermédiaire	33
Figure 7 : Application du critère de stabilité à différents paramètres d'une eau minérale naturelle dans le cas intermédiaire.....	33

Liste des tableaux

Tableau 1 : Traitements susceptibles d'être utilisés pour les eaux minérales naturelles	47
Tableau 2 : Risques encourus liés à l'utilisation de certains matériaux en fonction des caractéristiques des eaux minérales naturelles	50
Tableau 3 : Paramètres mesurés dans le cadre du contrôle sanitaire pour les différents sites d'embouteillage en 2004 et 2005	73
Tableau 4 : Micropolluants recherchés	74
Tableau 5 : Résultats (en ng/L) des analyses effectuées sur les 8 sites où des micropolluants organiques ont été mesurés à l'état de traces ou à des niveaux quantifiables	80
Tableau 6 : Site d'embouteillage L: résultats des analyses (en ng/L) dépassant les critères de pureté proposés	81
Tableau 7 : Site d'embouteillage B: résultats des analyses (en ng/L) dépassant les critères de pureté proposés	81
Tableau 8 : Site d'embouteillage J: résultats des analyses (en ng/L) dépassant les critères de pureté proposés	82

La France produit 11 milliards de litres d'eau minérale naturelle par an⁽¹⁾ dont 6,6 milliards destinés au marché français et 4,4 milliards à l'exportation. La production a doublé en 10 ans puisqu'elle n'était en 1996 que de 3,9 milliards destinés au marché français et 1,3 milliard à l'exportation.

Les eaux minérales naturelles conditionnées sont considérées comme des aliments au sens de plusieurs règlements européens et peuvent constituer l'un des ingrédients de produits alimentaires tels que les boissons. Comme l'ensemble des eaux destinées à la consommation humaine, les eaux minérales naturelles font l'objet de textes réglementaires spécifiques en raison de leurs caractéristiques particulières.

L'article R. 1322-2 du code de la santé publique transpose la définition communautaire de l'eau minérale naturelle :

« Une eau minérale naturelle est une eau microbiologiquement saine, répondant aux conditions fixées par l'article R. 1322-3, provenant d'une nappe ou d'un gisement souterrain exploité à partir d'une ou plusieurs émergences naturelles ou forées constituant la source. Elle témoigne, dans le cadre des fluctuations naturelles connues, d'une stabilité de ses caractéristiques essentielles, notamment de sa composition et de sa température à l'émergence, qui n'est pas affectée par le débit de l'eau prélevée.

Elle se distingue des autres eaux destinées à la consommation humaine :

1° Par sa nature, caractérisée par sa teneur en minéraux, oligoéléments ou autres constituants ;

2° Par sa pureté originelle, l'une et l'autre caractéristiques ayant été conservées intactes en raison de l'origine souterraine de cette eau qui a été tenue à l'abri de tout risque de pollution.

Ces caractéristiques doivent avoir été appréciées sur les plans géologique et hydrogéologique, physique, chimique, microbiologique et, si nécessaire, pharmacologique, physiologique et clinique, conformément aux dispositions des articles R. 1322-5 et R. 1322-6. »

Sont réglementés, le conditionnement, la distribution en buvette publique et l'utilisation à des fins thérapeutiques dans un établissement thermal.

La sécurité sanitaire des eaux minérales naturelles utilisées dans des établissements thermaux a déjà fait l'objet de nombreux travaux du Conseil supérieur d'hygiène publique de France et ne sera donc pas abordée dans le présent rapport. Outre les textes réglementaires publiés à ce sujet, on pourra notamment consulter les documents suivants :

- « Recommandations de bonnes pratiques sanitaires dans les établissements thermaux ».
- « Recommandations relatives à la gestion du risque microbien lié à l'eau minérale dans les établissements thermaux ».
- « Recommandations relatives à la gestion du risque microbien lié à l'eau minérale naturelle dans les piscines des établissements thermaux ».

L'arrêt de la Cour de justice européenne du 17 juillet 1997 indique : « un État membre ne peut exiger qu'une eau ait des propriétés favorables à la santé pour pouvoir être reconnue comme eau minérale naturelle ». Cet arrêt justifie que, dans le présent rapport, l'aspect bénéfique des eaux minérales naturelles ne soit pas abordé.

Par ailleurs, l'Académie de médecine a publié en 2006 un rapport sur la place des eaux minérales dans l'alimentation.

Jusqu'à présent, les analyses réglementaires étaient réalisées par le Laboratoire d'étude et de recherche en hydrologie et l'Afssa rendait son avis sur les demandes d'autorisation d'exploiter des eaux minérales naturelles après consultation du Comité d'experts spécialisé « Eaux » mais le décret n° 2007-49 du 11 janvier 2007 relatif à la sécurité sanitaire des eaux destinées à la consommation humaine (J.O. du 12 janvier 2007) déconcentre désormais l'instruction des demandes d'autorisation pour les eaux minérales naturelles au niveau départemental.

Compte tenu de cette évolution réglementaire, l'Afssa a jugé utile de faire un état des connaissances afin de dresser des lignes directrices nécessaires à l'évaluation de la sécurité sanitaire des eaux minérales naturelles à destination des services désormais en charge de l'instruction de ces dossiers.

(1) Source : Données DRIRE/DNEMT pour l'année 2004.

I. Rappel historique

Dès la plus haute antiquité, les vertus thérapeutiques des eaux thermo-minérales étaient reconnues et recherchées pour des soins curatifs. Dans la Grèce antique, c'est-à-dire cinq siècles avant notre ère, des médecins recommandaient la consommation des eaux minérales naturelles et leur usage en cure car ils leur attribuaient de nombreuses vertus thérapeutiques. Cette tradition se retrouve dans les civilisations romaine et arabe qui consommaient l'eau sur place ou l'utilisaient en bains.

Ce sont les Romains qui construisirent les premiers centres thermaux.

En France, l'utilisation des eaux chaudes pour usage médical a commencé dès le Paléolithique et, plus tard, les Gaulois recherchaient les effets bénéfiques des eaux : le culte de l'eau guérisseuse apparaissait.

Au Moyen-Âge, l'intérêt pour les eaux thermales s'est développé. La reconnaissance des sources thermales n'a cependant commencé qu'en 1549 avec les lettres patentes signées par Henri II qui faisaient de toutes les sources thermales une propriété de l'État.

En 1605, Henri IV instaure les premiers contrôles de l'État sur les eaux thermales et médicinales du royaume en créant la Surintendance des eaux minérales et en nommant un Surintendant des eaux minérales et médicinales du Royaume.

En 1687 et 1694, Louis XIV confirme le droit de propriété de l'État sur les sources thermales mais cette disposition fut peu respectée par de nombreux propriétaires fonciers qui exploitaient, à titre privé, les eaux jaillissant sur leurs terres. Tout en confirmant ce droit en 1772, Louis XV reconnaissait cependant celui des propriétaires des terrains sur lesquels jaillissaient des sources. Ce problème ne sera définitivement réglé que par l'arrêt du Conseil d'État du 5 mai 1781 qui distingue d'une part les sources appartenant à l'État et, d'autre part, celles présentes sur les propriétés des particuliers que ces derniers peuvent exploiter après autorisation de la Société royale de médecine et sous réserve du respect de la législation en vigueur.

En 1709 des lettres patentes instituent un monopole pour le transport et la vente des eaux minérales naturelles embouteillées par les personnes autorisées par le surintendant général.

Avec la Révolution, cette organisation cesse d'être respectée et ce n'est qu'avec les arrêtés du 23 vendémiaire an VI et du 29 floréal an VII qu'une réglementation est de nouveau esquissée.

La législation française en matière de police et de surveillance des eaux minérales naturelles ne s'est réellement mise en place qu'au début du XIX^e siècle. Les textes marquants sont l'Ordonnance royale du 20 décembre 1820 qui crée l'Académie royale de médecine qui est notamment chargée de tout ce qui concerne les eaux minérales naturelles, l'Ordonnance royale du 18 juin 1823 et le Décret du 28 juin 1860 concernant la surveillance des sources et des établissements thermaux, l'utilisation et la gestion des sources d'eaux minérales naturelles en France. Les mesures prises alors visaient d'une part à contrôler la qualité des eaux, à protéger leurs propriétés physiques et thérapeutiques et, d'autre part, à l'implantation harmonieuse des établissements thermaux afin de gérer au mieux un capital à fort potentiel économique.

Avec l'apparition et le développement des captages par forage, la nécessité de protéger les sources d'eaux minérales naturelles contre les risques de détournement et de tarissement s'est fait sentir et la loi du 14 juillet 1856 donne la possibilité de création d'un périmètre de protection autour de chaque source pour protéger son débit. Il s'agissait à l'époque d'une protection quantitative visant à mettre un terme aux multiples détournements d'eaux minérales naturelles connus à Vichy sous le nom de « guerre des sources ».

L'eau minérale naturelle n'étant toujours pas considérée comme une ressource minière, elle n'est pas soumise au droit minier. Il n'est donc pas possible d'imposer à des tiers des servitudes importantes au profit du propriétaire d'une source d'eau minérale naturelle. Pour contourner cette difficulté et assurer la protection d'une ressource qui bénéficiait à nombre de curistes, la loi de 1856 précitée a assorti ce périmètre de protection d'une déclaration d'intérêt public (DIP) obligatoire.

Un décret de 1856, modifié en 1930 fixe les conditions de DIP d'une source et de fixation de son périmètre de protection, mais la protection des sources sous l'angle qualitatif n'est prise en compte pour la première fois que par la loi sur l'eau du 3 janvier 1992.

Le décret du 28 janvier 1860 répartit en matière de surveillance des sources les compétences entre le Service des mines et l'Inspecteur départemental d'hygiène.

En ce qui concerne l'activité thermale, elle n'a pris son véritable essor que sous le Second Empire et ne s'est réellement développée que dans la seconde partie du XX^e siècle où elle n'est plus l'apanage des couches aisées de la population mais au service du plus grand nombre.

L'utilisation des eaux minérales naturelles à d'autres fins que le thermalisme est apparue en France au XVI^e siècle avec la pratique de l'embouteillage mais les eaux étaient alors destinées aux Ducs de Lorraine. C'est en 1632, qu'un édit de Louis XIII autorise le transport de l'eau minérale en bouteilles cachetées de cire et en 1709 des lettres patentes instituent un monopole pour le transport et la vente des eaux minérales naturelles embouteillées par les personnes autorisées par le surintendant général.

Après plusieurs autres modifications, le décret du 28 mars 1957 soumet à autorisation ministérielle les opérations de transport, de traitement, de mélange et d'embouteillage des eaux minérales naturelles.

Au XIX^e siècle et au début du XX^e siècle, le marché des eaux embouteillées se développe avec les curistes, qui prennent l'habitude, en fin de cure, de ramener chez eux un peu de l'eau minérale utilisée pour leurs soins.

En France, les premières grandes sociétés d'embouteillage sont apparues peu avant la seconde guerre mondiale mais le marché ne s'est réellement développé que par la suite et atteignait 11 milliards de litres en 2004 dont 4,4 pour l'exportation⁽²⁾.

Soixante-sept eaux minérales naturelles (représentant 48 sites d'exploitation) reconnues en tant que telles figurent sur la liste officielle⁽³⁾. À l'heure actuelle (août 2007) seules 58 eaux minérales naturelles sont réellement embouteillées dans 44 sites de production.

Ce n'est qu'avec la loi n° 2004-806 du 9 août 2004 relative à la politique de santé publique, codifiée sous les articles L. 1322-1 à 13 du code de la santé publique, que les bases législatives applicables aux eaux minérales naturelles apparaissent. La loi introduit de nouvelles dispositions concernant les procédures de reconnaissance et d'autorisation par l'autorité administrative compétente. Toute modification notable des caractéristiques de l'eau minérale naturelle ainsi que tout changement notable des conditions d'exploitation de la source doivent faire l'objet d'une demande de révision de la reconnaissance ou de l'autorisation d'exploitation. Les modalités d'application, définies dans les articles R. 1322-1 à 1322-44 du code de la santé publique ainsi que dans les arrêtés d'application qui en découlent, sont décrites dans le chapitre suivant.

II. Reconnaissance des eaux minérales naturelles dans le code de la santé publique

Le chapitre consacré aux eaux minérales naturelles est inclus dans le livre III du code intitulé « Protection de la santé et environnement » et plus précisément dans son titre II relatif à la « sécurité sanitaire des eaux et des aliments ».

Le chapitre 1^{er} se rapporte aux eaux potables et le chapitre 2 relatif aux eaux minérales naturelles a exclusivement pour objet de garantir la sécurité sanitaire de leur exploitation et donne la définition liée à ses trois usages réglementés : conditionnement, utilisation à des fins thérapeutiques dans un établissement thermal et distribution en buvette publique. Les articles se rapportant aux eaux minérales naturelles sont les suivants : L. 1322-1 à L. 1322-13 et R. 1322-1 à R. 1322-44-23.

Par ailleurs :

- le code de l'environnement a pour but de garantir la protection des eaux souterraines avant qu'il ne soit précisé qu'il peut s'agir d'eau minérale naturelle ;
- le code de la consommation apporte la base légale des dispositions relatives à l'étiquetage des eaux conditionnées et à l'obligation générale de conformité du produit ;
- le code de la sécurité sociale traite des relations conventionnelles des établissements thermaux avec les caisses d'assurance maladie.

(2) Source : Données DRIRE/DNEMT.

(3) Source : Liste européenne des eaux minérales naturelles reconnues par les États membres de l'Union européenne publiée en 2007.

La base légale relative à la sécurité sanitaire des eaux minérales naturelles dans le code de la santé publique a été en partie modifiée en 2003 et la réglementation profondément refondue en 2007. Elle définit maintenant les obligations des exploitants et prévoit des sanctions administratives et pénales en cas de non-respect des obligations légales, réglementaires ou des prescriptions individuelles.

Cette nouvelle réglementation a pour objectifs :

1. la simplification des procédures ;
2. l'harmonisation des procédures avec celles des eaux destinées à la consommation humaine ;
3. l'application des règlements communautaires en matière de conditionnement, par le biais des dispositions suivantes :
 - déconcentration des décisions administratives individuelles d'autorisation d'exploitation,
 - demande globale d'autorisation d'exploiter l'eau en vue de la consommation humaine (article R. 1322-7 du code de la santé publique) pour laquelle le projet doit être présenté dans sa totalité en fonction de l'utilisation prévue. La preuve que l'eau présente les caractéristiques de l'eau minérale naturelle est apportée par l'exploitant,
 - autorisation globale d'exploiter délivrée sur un projet qui comporte l'ensemble des phases d'exploitation (émergence, traitement, transport, mélange, distribution) pour chaque usage (exploitation de la source, conditionnement, usage thermal, distribution en buvette publique) valable de plein droit à l'issue d'une visite de conformité,
 - hygiène des usines de conditionnement et des installations thermales avec mise en œuvre des démarches d'assurance qualité et des bonnes pratiques professionnelles. La réglementation fixe des objectifs de résultats plutôt que de moyens,
 - usage de produits et procédés de désinfection et de matériaux des installations fixes avec attestation de conformité sanitaire (harmonisation des procédures avec celles de l'eau destinée à la consommation humaine),
 - matériaux de conditionnement pour lesquels l'obligation de conformité et le contrôle de la Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes (DGCCRF) remplacent l'autorisation administrative préalable du ministre chargé de la santé,
 - surveillance par l'exploitant comportant une surveillance permanente à son initiative et une surveillance à des fréquences et selon les contenus fixés par la réglementation,
 - contrôles sanitaires et gestion des non-conformités harmonisés avec les procédures applicables aux eaux destinées à la consommation humaine et responsabilisation de l'exploitant.

Deuxième partie : contexte hydrogéologique, vulnérabilité du système aquifère et captage

Textes de référence

Directive 80/777/CEE du 15 juillet 1980 du Conseil relative au rapprochement des législations des États membres concernant l'exploitation et la mise dans le commerce des eaux minérales naturelles modifiée. Annexe I.

Articles L. 1322-3 à L. 1322-12, R. 1322-2, R. 1322-5 (2°), R. 1322-16 à R. 1322-27 du code de la santé publique.

Arrêté du 5 mars 2007 relatif à la constitution du dossier de demande d'autorisation d'exploiter une source d'eau minérale naturelle pour le conditionnement, l'utilisation à des fins thérapeutiques dans un établissement thermal ou la distribution en buvette publique.

I. Origine

Il est bien connu aujourd'hui que la totalité des eaux minérales naturelles provient de l'infiltration des eaux météoriques qui reviennent en surface après un long et lent cheminement souterrain (Blavoux, 1995). Des apports d'eau juvénile⁽⁴⁾ libérée par des processus magmatiques ou métamorphiques, peuvent contribuer à l'alimentation de ces ressources au moins dans certains contextes géologiques. La présence d'éléments d'origine profonde tels que bore, lithium ou de radio-éléments naturels signe alors ces apports. L'origine endogène du dioxyde de carbone est ainsi démontrée dans de nombreux cas (Risler, 1999).

Seule une fraction des précipitations qui parviennent au sol sous forme de pluie, de neige ou de grêle peut devenir une eau souterraine. En effet les végétaux interceptent, prélèvent et renvoient dans l'atmosphère par évapotranspiration une part importante des précipitations tandis qu'une autre part, très variable, contribue au ruissellement. Ce dernier dépend non seulement de la perméabilité des terrains, de leur pente et de leur état d'humidité lors de la précipitation, mais également de la nature du couvert végétal.

L'infiltration des eaux météoriques en profondeur s'effectue à la faveur de la perméabilité « en petit » de certaines roches poreuses (sables, grès, etc.) et de la perméabilité « en grand » quand il s'agit de roches dures peu perméables en elles-mêmes mais fissurées ou fracturées. En terrain calcaire des phénomènes de dissolution (karstification) peuvent créer des conduits favorables à l'infiltration.

Les eaux d'infiltration, désormais souterraines, descendent par gravité jusqu'à ce qu'elles rencontrent un obstacle à leur pénétration verticale (couche imperméable, fermeture des fissures ou des fractures) et vont pouvoir alors s'accumuler dans les pores et les discontinuités du terrain (l'aquifère) et s'écouler latéralement. Lorsque la charge hydraulique dans la partie saturée de l'aquifère devient supérieure à celle qui règne aux points d'émergence possibles, l'eau souterraine va tendre à s'écouler par les exutoires⁽⁵⁾ naturels que sont les sources.

Au concept, essentiellement statique, de « gisement »⁽⁶⁾ doit donc se substituer celui de « système aquifère »⁽⁷⁾ (terme du reste repris dans la norme NF X 50-911 relative aux établissements thermaux et à la maîtrise de la ressource en eau minérale naturelle) qui implique une structure géologique traversée par un flux d'eau qui acquiert généralement de façon progressive sa minéralisation (Blavoux, 1998). Il n'est donc pas anormal que cette minéralisation puisse varier dans l'espace (notamment selon les emplacements des exutoires) et dans le temps (selon la saison).

(4) « Eau juvénile » : « eau souterraine d'origine interne profonde (magmatique, volcanique) et non météorique » (Castany G., Margat J., 1977) ou encore : « water that has not been part of hydrosphere before, derived from interior of earth » (Pfannkuch H.O, 1969).

(5) Au sens hydrogéologique : voir signification précise à l'annexe 1, § 1.6.2.

(6) Voir signification précise à l'annexe 1, § 1.5.4.

(7) Voir signification précise à l'annexe 1, § 1.5.3.

Le système aquifère s'inscrit dans un cadre géologique régional dont il est étroitement dépendant et, pour comprendre correctement son fonctionnement, il est indispensable de disposer d'une description détaillée, précise et actualisée de la structure géologique de la région (organisation des couches, plissements, fracturation) et des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques du système aquifère : lithostratigraphie (nature, épaisseur et succession des terrains), plis et failles concernés, zones broyées, réseau de fracturation ou réseaux karstiques, propriétés aquifères, hydrologie de surface et souterraine (Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie (MINEFI) - Division nationale des eaux minérales et thermales (DNEMT), 1995 [a]).

Les situations hydrogéologiques à l'origine de l'émergence d'eau minérale naturelle sont multiples et souvent très complexes (cf. § II). Il est parfois possible de définir, malgré la diversité des configurations structurales et hydrogéologiques, un système aquifère type qui se subdivise en une zone d'alimentation avec infiltration des eaux météoriques, une zone d'écoulement généralement lent de l'eau et un axe de collecte agissant en drain et assurant la remontée rapide de l'eau minérale naturelle (Lopoukhine, 1994).

L'infiltration de l'eau qui se fait dans la zone décomprimée des terrains (jusqu'à 200 m de profondeur environ) et sa circulation en profondeur (jusqu'à plusieurs milliers de mètres) dans des terrains parfois peu perméables (granite) résultent du très fort gradient hydraulique qui existe entre la zone d'alimentation située souvent en altitude et la zone d'émergence qui se trouve généralement dans la vallée.

Les conditions favorables à l'émergence de l'eau sont d'abord structurales et il est nécessaire qu'un conduit ascendant à forte perméabilité existe mais elles peuvent également être dues à la présence d'un obstacle à l'écoulement ou à la disparition d'un écran imperméable sous lequel l'eau restait confinée.

Par ailleurs, la moindre densité de l'eau minérale naturelle en raison de sa température favorise également sa remontée vers la surface, laquelle peut être favorisée par un effet de « gas lift » lorsqu'il y a présence de dioxyde de carbone (eaux carbo-gazeuses).

En s'approchant de la surface, le circuit minéral tend à se ramifier car les terrains traversés sont plus fracturés et en général altérés. Il peut ainsi en résulter la présence d'une zone de mélange entre les venues d'eaux minérales naturelles et celles de la nappe superficielle contenue dans la roche altérée ou dans les formations superficielles (alluvions par exemple) qui se traduit fréquemment par la présence sur un même site d'eaux de même faciès mais avec des proportions de mélange différentes.

II. Typologie des systèmes aquifères

Au regard de leur complexité, les systèmes aquifères d'où proviennent les eaux minérales naturelles peuvent être subdivisés en deux grandes catégories d'inégale importance :

1. Les systèmes constitués d'un aquifère dont la géométrie peut être assez aisément définie. Minoritaires et localisés dans les bassins sédimentaires et parfois en socle stable (Plancoët), il peut s'agir d'aquifères relativement superficiels (Enghien-les-Bains, Larivière-Arnoncourt, Saint-Amand-les-Eaux, etc.) ou très profonds (Jonzac, Barbotan, Lectoure, etc.).

Ces aquifères sont de type monocouche (Chambon) ou multicouche (Vittel, Contrexéville, Chaponnay, Plancoët) et la nappe de type semi-captif ou captif⁽⁸⁾. L'émergence⁽⁹⁾ naturelle de ces eaux, qui peut correspondre parfois uniquement à des suintements ou à des transferts discrets vers d'autres aquifères, est due à la disparition de l'écran imperméable mettant en charge la nappe ou à l'existence de fractures.

Pour ces systèmes dont les eaux sont comparables aux eaux souterraines utilisées pour l'alimentation en eau potable, il est généralement possible de définir l'aire d'alimentation⁽¹⁰⁾ et les potentialités de la ressource en mettant en œuvre les outils classiques de l'hydrogéologie (études lithologiques, structurales, géophysiques, sondages, pompages, bilans d'eau et traçages).

(8) Voir signification et discussion à l'annexe 1, § 1.3.3.

(9) Voir signification et discussion à l'annexe 1, § 1.6.

(10) Voir signification et discussion à l'annexe 1, § 1.6.1.

2. Les systèmes associés aux zones tectoniquement actives (Massif Central, Vosges, Alpes et Pyrénées) qui sont largement majoritaires et situés au sud d'une ligne Bordeaux-Sedan (Pomerol et Ricour, 1992). Leurs eaux sont issues le plus souvent de systèmes aquifères complexes pouvant associer des terrains de faciès différents (terrains métamorphiques ou magmatiques et terrains sédimentaires) aux structures plissées et faillées.

Pour ce type de sources, la géométrie de la structure géologique traversée par les eaux est rarement totalement connue. Dans certains cas l'altitude et, en conséquence, la localisation de la zone d'alimentation de la source⁽¹¹⁾ peut être obtenue, compte tenu de la durée du transit des eaux, en utilisant les isotopes de l'oxygène (¹⁶O/¹⁸O) et/ou la datation des eaux avec des isotopes de périodes longues (³H, ¹⁴C), ce qui peut permettre de lever des indéterminations sur la localisation de l'aire d'alimentation.

Quant à la profondeur atteinte par l'eau dans son circuit souterrain, elle peut être déterminée en recourant aux géothermomètres chimiques (Michard, 1979) tels que SiO₂, Na/K et Na/K/Ca qui fournissent une valeur de la température maximale atteinte par l'eau en fonction du gradient géothermique local.

III. Vulnérabilité du système aquifère

Le risque de contamination des eaux du système aquifère dépend de la conjonction d'un aléa, lié à une source de contamination potentielle susceptible d'altérer la qualité de la ressource et d'une vulnérabilité⁽¹²⁾ qui dépend non seulement du système aquifère lui-même (vulnérabilité intrinsèque) mais également du comportement des produits et agents contaminants (vulnérabilité spécifique).

Étant donné que l'aire d'alimentation constitue le secteur vulnérable initial du système, il importe de tenter de la définir avec le maximum de précision :

- dans le cas où les systèmes aquifères sont de type fissural cette zone peut correspondre à un secteur où les fractures du terrain sont particulièrement nombreuses et ouvertes. Sa localisation précise et, plus encore, sa délimitation sont souvent difficiles, mais une situation en altitude, dans des secteurs où peu d'activités sont présentes est fréquente et constitue un gage de protection naturelle ;
- dans le cas d'aquifères situés dans les bassins sédimentaires ou dans les zones stables du socle, l'aire d'alimentation est généralement plus facile à définir, mais souvent très exposée aux pollutions d'origine urbaine et/ou agricole et industrielle.

La zone de circulation, comprise entre la zone d'alimentation et la zone d'émergence, rarement bien délimitée, présente les conditions de protection les plus favorables puisque l'eau circule lentement en profondeur et sous des niveaux assurant sa mise en charge. L'eau minérale naturelle, du fait de la présence d'une composante issue de formations calcaires karstifiées à certaines périodes de l'année, peut être de qualité très médiocre.

Dans la zone d'émergence où l'eau remonte vers la surface, la protection diminue. Les fractures étant en général ouvertes et la roche altérée, cette zone est la plus vulnérable du système aquifère d'autant plus que les émergences et les zones de captage sont fréquemment localisées dans des secteurs urbanisés. Les pratiques agricoles peuvent également être à l'origine de la dégradation de la qualité de l'eau.

En outre, dans cette même zone d'émergence, la différence de charge entre les eaux profondes et la nappe superficielle est souvent faible et une légère modification de cette différence de charge peut avoir un fort impact sur la qualité de l'eau minérale naturelle. En effet, le pompage peut faire disparaître l'artésianisme spontané de l'ouvrage et entraîner une inversion des échanges qui s'opèrent alors de la nappe superficielle vers l'eau d'origine profonde.

Enfin, quel que soit le système aquifère, les eaux minérales naturelles sont des ressources renouvelables et durables si l'équilibre entre les entrées d'eau (apports météoriques annuellement mesurés) et le débit d'exploitation de la source est respecté.

(11) Le mot « source » n'est pas utilisé dans le même sens dans la réglementation qu'en hydrogéologie. Ici, il s'agit du sens hydrogéologique : voir annexe 1, § 1.6.2.

(12) Risques, aléas et vulnérabilités : pour plus de précision, voir annexe 1, § 1.7.

IV. Investigations nécessaires à la connaissance de l'origine et de la vulnérabilité des eaux minérales naturelles au regard du risque sanitaire

Des informations hydrogéologiques sur l'origine et la vulnérabilité des eaux minérales naturelles sont nécessaires à l'évaluation du risque sanitaire.

Comme toutes les eaux souterraines, les eaux minérales naturelles sont issues d'un système aquifère, concept à la fois spatial et dynamique. Ce sont des eaux qui transitent dans un milieu souterrain particulier, dans des conditions hydrologiques et hydrochimiques particulières.

Puisque la réglementation en vigueur admet la possibilité d'exploiter une eau minérale naturelle à partir de « plusieurs émergences naturelles ou forées », il convient de s'assurer de l'**unicité du système aquifère**. La composition de l'eau elle-même (caractéristiques physico-chimiques et isotopiques) est porteuse d'informations sur cette unicité. Néanmoins, des émergences naturelles ou des forages, situés en des points différents d'un même système aquifère peuvent délivrer des eaux à caractéristiques différentes, dans la mesure où elles traduisent la spécificité d'un sous-système particulier (par exemple dans le cas d'un système à réservoirs successifs).

La demande d'autorisation d'exploiter une source d'eau minérale naturelle nécessite la constitution d'un dossier (Arrêté du 5 mars 2007), rassemblant en particulier (annexe II-A)⁽¹³⁾ les **éléments d'information géologique, hydrogéologique et physico-chimique indispensables**, relatifs au gisement (annexe II-A-2.1)⁽¹³⁾, à chaque captage ou émergence (annexe II-A-2.2)⁽¹³⁾, à la source (annexe II-A-2.3)⁽¹³⁾. Il convient en effet d'aboutir à :

- une **synthèse détaillée du contexte géologique** (annexe II-A-2.1.1)⁽¹³⁾ : description détaillée, précise et actualisée du système aquifère (la coupe géologique et technique du ou des captages - demandée à l'annexe II-A-2.3.2 - permet généralement une première approche de l'aquifère capté) et de son cadre géologique régional :
 - lithostratigraphie (nature, épaisseur et succession originelle des terrains, variations latérales de faciès), propriétés aquifères (perméabilité en petit et/ou en grand),
 - état de fissuration, d'altération ou de karstification (présence notamment de réseaux karstiques) modifiant localement ou non les caractéristiques aquifères,
 - structure géologique de la région (cartes et coupes d'ensemble), mettant en évidence l'organisation des couches, (plissements, chevauchements, renversements de séries) et la fracturation (failles majeures, zones broyées, fracturation secondaire), ainsi que les recouvrements (sédimentaires ou volcaniques) post-tectoniques,
 - synthèse de l'histoire sédimentaire, tectonique, voire magmatique et volcanique régionale,
 - synthèse géologique du système aquifère, replacé dans son contexte régional : structure (cartes et coupes détaillées), nature (lithologie et minéraux susceptibles de lixiviation) et géométrie du ou des aquifères en présence (mur et toit des aquifères), rôle des failles (écran ou drainage), relations possibles entre aquifères (contact stratigraphique ou tectonique, drainance) et avec la surface (détermination de l'aire d'alimentation, possibilités de réalimentation par une nappe superficielle ou une rivière, présence de drains préférentiels, détermination de la ou des zones d'émergence naturelle) ;
- une approche satisfaisante du **fonctionnement hydrogéologique du système hydrominéral** (annexe II-A-2.1.2)⁽¹³⁾, qui nécessite de rassembler les éléments d'information suivants ou, selon les cas, d'en promouvoir l'étude :
 - contexte hydrologique du secteur : régime des cours d'eau, pertes avérées ou suspectées, caractéristiques physico-chimiques de ces eaux superficielles,
 - existence d'aquifères et de nappes, apparemment indépendants du système aquifère présumé, cotes piézométriques dans le secteur avec leurs fluctuations, caractéristiques physico-chimiques et isotopiques de ces eaux souterraines,
 - rassemblement de toutes les données ponctuelles ou sous forme de chroniques de cotes piézométriques (ou de pression) et de débit relatives aux eaux souterraines du système aquifère,
 - analyse des hydrogrammes à l'exutoire (débits classés, courbe de récession, etc.),
 - rassemblement des données (et plus encore des chroniques) existantes relatives aux caractéristiques physico-chimiques et isotopiques des eaux minérales naturelles captées ou reconnues par forages annexes,
 - recherche de correspondances entre les fluctuations piézométriques (ou de pression), les variations de débit et les modifications des caractéristiques physico-chimiques et isotopiques :

(13) Annexe de l'Arrêté du 5 mars 2007.

- pour l'eau minérale naturelle à l'exutoire (et le cas échéant sur tout point d'observation qui existerait en amont),
- avec les données climatologiques (précipitation, température de l'air et pression barométrique),
- avec les paramètres correspondants des autres eaux environnantes, tant de surface que souterraines,
- synthèse des résultats de toutes les reconnaissances effectuées tant sur l'ensemble du système aquifère que sur son exutoire (naturel ou foré) : forages mécaniques, campagnes géophysiques, traçages naturels et artificiels, datations, géothermométrie, diagraphies en forage (en particulier au micromoulinet), pompes d'essai :
 - résultats des modélisations numériques réalisées,
 - résumé du régime d'exploitation et de ses répercussions éventuelles sur les cotes (ou pressions) piézométriques et sur la qualité physico-chimique de l'eau captée,
 - schéma du fonctionnement quantitatif et qualitatif du système aquifère depuis l'aire de recharge (ou d'alimentation) jusqu'aux exutoires captés ou non ;
- l'établissement de la **relation entre la nature des terrains et les constituants de l'eau minérale naturelle** (annexe II-A-2.1.3)⁽¹⁴⁾. Cette relation découle de la bonne connaissance qui sera acquise sur la nature et la géométrie du système aquifère et sur son fonctionnement : les caractéristiques essentielles de la minéralisation de l'eau doivent être comparées à la nature minéralogique des réservoirs et/ou des conduits aquifères. La relation est parfois évidente lorsque des minéraux solubles, comme le gypse par exemple, entrent en contact avec l'eau. La circulation de l'eau souterraine à travers des terrains aux propriétés minéralogiques différentes, notamment dans le cas de réservoirs successifs, peut expliquer une certaine variabilité spatiale de l'eau minérale naturelle d'un même « gisement » sollicité par des forages géographiquement dispersés, mais aussi parfois une variabilité temporelle, liée à une répartition variable des contributions de chaque réservoir, en hautes et basses eaux ;
- **l'évaluation de la vulnérabilité intrinsèque** de la ressource (annexe II-A-2.1.4)⁽¹⁴⁾, c'est-à-dire de la facilité de transit de l'eau depuis son infiltration dans le sol et le sous-sol (aire d'alimentation ou de recharge du système aquifère), jusqu'à l'émergence naturelle ou forée. C'est une propriété du milieu géologique et hydrogéologique qui ne tient pas compte des phénomènes de retard et d'atténuation. Elle dépend essentiellement du régime pluviométrique et de facteurs propres au milieu géologique, à savoir :
 - les modalités d'infiltration : diffuse, organisée autour d'un point (par exemple ruissellement local vers une faille) ou concentrée (perte ponctuelle),
 - la présence ou l'absence d'une couverture protectrice (de perméabilité faible ou médiocre) dont les variations d'épaisseur méritent d'être précisées et cartographiées,
 - la durée du parcours souterrain, qui peut être estimée par datation⁽¹⁵⁾ à l'aide d'isotopes radioactifs (tritium, carbone 14, etc.) dans le cas de circulations lentes et profondes, la profondeur pouvant dans certains cas être estimée par des mesures de géothermométrie⁽¹⁶⁾,
 - l'organisation du drainage, qui peut être approchée, dans les cas très particuliers de systèmes à circulation rapide de type fissural ou karstique, par la courbe de distribution des temps de séjour (DTS) obtenue par traçage d'essai, qui peut alors préciser la durée globale du transit.

Les deux zones les plus vulnérables d'un système aquifère hydrominéral sont :

- l'aire d'alimentation qu'il importe de délimiter avec le plus de précision possible, soit à partir de bilans hydrologiques quand le système aquifère est relativement simple, soit au moyen de mesures d'isotopes de l'oxygène qui permettent d'estimer l'altitude des eaux météoriques d'infiltration, soit à l'aide de datations qui peuvent elles aussi permettre de lever des indéterminations sur la localisation de l'aire d'alimentation (cf. § II.2) ; la cartographie d'une éventuelle couverture protectrice (nature et épaisseur) y est indispensable, de même qu'une répartition de l'environnement naturel géologique (altérations, fissuration, lapiez, dolines, pertes), topographique (pentes) et végétal (couverture forestière, prairies ou alpages, zones humides, terrain nu, etc.) ;
- la zone d'émergence, où les fractures sont en général plus ouvertes et la roche altérée, qui est souvent la zone la plus vulnérable parce que souvent localisée en secteur urbanisé, parfois proche d'industries, ou dans un environnement agricole. La présence d'une nappe alluviale ou un cours d'eau peut être à l'origine d'un mélange de leurs eaux plus ou moins polluées avec l'eau minérale d'origine profonde, dans la mesure où le potentiel hydraulique de cette dernière deviendrait inférieur à celui des eaux superficielles (notamment en cas de pompage supprimant l'artésianisme naturel) ;

(14) Annexe de l'Arrêté du 5 mars 2007.

(15) Voir annexe 1, § II-11.

(16) Voir annexe 1, § II-12.

• **L'évaluation des dangers** susceptibles d'altérer la qualité de l'eau : **inventaire des sources de pollution** (annexe II-A-2.1.5)⁽¹⁷⁾, notamment des risques liés à l'occupation des sols : activités à risque, installations classées pour la protection de l'environnement, élevages, assainissements et rejets d'effluents, lieux de stockage de produits polluants ou dangereux, dont les déchets, etc. Cette étude est à mener aussi bien dans la zone d'alimentation que dans celle d'émergence, dans le cas d'aquifères en bassin sédimentaire ou en zone stable du socle, en région de faible ou de moyenne altitude. Par contre, en aquifère de type fissural situé en zone tectoniquement active, cet inventaire des sources de pollution portera essentiellement sur la zone d'émergence, l'aire d'alimentation étant souvent localisée en altitude avec des activités humaines réduites, mais néanmoins non sans risque de contamination microbiologique, en particulier par des déjections animales ;

• **la proposition de mesures de protection** (annexe II-A-2.1.6)⁽¹⁷⁾, **de surveillance et d'alerte** à mettre en œuvre (annexe II-A-2.1.7)⁽¹⁷⁾. Les mesures de protection techniques ou environnementales doivent être parfaitement adaptées aux particularités reconnues du système aquifère (géométrie, géologie et fonctionnement), comme à sa vulnérabilité intrinsèque (principalement dans ses zones d'émergence et d'alimentation). Mais l'exploitation des eaux minérales naturelles relevant en général du domaine privé, la protection de la ressource reste plus difficile à mettre en œuvre par voie réglementaire.

Sur le plan technique, l'amélioration des ouvrages de captage eux-mêmes (cf. § V) constitue certainement la première mesure à mettre en œuvre.

Les mesures de surveillance et les dispositions d'alerte doivent également être adaptées aux particularités du système aquifère, en particulier aux temps de transit et aux caractéristiques des dangers et risques répertoriés dans les aires d'émergence et d'alimentation.

Tous les **éléments d'information géologique et hydrogéologique** demandés pour l'autorisation d'exploiter une source d'eau minérale naturelle, principalement ceux **relatifs au gisement** (annexe II-A-2.1)⁽¹⁷⁾ explicités ci-dessus (mais précisés davantage en annexe 1 du présent rapport), nécessitent au moins un rassemblement exhaustif des données existantes suivi d'une synthèse minutieuse, mais parfois aussi, en l'absence de toute investigation sérieuse sur l'origine des eaux captées, d'une étude préliminaire approfondie du « gisement » et de la « ressource », c'est-à-dire du système aquifère (géométrie, fonctionnement, vulnérabilité) et de ses possibilités d'exploitation ; ce type d'étude ne doit être confié qu'à un organisme suffisamment spécialisé et compétent dans le domaine de l'hydrogéologie quantitative et qualitative.

En conclusion, les éléments géologiques et hydrogéologiques demandés dans les lignes directrices visent à s'assurer de la connaissance de la ressource, de son fonctionnement et de sa protection afin de maîtriser tout risque sanitaire lié à des infiltrations d'eaux superficielles contaminées ou à des mauvaises conditions d'exploitation.

V. Captage des eaux minérales naturelles

V.1. Captage

V.1.1. Captage des émergences naturelles

Les émergences naturelles d'eaux minérales sont associées :

- soit à l'existence de failles ou de diaclases affectant les terrains ;
- soit à la disparition d'écrans imperméables, dispositions qui permettent aux eaux circulant en profondeur de parvenir à la surface du sol.

Les émergences peuvent être :

- ponctuelles : l'eau arrive alors à la surface du sol sous pression par des fissures bien individualisées ;
- diffuses : les venues d'eau se dispersent alors dans le recouvrement superficiel.

Dans toutes les situations, le captage des émergences impose de dégager, si possible, le griffon⁽¹⁸⁾ de la source car le mélange des eaux d'origine profonde avec des eaux de nappes superficielles, voire avec des eaux de ruissellement, est fréquent.

(17) Annexe de l'Arrêté du 5 mars 2007.

(18) Voir annexe 1, point 1.6.2.

Le captage des venues d'eaux est obtenu par la construction de dispositifs permettant le recueil de l'eau. Il s'agit le plus souvent de puits mais, dans le passé et dans les zones de relief, le captage s'est parfois fait par galeries horizontales ou obliques.

Le puits doit être creusé, si possible, jusqu'à la roche saine et, pour supprimer le risque d'infiltration d'eaux parasites à l'extrados du cuvelage, l'espace annulaire⁽¹⁹⁾ doit être obturé par l'apport d'un matériau argileux et/ou par une cimentation.

V.1.2 Captage par forage

Afin d'éviter les phénomènes de mélange entre eaux profondes et eaux superficielles, le captage des émergences naturelles est de plus en plus fréquemment abandonné au profit de forages.

Si les techniques de foration utilisées diffèrent en fonction du type de terrain et de l'importance de la fracturation (MINEFI-DNEMT, 1995 [b]), les équipements des ouvrages doivent par contre présenter un certain nombre de caractéristiques communes dans le but de garantir la qualité des eaux captées au regard de la sécurité sanitaire.

À cet effet :

- le matériau constituant la colonne de captage doit être adapté aux caractéristiques de l'eau afin d'éviter les phénomènes de corrosion et le vieillissement prématuré de l'ouvrage ;
- les espaces annulaires (espaces compris entre le trou et le pré-tubage s'il existe et entre le pré-tubage et le tubage) doivent être cimentés. Cette cimentation doit avoir au moins 5 cm d'épaisseur et être réalisée, si possible, par injection sous pression, depuis le fond, à l'aide d'une canne et sur une hauteur suffisante pour éviter la pénétration d'eaux provenant d'autres aquifères ;
- lorsque les eaux captées sont sulfatées, chlorurées, carbo-gazeuses et chaudes la cimentation doit être assurée à l'aide de ciments autorisés au contact de l'eau minérale naturelle dont les additifs ne doivent être nocifs ni pour l'environnement du forage, ni pour la santé du consommateur de l'eau minérale naturelle exploitée ;
- la tête de l'ouvrage doit être conçue pour mettre ce dernier à l'abri des risques d'inondation, de pénétration d'eaux de ruissellement et d'infiltration d'eaux parasites le long des câbles d'alimentation électrique de la pompe.

Plus encore que pour les forages destinés à l'alimentation en eau potable, des règles d'hygiène strictes doivent être respectées sur le chantier car il n'y a pas d'étape de désinfection ultérieure (MINEFI-DNEMT, 1995 [c]). Le matériel de sondage ne doit pas présenter de fuites sur les circuits hydrauliques et d'alimentation, le graissage doit être limité au strict nécessaire et, dans l'attente de leur mise en place dans le forage, les tubages, crépines, tiges de forage et graviers utilisés ne doivent pas être posés à même le sol.

V.1.3 Abandon des captages

Lorsque l'exploitation d'un captage est abandonnée, certaines contraintes techniques doivent être respectées pour éviter les contaminations des eaux du gisement (ex. : rebouchage à la boue bentonitée ou au coulis de ciment) (MINEFI-DNEMT, 1997).

À cet effet, les parties pleines et crépinées du tubage ou le trou nu (en cas d'ouvrage non équipé ou après arrachage des tubes), doivent être comblées avec, de bas en haut :

- un matériau inerte (sable siliceux grossier, gravier siliceux), propre et préalablement désinfecté, jusqu'à une dizaine de mètres sous la surface du sol ;
- un bouchon d'argile ou de sobranite bien compacté sur environ cinq mètres ;
- un coulis de ciment dans la partie restante (jusqu'à la surface du sol).

V.2 Exploitation des ouvrages de captage

L'exploitation des ouvrages de captage peut se faire soit par artésianisme, soit par pompage, les deux modes d'exploitation pouvant être utilisés alternativement.

(19) Espace entre le tubage et les parois du trou de forage (Detay, 1993)

V.2.1 Exploitation par artésianisme

Lorsque l'ouvrage est jaillissant et que la charge des venues profondes est nettement supérieure à celle de la nappe superficielle, le mélange avec des eaux froides superficielles n'est pas à craindre en raison même de cette importante différence de charge hydraulique : cela concourt à la stabilité de la qualité de l'eau.

Le débit artésien d'une source minérale n'est jamais rigoureusement constant et ses variations naturelles peuvent avoir plusieurs origines :

- influence météorologique locale (pression atmosphérique notamment) ;
- variations de pression s'exerçant sur le réservoir hydrothermal découlant de la variation de niveau de la nappe superficielle en particulier en zone alluviale où se situent de nombreuses émergences ;
- marées terrestres ;
- dépôts de substances incrustantes sur les griffons ou dans les canalisations de transport ;
- recharge de nappes ;
- etc.

V.2.2 Exploitation par pompage

Lorsque les ouvrages sont exploités par pompage la dépression créée peut être favorable à l'appel d'eaux de caractéristiques différentes : eaux froides superficielles ou eaux profondes très minéralisées.

Le respect du débit d'exploitation déterminé pour l'ouvrage à l'issue des pompages d'essai contribue à sa pérennité et au maintien de la stabilité de la composition de l'eau captée.

V.3 Équipement des ouvrages de captage

Pour permettre l'exploitation des eaux minérales naturelles dans de bonnes conditions, les ouvrages de captage doivent être dotés d'un équipement et la nature des matériaux et des matériels employés à cet effet doivent être agréés pour le contact avec les aliments et ne pas altérer les qualités organoleptiques de l'eau minérale naturelle.

La plupart des matériaux utilisés pour le captage des eaux potables (tubes, pompes, ciments, etc.) conviennent mais il est cependant nécessaire de vérifier leur adéquation non seulement avec les caractéristiques de l'eau minérale naturelle (risque de corrosion des matériaux métalliques suivant la minéralisation de l'eau, etc.), mais également avec les fluides de forage et les produits employés pour les nettoyages et la désinfection en cours d'exploitation et après forage, ces derniers ne devant pas présenter de rémanence.

Pour respecter le débit d'exploitation fixé et limiter le rabattement de la nappe, l'ouvrage devrait être équipé d'électrodes de niveau haut et de niveau bas et d'un dispositif de contrôle comprenant un débitmètre, une sonde de température, voire un conductimètre.

Par ailleurs, la compatibilité des différents matériaux constitutifs du tubage et de la crépine doit être vérifiée pour éviter le couplage électro-chimique (effet de pile).

Il est nécessaire que les éléments introduits dans le forage (colonne, pompe, gravier, etc.) fassent l'objet d'un nettoyage et d'une désinfection préalables selon une procédure préétablie.

Une sensibilisation du personnel à ces mesures d'hygiène spécifiques est nécessaire.

V.4 Protection des captages : aspects réglementaires

V.4.1 Périmètre sanitaire d'émergence

En application de l'article R. 1322-16 du code de la santé publique, « *l'arrêté d'autorisation d'exploiter une source d'eau minérale naturelle détermine un périmètre sanitaire d'émergence pour lequel le propriétaire doit disposer, pour chaque émergence, de la pleine propriété ou acquérir des servitudes garantissant sa protection contre les pollutions ponctuelles ou accidentelles.* »

Ce périmètre sanitaire d'émergence, qui doit être clôturé, est indispensable pour faire obstacle aux intrusions et supprimer les risques de déversement de produits polluants à proximité immédiate du captage. Il s'agit d'une part d'une **protection physique** de l'ouvrage de captage et, d'autre part, d'une **protection sanitaire** de ses abords immédiats.

La note technique n° 6 du MINEFI-DNEMT de 1996 intitulée « Périmètre sanitaire d'urgence » cite des exemples d'arrêtés préfectoraux.

V.4.2 Périmètre de protection

L'art. R. 1322-17 du code de la santé publique stipule que le propriétaire d'une source peut adresser au préfet une demande tendant à faire déclarer d'intérêt public (DIP) une source d'eau minérale naturelle et de lui assigner un périmètre de protection. Dans ce cas, le préfet recueille l'avis de l'hydrogéologue agréé en matière d'hygiène publique, spécialement désigné à cet effet, notamment sur le débit d'exploitation, la justification et la détermination du périmètre et sur les mesures de protection à mettre en œuvre.

Cette demande, une fois jugée régulière et complète, est soumise à enquête publique et effectuée dans les conditions prévues aux articles R. 11.4 à R. 11.14 du code d'expropriation pour cause d'utilité publique. Après cette enquête et consultation du conseil départemental de l'environnement et des risques sanitaires et technologiques, il est statué sur la demande par décret en Conseil d'État, pris sur le rapport du ministre chargé de la santé.

À l'intérieur de ce périmètre de protection, peuvent être interdits ou réglementés certaines activités, dépôts ou installations de nature à nuire directement ou indirectement à la qualité des eaux.

V.4.3 Travaux dans le périmètre de protection

L'article R. 1322-23 du code de la santé publique stipule que tout sondage ou travail souterrain dans le périmètre de protection est soumis à autorisation préalable et que la demande est soumise à l'avis de l'hydrogéologue agréé en matière d'hygiène publique spécialement désigné à cet effet, puis à celui du conseil départemental de l'environnement et des risques sanitaires et technologiques.

Par ailleurs, l'article R. 1322-25 prévoit que le propriétaire d'une source d'eau minérale naturelle peut demander au préfet d'interdire des travaux entrepris dans le périmètre de protection. Dans ce cas, le préfet fait évaluer, aux frais du demandeur, par un hydrogéologue agréé en matière d'hygiène publique, les risques d'altération ou de diminution de la source.

À l'égard des fouilles, des tranchées pour extraction de matériaux ou de tout autre objet, des fondations de maisons, de caves ou autres travaux à ciel ouvert, le décret mentionné à l'article L. 1322-13 du code de la santé publique qui fixe le périmètre de protection peut imposer aux propriétaires l'obligation de faire, au moins un mois à l'avance, une déclaration au représentant de l'État dans le département, qui en délivre récépissé.

Les autres activités, dépôts ou installations de nature à nuire directement ou indirectement à la qualité des eaux peuvent également être soumis à autorisation ou à déclaration par le décret mentionné à l'article L. 1322-13 du code de la santé publique instituant le périmètre de protection.

V.4.4 Travaux à l'extérieur du périmètre de protection

L'article R. 1322-27 précise que, comme précédemment, le propriétaire d'une source d'eau minérale naturelle déclarée d'intérêt public peut demander au préfet « *d'ordonner provisoirement, en application de l'article L. 1322-6, la suspension d'un sondage ou d'un travail souterrain entrepris en dehors du périmètre de protection et qu'il signale comme étant de nature à altérer ou à diminuer le débit de la source.* »

En conclusion, la création d'un périmètre sanitaire d'urgence vise à protéger le captage des risques d'intrusion ou de déversement de produits polluants dans son environnement immédiat pour éviter que l'eau soit contaminée au niveau du point d'urgence où elle est la plus vulnérable.

La déclaration d'intérêt public (DIP) d'une source d'eau minérale naturelle, avec assignation d'un périmètre de protection, est vivement recommandée car elle permet de renforcer la protection du ou des captages.

Troisième partie : caractéristiques physico-chimiques, stabilité et pureté des eaux minérales naturelles

Textes de référence

Directive 80/777/CEE du 15 juillet 1980 du Conseil relative au rapprochement des législations des États membres concernant l'exploitation et la mise dans le commerce des eaux minérales naturelles modifiée : article 7 et annexe III.

Articles L. 1322-1, R. 1322-2, R. 1322-44-9 et suivants du code de la santé publique.

Arrêté du 14 mars 2007 relatif aux critères de qualité des eaux conditionnées, aux traitements et mentions d'étiquetage particuliers des eaux minérales naturelles et de source conditionnées ainsi que de l'eau minérale naturelle distribuée en buvette publique.

I. Caractéristiques

I.1 Caractéristiques essentielles

Les caractéristiques essentielles d'une eau minérale naturelle sont représentées par :

- des paramètres physico-chimiques globaux : température, pH, conductivité, résidu sec et potentiel d'oxydo-réduction ;
- des éléments majeurs essentiels anioniques (hydrogénocarbonates, sulfates, chlorures, fluorures) et cationiques (calcium, magnésium, sodium, potassium) ;
- et, dans certains cas :
 - une teneur en dioxyde de carbone pouvant varier de quelques centaines de milligrammes par litre à quelques grammes par litre pour les eaux carbo-gazeuses,
 - une teneur en éléments mineurs spécifiques, naturellement présents dans l'eau, qui signent le faciès de certaines eaux : sulfures, arsenic, lithium, etc.

Ces caractéristiques essentielles s'acquièrent par contact de l'eau avec les formations géologiques traversées et dépendent des conditions de pression, de température, de temps de séjour de l'eau dans l'aquifère et du potentiel d'oxydo-réduction.

I.2 Classification

La classification des eaux minérales naturelles peut se faire en se basant sur différents critères, à savoir principalement :

I.2.1. La minéralisation

La minéralisation d'une eau représente la quantité totale de sels dissous exprimée en milligrammes par litre d'eau. Le résidu sec à 180 °C⁽²⁰⁾ est un bon témoin de la teneur en sels minéraux. La minéralisation peut être comprise entre quelques milligrammes et quelques grammes par litre.

Elle doit être constante dans le temps mais peut varier de quelques milligrammes par litre à quelques dizaines, voire, exceptionnellement, une centaine de milligrammes par litre, ce qui permet de distinguer, sur la base de ce critère, cinq catégories :

- les eaux très faiblement minéralisées : minéralisation inférieure à 50 mg/L ;

(20) Dénomination pour l'analyse : résidu sec à 180 °C. Dénomination réglementaire pour l'étiquetage : résidu fixe.

- les eaux faiblement minéralisées : minéralisation comprise entre 50 et 500 mg/L,
- les eaux moyennement minéralisées : minéralisation comprise entre 500 et 1000 mg/L,
- les eaux minéralisées : minéralisation comprise entre 1000 et 1500 mg/L,
- les eaux fortement minéralisées : minéralisation supérieure à 1500 mg/L.

1.2.2 La composition physico-chimique de l'eau

Pour caractériser et différencier les eaux minérales naturelles entre elles il est nécessaire de prendre en compte non seulement leur profil physico-chimique mais également leurs dérivés que sont par exemple les gaz.

La classification se fait alors en considérant certains paramètres originaux susceptibles d'avoir un rôle ou une action particulière (Popoff, Honegger, 1990), tels que :

- la température ;
- le pH ;
- les ions : Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} , HS^- , Fe^{2+} , Mn^{2+} , etc. ;
- la silice soluble H_4SiO_4 , exprimée en SiO_2 ;
- les gaz dissous : H_2S , CO_2 , O_2 ;
- les dépôts ou les phases solides en suspension.

Cela conduit, en fonction de la présence prédominante d'un ou de plusieurs de ces paramètres, à distinguer les catégories spécifiques suivantes (Popoff, 1992) :

1.2.2.1 Les eaux sulfurées

Ce sont des eaux riches en sulfures utilisées uniquement à des fins thérapeutiques en établissement thermal. Elles ne sont donc pas conditionnées.

La présence d'espèces réduites du soufre confère à ces eaux un potentiel redox souvent fortement négatif qui favorise les réactions d'oxydo-réduction rendant ces eaux très instables.

Les eaux sulfurées sont classées en deux catégories :

- **les eaux sulfurées sodiques, de type « pyrénéen »** (Ohayon-Courtes, 1992)
Il s'agit d'eaux riches en sulfures dont le cation dominant est le sodium. Elles sont faiblement minéralisées (minéralisation inférieure à 400 mg/L), chaudes à très chaudes ($30\text{ °C} \leq T \leq 65\text{ °C}$), à pH alcalin ($8 \leq \text{pH} \leq 10$) et contenant de la silice soluble et du fluor en quantités souvent importantes ;
- **les eaux sulfurées calciques** (Tisserand, 1998)
Il s'agit d'eaux riches en sulfures dont le cation dominant est le calcium. Elles présentent des températures et des minéralisations très diverses et ont comme particularité commune de présenter un pH compris entre 7 et 8 favorable à la libération d'hydrogène sulfuré H_2S .

1.2.2.2 Les eaux sulfatées

Elles contiennent majoritairement des ions sulfate SO_4^{2-} associés aux ions calcium et magnésium. Leur minéralisation résulte d'un lessivage du gypse ou de l'anhydrite qui peuvent se trouver dans les formations évaporitiques avec lesquelles elles ont été en contact.

Selon la nature et l'abondance relative des cations associés, les eaux seront dites **sulfatées calciques** lorsque leur teneur en calcium est élevée par rapport à celle du sodium, **sulfatées sodiques** lorsque la concentration en sodium est dominante ou sulfatées mixtes lorsque leur minéralisation résulte d'un apport simultané de sulfates, de sodium et de calcium.

Généralement, sont également présents les ions magnésium et strontium, la concentration de ce dernier pouvant atteindre 10 à 15 mg/L.

1.2.2.3 Les eaux chlorurées sodiques

Dans ces eaux qui ne sont pas conditionnées, les ions majoritaires sont les ions chlorure et sodium.

Les eaux minérales naturelles chlorurées sodiques sont classées en deux catégories :

- **les eaux sodiques « fortes » et froides**

Elles proviennent de la dissolution du sel gemme (halite) et présentent des minéralisations pouvant atteindre le seuil de saturation (300 g/L). Ces eaux sont très corrosives vis-à-vis des matériaux métalliques.

- **les eaux sodiques « faibles » et chaudes**

Leur minéralisation totale n'est que de quelques grammes par litre et elles sont très corrosives vis-à-vis des matériaux métalliques.

Le pH de ces eaux, dont l'ion majoritaire est le sodium, est toujours acide. Dans certains cas, l'ion sodium peut être associé à l'ion calcium mais en quantité plus faible.

1.2.2.4 Les eaux faiblement minéralisées

Les eaux conditionnées se situent essentiellement dans cette catégorie. Le résidu sec de ces eaux est inférieur à 500 mg/L et elles ne contiennent pas d'éléments à des quantités suffisamment élevées pour pouvoir les classer dans une des familles précédentes. Elles sont le plus souvent faiblement ou très faiblement minéralisées (quelques dizaines de milligrammes de résidu sec par litre).

C'est dans cette catégorie que se rangent les eaux dites « **oligominérales** » qui contiennent à l'état de traces (de l'ordre du microgramme par litre) des éléments comme le cuivre, l'arsenic, le sélénium, le zinc, le lithium, le bore, l'uranium, le radium, le béryllium ou encore le vanadium.

Le plus souvent, la composition physico-chimique de ces eaux ne présente aucune caractéristique particulière et l'on peut donc s'interroger sur la justification même de la dénomination « oligominérale ».

1.2.2.5 Les eaux ferrugineuses

Elles contiennent du fer sous la forme soluble Fe^{2+} à des teneurs variant de 0,5 et 20 mg/L. Cet élément se rencontre principalement dans les eaux souterraines pauvres en oxygène et se trouve souvent associé, en faible quantité, à du manganèse soluble sous la forme Mn^{2+} . Ces éléments peuvent précipiter directement sous forme de carbonates. Sous l'action de l'oxygène provenant d'une aération de l'eau au cours de son transport ou pendant son stockage, le fer ferreux peut s'oxyder en fer ferrique et précipiter sous forme d'hydroxyde ferrique qui peut catalyser l'oxydation du manganèse sous forme de dioxyde de manganèse.

Il ne s'agit pas à proprement parler d'une catégorie particulière puisque le fer soluble n'est jamais l'élément prépondérant et qu'il peut se retrouver dans des eaux d'autres catégories.

En vue de l'embouteillage, ces eaux doivent subir un traitement pour éliminer le fer (élément instable).

1.2.2.6 Les eaux « bicarbonatées » gazeuses

Lorsque les eaux minérales présentent des concentrations particulièrement élevées en ions hydrogénocarbonates (plus de 600 mg/L en HCO_3^-) et qu'elles contiennent du dioxyde de carbone libre en excès (plus de 250 mg/L), elles sont dénommées « eaux bicarbonatées gazeuses ». Ces eaux peuvent être « bicarbonatées » sodiques, calciques, ou mixtes. Les eaux bicarbonatées sodiques contiennent souvent du fluor, de la silice et de l'arsenic en quantités non négligeables.

I.3 Mentions d'étiquetage en rapport avec la composition fixées par le code de la santé publique

L'article R. 1322-44-12 du code de la santé publique et l'arrêté du 14 mars 2007 relatif aux critères de qualité des eaux conditionnées, aux traitements et mentions d'étiquetage particuliers des eaux minérales naturelles et de source conditionnées ainsi que de l'eau minérale naturelle distribuée en buvette publique (annexe III de l'arrêté précité) distinguent, d'après leur composition physico-chimique, les treize catégories d'eaux minérales naturelles suivantes :

- « très faiblement minéralisée » dont la teneur en sels minéraux (exprimée en résidu fixe à 180 °C) n'est pas supérieure à 50 mg/L,
- « oligo-minérale » ou « faiblement minéralisée » dont la teneur en sels minéraux (exprimée en résidu fixe à 180 °C) n'est pas supérieure à 500 mg/L;
- « riche en sels minéraux » dont la teneur en sels minéraux (exprimée en résidu fixe à 180 °C) est supérieure à 1500 mg/L;
- « bicarbonatée » dont la teneur en bicarbonates est supérieure à 600 mg/L (en HCO_3^-);
- « sulfatée » dont la teneur en sulfates est supérieure à 200 mg/L (en SO_4^{2-});
- « chlorurée » dont la teneur en chlorures est supérieure à 200 mg/L (en Cl);
- « calcique » dont la teneur en calcium est supérieure à 150 mg/L (en Ca^{2+});
- « magnésienne » dont la teneur en magnésium est supérieure à 50 mg/L (en Mg^{2+});
- « fluorée » dont la teneur en fluor est supérieure à 1 mg/L (en F);
- « ferrugineuse »⁽²¹⁾ dont la teneur en fer bivalent est supérieure à 1 mg/L (en Fe^{2+});
- « acidulée » dont la teneur en dioxyde de carbone libre est supérieure à 250 mg/L (en CO_2);
- « sodique » dont la teneur en sodium est supérieure à 200 mg/L (en Na^+);
- « pauvre en sodium » dont la teneur en sodium est inférieure à 20 mg/L (en Na^+).

II. Radioactivité

II.1 Radioactivité et eaux⁽²²⁾

Les eaux minérales naturelles ayant une origine souterraine, il n'est pas rare qu'elles présentent une radioactivité naturelle.

Les concentrations en éléments radioactifs varient en fonction notamment de la nature géologique des terrains traversés par l'eau, du temps de contact de cette dernière avec ces terrains, de la température et de la solubilité de l'élément radioactif. Ceci s'observe particulièrement pour les eaux carbo-gazeuses et chlorurées.

Les radionucléides les plus fréquents sont les suivants :

- **le potassium 40** : les ions potassium contenus dans les eaux ont des teneurs variant de 1 à 200 mg/L. On compte 1 atome de potassium 40 pour 10 000 atomes de potassium 39 [proportions : ^{39}K (93,26 %), ^{40}K (0,01167 %) et ^{41}K (6,73 %)];
- **l'uranium naturel** dont la concentration est généralement faible (< 2 µg/L) mais peut parfois dépasser 10 µg/L à l'émergence [proportions : ^{238}U : 99,28 % ; ^{235}U : 0,71 % ; ^{234}U : 0,0054 %];
- **le radium 226** dont les concentrations exprimées en Bq/L restent très faibles ;
- **le radon 222** : souvent abondant, il s'échappe de l'eau dès que celle-ci est mise à l'air libre, d'où un risque d'accumulation dans les réservoirs de stockage de l'eau ou dans les bâtiments de captage (exprimé en Bq/L);
- **les thorium 230 et thorium 232** exprimés en Bq/L ;

(21) Les eaux ferrugineuses sont des eaux qui au moment du captage ont des teneurs supérieures à 1 mg/L en fer ferreux. Elles ne peuvent pas être conditionnées en l'état et après traitement de déferrisation ne sont plus ferrugineuses.

(22) Les notions fondamentales relatives à la radioactivité et notamment la définition des indicateurs radiologiques des eaux sont présentées dans la note de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) jointe à la circulaire N° DGS/EA4/2007/232 du 13 juin 2007.

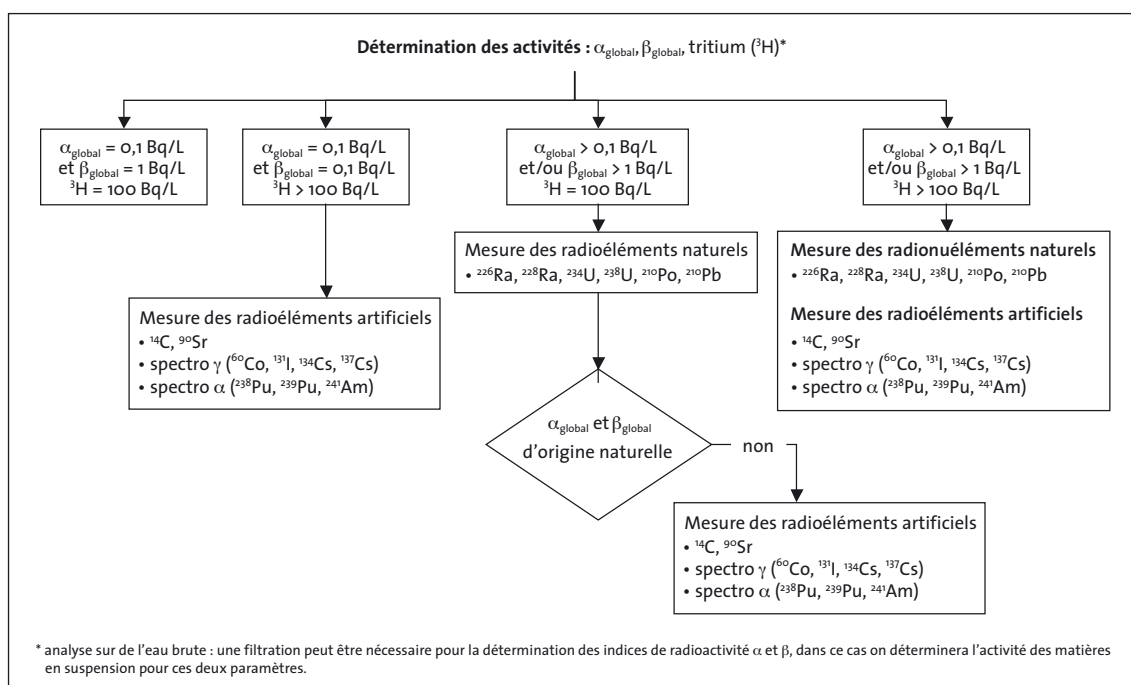
- le **tritium** dont la concentration dans les eaux, exprimée en Bq/L, a augmenté après les essais thermonucléaires dans l'atmosphère et dont les dosages sont utilisés pour évaluer l'âge de l'eau car il est un indicateur du temps de transit de cette dernière. C'est un émetteur β dont les concentrations sont exprimées en unité tritium⁽²³⁾ (UT). Pour les eaux minérales naturelles « anciennes », la concentration en tritium est de 1 à 2 UT alors qu'elle est plus élevée pour les eaux minérales naturelles « jeunes » (postérieures à 1950) ;
- le **carbone 14** qui est également un émetteur β (exprimé en Bq/L).

II.2 Textes réglementaires

La réglementation européenne exige la détermination de la radio-actinologie⁽²⁴⁾ à l'émergence d'une source mais ne fixe aucune limite réglementaire de qualité pour la radioactivité dans les eaux minérales naturelles.

Le 20 décembre 2001, l'Afssa a donné un avis favorable à la stratégie d'analyses de la radio-actinologie établie par référence aux recommandations publiées par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et basée sur la mesure des activités alpha et bêta globales (figure 1).

Figure 1 : Procédure de détermination de la radioactivité des eaux



Source : DGNR/SD7.

Le 2 décembre 2003, l'Afssa a recommandé qu'une eau minérale naturelle utilisée pour l'alimentation des nourrissons, soit conforme aux critères définis dans la directive européenne 98/83 pour l'eau de consommation humaine, à savoir :

- activité alpha globale (α) $\leq 0,1$ Bq/L ;
- activité bêta globale (β) ≤ 1 Bq/L ;
- dose totale indicative (DTI) $\leq 0,1$ mSv/an ;
- teneur en tritium ≤ 100 Bq/L.

(23) 1 unité tritium correspond à 1 atome de tritium pour 10^{18} atomes d'hydrogène.

(24) Recherche analytique de la radioactivité.

À ce jour, ces critères ont été repris par la réglementation portant spécifiquement sur les eaux minérales naturelles dans :

- l'arrêté du 5 mars 2007 qui impose la détermination des activités α et β globales, de la teneur en tritium et autres radionucléides pour le calcul de la dose totale indicative (DTI) ;
- **l'arrêté du 14 mars 2007 qui fixe dans son annexe IV les exigences de qualité et mentions d'étiquetage relatives à l'alimentation des nourrissons.**

III. Stabilité

Le suivi de la stabilité a pour objectif la mise en évidence d'une évolution des caractéristiques de l'eau minérale naturelle qui pourrait se traduire par une dégradation de sa qualité avec des conséquences sanitaires (mélange avec des eaux d'autres origines par exemple). En effet toute variation de stabilité est un indicateur de la dégradation de la ressource et doit être considérée comme un signal d'alerte sanitaire.

III.1 Évaluation de la stabilité de la composition

Selon l'article R.1322-2 du code de la santé publique, une eau minérale naturelle « *témoigne, dans le cadre des fluctuations naturelles connues, d'une stabilité de ses caractéristiques essentielles, notamment de sa composition et de sa température à l'émergence, qui n'est pas affectée par le débit de l'eau prélevée.* »

La notion de stabilité de la composition physico-chimique d'une eau est un critère important dans la définition d'une eau minérale naturelle et il est donc utile et nécessaire de définir une méthodologie permettant de quantifier cette notion de stabilité à propos de laquelle se posent les questions suivantes :

- Est-il possible de définir un/des critère(s) objectif(s) permettant d'évaluer de manière intrinsèque la stabilité de la composition d'une eau minérale naturelle ?
- Quelles sont les relations entre la variabilité de la composition d'une eau en termes de fluctuation saisonnière ou brutale et la stabilité d'une eau ?
- Quelles sont les relations entre stabilité d'une eau (à court et moyen terme) et dérive à long terme ?
- Quelle est la part de l'incertitude de mesure analytique dans les fluctuations de la composition de l'eau ?

III.2 Origine des variations de la qualité de l'eau

Toutes les eaux souterraines captées et quel que soit le mode d'exploitation (artésianisme ou pompage), présentent des fluctuations plus ou moins importantes de leurs compositions physico-chimiques qui peuvent avoir soit une origine géologique, soit une origine liée au régime d'exploitation. Les variations de composition n'ont pas d'incidence directe sur la sécurité sanitaire des eaux minérales naturelles mais traduisent la survenue d'un événement susceptible d'avoir des conséquences sanitaires.

III.2.1 Une origine géologique

Comme déjà mentionné (cf. Partie 2, § 1), les eaux minérales naturelles peuvent présenter des différences de minéralisation liées à la situation des émergences (naturelles ou forées) par rapport au circuit du flux naturel de l'eau dans un système aquifère souvent complexe, pouvant notamment comporter une succession de réservoirs différents qui communiquent alors à l'eau leurs propres caractéristiques physico-chimiques. Par ailleurs, les conditions de recharge, soumises aux variations météorologiques, notamment saisonnières, peuvent entraîner des variations dans les contributions relatives de ces mêmes réservoirs, variations qui peuvent alors se traduire par des modifications temporaires de la minéralisation résultante aux points d'émergence.

Dans la zone d'émergence, les eaux peuvent se mélanger avec des eaux de nappes superficielles ou provenant des précipitations atmosphériques qui s'infiltrent. Le rapport de la charge hydraulique des venues profondes à celle des eaux superficielles détermine dans ce cas les conditions de mélange qui varieront dans le temps, augmentant les risques de contamination par des polluants.

III.2.2 Une origine liée au régime d'exploitation

Le mode d'exploitation des captages peut également influencer sur la minéralisation des eaux captées.

Lorsque l'exploitation ne se fait que par artésianisme les eaux ne présentent que des variations naturelles. Par contre, l'exploitation par pompage peut être à l'origine de fluctuations de la minéralisation car selon le niveau

dynamique atteint dans l'ouvrage, les différentes venues aquifères ne contribuent pas de façon équivalente au débit ce qui entraîne des variations de la composition de l'eau qui sont particulièrement sensibles pour les captages implantés dans les aquifères peu productifs pour lesquels les rabattements lors de l'exploitation peuvent être importants.

Il convient de signaler à ce sujet que les prélèvements excessifs au regard des potentialités de l'aquifère provoquent un appel d'eau depuis des secteurs éloignés, voire à partir de ressources superficielles, qui contribue à l'accroissement de l'instabilité de la minéralisation de l'eau captée.

Enfin, il faut souligner que l'exploitation d'une ressource par pompage réduit le temps de séjour de l'eau dans le réservoir aquifère et provoque un renouvellement de l'eau bien souvent à l'origine d'une évolution quasi-inévitable de la minéralisation.

III.3 Incertitudes analytiques

Les variations de paramètres observées à l'émergence sont dues :

- d'une part à la variabilité naturelle de la composition de l'eau ainsi qu'au régime d'exploitation du captage ;
- d'autre part, à l'incertitude associée à l'échantillonnage et aux conditions analytiques.

Le concept de stabilité d'une eau minérale naturelle ne peut pas être abordé sans avoir au préalable caractérisé l'incertitude analytique du paramètre au niveau de sa concentration dans l'eau considérée.

Cette incertitude analytique correspond à l'intervalle de confiance de la mesure en statistique, sous l'hypothèse d'une distribution normale du paramètre. Elle caractérise la dispersion des valeurs qui pourraient être raisonnablement attribuées à une mesure.

Les incertitudes analytiques sont étroitement liées à :

- **la concentration des éléments :** dans la zone de linéarité de la méthode, plus la concentration d'un élément est élevée, plus l'incertitude est faible. Toutefois pour des eaux présentant des concentrations très élevées, l'incertitude analytique augmente en raison des dilutions importantes nécessaires à l'analyse,
- **la technique d'analyse mise en œuvre ;**
- **la nature de l'élément, à sa stabilité au cours du temps et à la matrice étudiée :** absence de méthodes d'analyses normalisées pour les eaux carbo-gazeuses.

Il est nécessaire ici de bien distinguer :

- **l'incertitude intra-laboratoire** qui correspond à l'incertitude du laboratoire sur le dosage d'un élément donné à une concentration donnée effectué par du personnel travaillant en équipe,
- **l'incertitude inter-laboratoire** qui est celle obtenue sur un dosage effectué par différents laboratoires avec des équipes et des appareils différents.

Les modes de calcul d'estimation de l'incertitude analytique sont définis dans la norme XP T 90-220 « Protocole d'estimation de l'incertitude de mesure associée à un résultat d'analyse pour les méthodes d'analyse physico-chimiques ».

III.4 Composition : stabilité, dérive ou fluctuation

Au regard des données précédentes, il apparaît clairement que la tolérance arbitraire de 10 %, citée dans certains arrêtés ministériels d'autorisation ne repose sur aucune base scientifique fiable et ne présente donc qu'un intérêt très limité car la tolérance ne devrait dépendre que du paramètre considéré et de l'évolution de sa concentration dans le temps.

En effet, une tolérance de 10 % en calcium, acceptable pour une eau très minéralisée, ne l'est pas pour une eau faiblement minéralisée. Pour des éléments ayant une teneur de l'ordre du mg/L ou pour les gaz dissous (CO₂ par exemple) dont la mesure est particulièrement délicate, cette tolérance de 10 % est parfois inférieure aux incertitudes analytiques.

Une étude du BRGM⁽²⁵⁾ portant sur cinq sources d'eaux minérales naturelles exploitées à débit constant a du reste montré qu'au regard de la tolérance de 10 % aucune d'elles ne pouvait être considérée comme stable.

(25) Étude BRGM 1998R40136 - 1998 - « Critères d'évaluation de la stabilité des eaux minérales ».

Cas particulier des eaux minérales naturelles gazeuses

Comme le rappelle la Directive CEE n° 80/777, « les eaux minérales naturelles effervescentes dégagent, à l'origine ou après embouteillage, spontanément et de façon nettement perceptible, du gaz carbonique dans les conditions normales de température et de pression ».

Le gaz carbonique (dioxyde de carbone) présent dans les eaux minérales naturelles peut avoir plusieurs origines :

- une origine magmatique ;
- une origine métamorphique (métamorphisme des formations carbonatées) ;
- une origine biogénique dans les horizons superficiels.

Les eaux minérales naturelles gazeuses sont complexes et leur équilibre fragile si bien que pour l'interprétation des résultats des analyses les concernant, il doit être tenu compte non seulement des conditions de prélèvement des échantillons, mais également des conditions de mesure. En effet, le dégagement de dioxyde de carbone qui les caractérise provoque une modification du pH de l'eau entraînant des variations plus ou moins importantes d'autres paramètres (carbonates, calcium, etc.), d'où la difficulté d'appréciation de la stabilité de telles eaux.

III.5 Proposition de nouveaux critères pour l'évaluation de la stabilité

Une réflexion, menée en vue d'apprécier la stabilité des paramètres choisis quels que soient leurs niveaux de concentration, a abouti au résultat suivant.

III.5.1 Proposition d'une méthodologie pour la caractérisation de la stabilité

1. Parmi les éléments caractéristiques essentiels d'une eau minérale naturelle, le pH et le dioxyde de carbone (CO₂) ne doivent pas être pris en considération.
2. Compilation du plus grand nombre de données analytiques disponibles sur ces éléments, issues d'un même laboratoire, avec indication de la méthode de mesure correspondante.
3. Représentation graphique des données au cours du temps⁽²⁶⁾.
4. Calcul du coefficient de variation (CV) des données.
5. Pour le niveau de concentration d'un élément considéré, comparaison de la variation de la concentration de cet élément à l'incertitude analytique déterminée par le laboratoire.
6. Le critère de stabilité S pour chaque paramètre serait donné par la formule :

$$S = 2 \times CV / I_p$$

dans laquelle CV est le coefficient de variation exprimé en pourcentage, $2 \times CV$ l'intervalle de confiance à 95 % et I_p le coefficient d'incertitude analytique du laboratoire pour le paramètre considéré au niveau de concentration mesurée (variabilité intra-laboratoire).

7. Pour chaque élément caractéristique essentiel, le critère d'évaluation de la stabilité proposé est le suivant :
 - si $S < 2$: le paramètre présente une stabilité au cours du temps ce qui signifie que l'incertitude analytique explique au moins la moitié de la variation observée ;
 - si $S > 2$: le paramètre présente une instabilité marquée ou une dérive au cours du temps.
8. L'interprétation est la suivante :
 - si deux éléments caractéristiques essentiels ont une valeur de S légèrement supérieure à 2, la dérive peut être lente et, dans ce cas, il conviendra de faire le rapprochement avec la représentation graphique de l'évolution de ces paramètres au cours du temps ;
 - si plus de la moitié des éléments caractéristiques essentiels ont des valeurs de S supérieures à 2, cela signifie que les fluctuations sont anormales et que par conséquent l'eau présente clairement des signes d'instabilité au cours du temps.

(26) En cas de changement de méthode analytique, cette courbe devra être tracée par des sous ensembles distincts relatifs à chaque méthode.

III.5.2 Validation du critère de stabilité

Cette méthodologie a été appliquée à treize eaux minérales naturelles de différents faciès, issues du fichier national des sources d'eaux minérales naturelles que gère le Laboratoire d'études et de recherches en hydrologie de l'Afssa pour la période de 1992 à 2003 inclus.

À titre d'exemple, cette démarche appliquée au TAC se décompose de la façon suivante :

- Période de référence : février 1992 à octobre 2003
- Nombre de données : 38
- TAC moyen : 9,1 °F
- Écart-type : 0,32
- Coefficient de variation : 3,5 %
- Incertitude sur la mesure du TAC : 5 %
- Critère de stabilité : $S = 2 \times 3,5 / 5 = 1,4$

La représentation graphique sur différentes eaux minérales naturelles aboutit aux résultats suivants :

a. Exemple de composition instable

Figure 2 : Application du critère de stabilité à différents paramètres d'une eau minérale naturelle à la composition instable

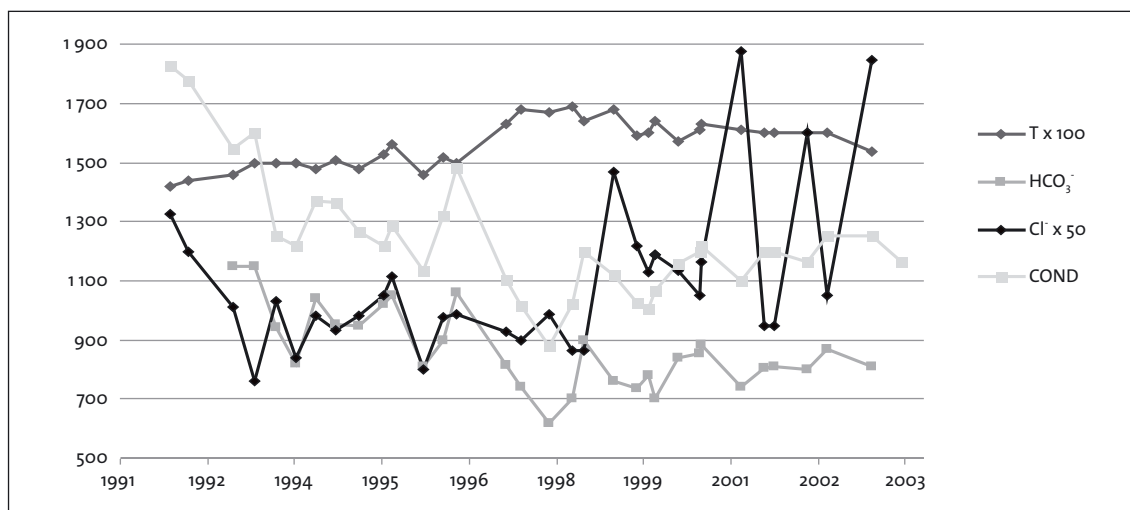
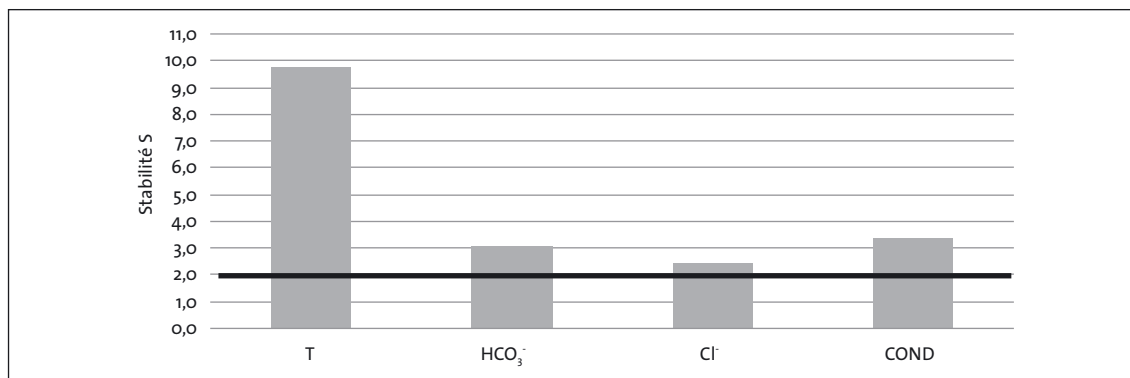


Figure 3 : Évolution de différents paramètres d'une eau minérale naturelle à la composition instable



T = Température en °C, valeurs x 100; HCO₃⁻ = Hydrogénocarbonates en mg/L; Chlorures en mg/L, valeurs x 50; COND = conductivité en µS/cm² à 20 °C.

b. Exemple de composition stable

Figure 4 : Évolution de différents paramètres d'une eau minérale naturelle à la composition stable

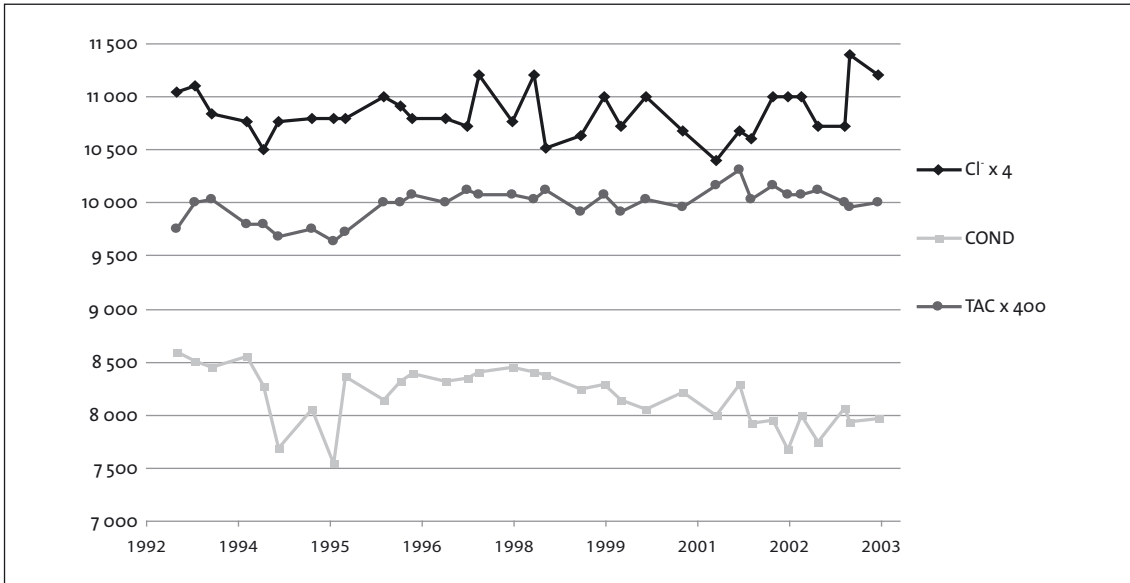
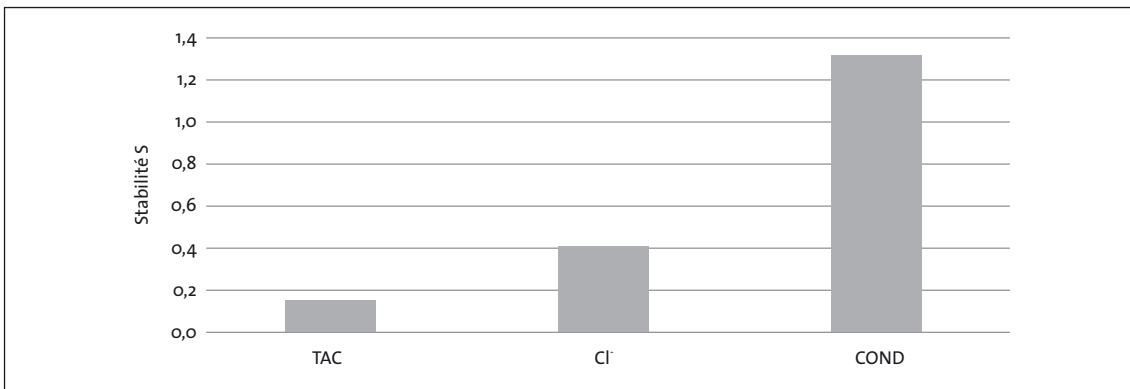


Figure 5 : Application du critère de stabilité à différents paramètres d'une eau minérale naturelle à la composition stable



Cl⁻ = Chlorures en mg/L, valeurs x 4;
 COND = conductivité en $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ à 20 °C;
 TAC = Titre alcalimétrique complet en °f, valeurs x 400.

c. Exemple de cas intermédiaire

Figure 6 : Évolution de différents paramètres d'une eau minérale naturelle dans le cas intermédiaire

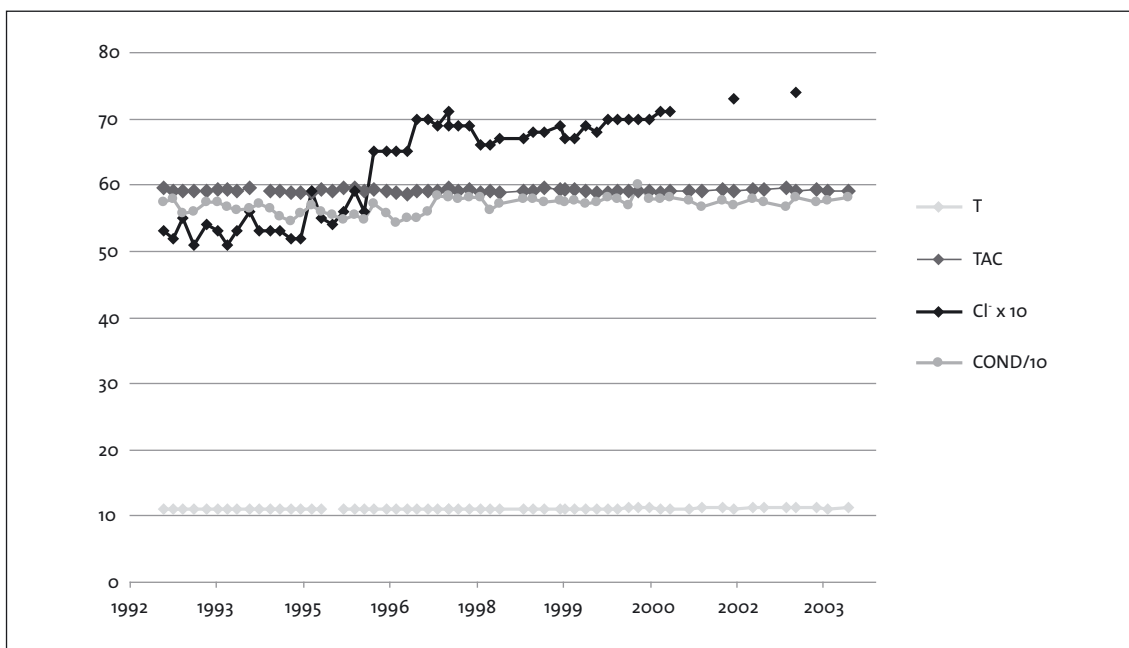
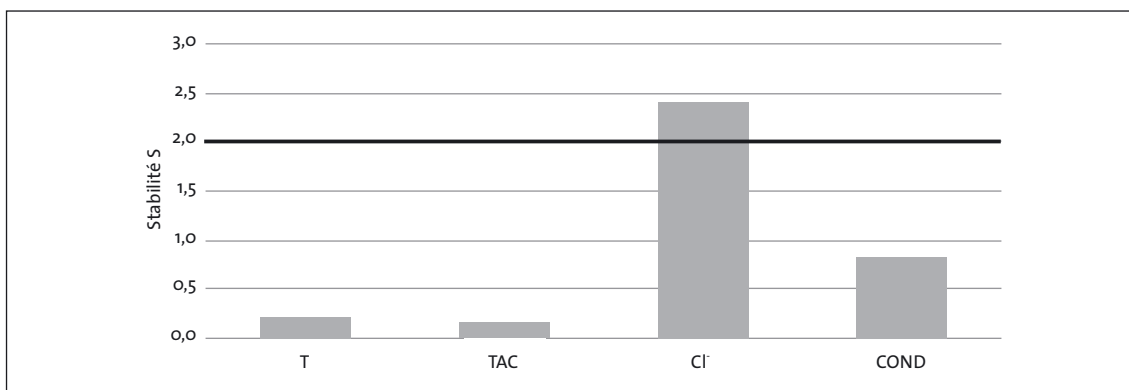


Figure 7. Application du critère de stabilité à différents paramètres d'une eau minérale naturelle dans le cas intermédiaire



T = Température en °C;

TAC = Titre alcalimétrique complet en °f;

Chlorures en mg/L, valeurs x 10;

COND = conductivité en $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ à 20 °C, valeurs / 10.

III.6 Conclusion et recommandations

Cet outil permet de mettre en évidence non seulement des fluctuations de la composition de l'eau mais également une dérive qui devra faire l'objet d'investigations complémentaires prenant en compte notamment le contexte hydrodynamique du site.

Il doit être considéré comme une aide à la décision et non comme un critère strict de jugement, la stabilité d'une eau minérale naturelle devant être appréciée dans son contexte global. Pour les eaux carbo-gazeuses et en l'absence de données sur les incertitudes analytiques, ce modèle n'est pas applicable en l'état.

L'évaluation de la stabilité d'une eau minérale naturelle est importante dans la mesure où des observations de fluctuations et/ou de dérive de la composition de l'eau pourraient traduire un risque de contamination *via* des phénomènes de dilution et de mélange avec des eaux plus vulnérables.

Compte tenu de ce qui précède, différentes remarques peuvent être formulées :

- les caractéristiques essentielles d'une eau minérale naturelle portent sur des paramètres généraux (température, pH, conductivité, résidu sec) et spécifiques (anions et cations prédominants, éléments spécifiques) ;
- dans la pratique et quel que soit le faciès de l'eau, il convient de suivre périodiquement dans le cadre du contrôle sanitaire des eaux minérales naturelles au minimum les paramètres suivants : température, pH, conductivité, titre alcalimétrique complet (TAC), anions et cations majeurs ;
- l'incertitude analytique constitue un paramètre qui peut évoluer au cours du temps en fonction des techniques analytiques ce qui justifie que, pour chaque résultat, la méthode et l'incertitude analytique soient précisées ;
- pour les eaux faiblement minéralisées, seuls les paramètres généraux cités ci-dessus devraient être pris en compte, les analyses d'anions et cations pouvant présenter de très fortes incertitudes pour de faibles niveaux de concentration ;
- pour les eaux carbo-gazeuses, la mise en exploitation ou la modification des conditions d'exploitation (accroissement du débit de pompage par exemple) perturbe l'équilibre physico-chimique de l'eau. Un nouvel équilibre n'est souvent retrouvé qu'après un délai qui peut être supérieur à six mois⁽²⁷⁾. Les seuls cas de stabilité observés sont obtenus pour des sources exploitées par artésianisme ;
- afin d'évaluer les éventuelles variations saisonnières de la composition de l'eau et d'identifier leurs origines, il faudrait disposer d'au moins douze analyses à une fréquence mensuelle (cycle hydrologique annuel), réalisées par le même laboratoire et dans les mêmes conditions, au débit d'exploitation demandé. Cependant, il est important de noter que ce suivi ne permettra pas de conclure sur la stabilité d'une eau minérale naturelle ;
- il est possible de définir un outil d'évaluation de la stabilité pluri-annuelle de l'eau reposant sur les principes suivants :
 - pour une source donnée :
 - élaboration de cartes de contrôle utilisées en assurance qualité, en reportant sur un graphique les résultats du suivi mensuel pour les éléments caractéristiques et les tolérances retenues. Une telle représentation permettrait de suivre les tendances ascendantes ou descendantes, les variations brutales s'écartant des tolérances fixées ou les décalages systématiques par rapport à la valeur moyenne calculée,
 - une eau ne sera jugée stable dans le temps que si l'ensemble des paramètres représentatifs des éléments caractéristiques essentiels le sont ;
 - pour une source constituée par le mélange d'eau de plusieurs captages et afin de ne pas masquer une dérive de la composition de l'une des ressources :
 - application des critères de stabilité à chacun des captages,
 - réalisation du mélange des eaux selon des proportions relatives définies lors de l'autorisation et non par régulation basée, par exemple, sur la conductivité.

En conclusion, les critères de stabilité permettent de s'assurer qu'aucune dérive n'est observée sur la qualité de l'eau et donc qu'aucune anomalie, pouvant avoir des conséquences sanitaires, n'est apparue ou pourrait apparaître.

(27) Étude BRGM 2000R40863 : Étude des conditions de stabilisation des eaux minérales gazeuses.

IV. Pureté des eaux minérales naturelles

Une eau minérale naturelle est caractérisée non seulement par la stabilité de sa composition physico-chimique mais également par sa pureté originelle jugée sur trois critères :

- la pureté microbiologique vis-à-vis des germes pathogènes, dont les critères sont fixés dans les textes européens ;
- les paramètres physico-chimiques tels que les éléments minéraux toxiques ainsi que certains sous-produits de l'ozonation pour lesquels des critères sont également définis dans les textes européens ;
- les substances organiques mais il n'existe à l'heure actuelle aucun critère permettant de juger, vis-à-vis de celles-ci, de la pureté originelle à l'exception toutefois des substances mentionnées dans la norme *Codex* « Eau minérale naturelle ». En effet, lors de l'élaboration de la directive 80/777/CEE les moyens analytiques des laboratoires ne permettaient pas de rechercher et de doser les éléments organiques à l'état de traces inférieures au microgramme par litre d'eau.

IV.1 Critères microbiologiques réglementaires

L'article R. 1322-3 du code de la santé publique indique qu'« une eau minérale naturelle ne doit pas contenir un nombre ou une concentration de micro-organismes, de parasites ou de toute autre substance constituant un danger pour la santé publique ».

L'article 1^{er} de l'arrêté du 14 mars 2007 précise qu'à l'émergence et au cours de leur commercialisation, les eaux minérales naturelles doivent être exemptes de germes témoins de contamination fécale, de parasites et de micro-organismes pathogènes.

L'annexe I de l'arrêté précité :

- fixe les critères de qualité concernant :
 - *Escherichia coli*, coliformes totaux, entérocoques, *Pseudomonas aeruginosa* à rechercher dans des échantillons d'eau de 250 mL prélevés à l'émergence et au cours de commercialisation,
 - bactéries sulfito-réductrices y compris les spores à rechercher dans des échantillons d'eau de 50 mL prélevés à l'émergence et au cours de la commercialisation,
 - germes aérobies revivifiables à 22 et à 37 °C à rechercher dans des échantillons d'eau de 1 mL prélevés à l'émergence et au cours de la commercialisation ;
- précise qu'en cas de suspicion de contamination doivent être recherchés *Cryptosporidium sp.*, *Giardia*, *Legionella sp.* et *Legionella pneumophila*.

Les eaux minérales naturelles étant d'origine souterraine, elles ne doivent pas contenir d'éléments tels qu'algues et moisissures.

Il convient de noter que les numérations de germes aérobies revivifiables prennent en compte des bactéries banales aérobies et quelques moisissures et levures mais en aucun cas leur totalité.

La présence de flore aérobie revivifiable peut être un indicateur de l'éventuelle présence d'autres éléments ou organismes pouvant avoir une incidence directe sur la santé des consommateurs. De ce fait la présence d'algues et de moisissures, à tout stade de la commercialisation, ne doit pas être tolérée dans les eaux minérales naturelles car elle traduit un manquement aux règles d'hygiène.

IV.2 Critères physico-chimiques réglementaires

L'arrêté du 14 mars 2007 fixe la liste, les limites de concentration et les mentions d'étiquetage pour les constituants des eaux minérales naturelles. Il s'agit d'éléments pour lesquels une valeur guide a été fixée par l'Organisation mondiale de la santé (OMS).

IV.2.1 Éléments minéraux réglementés

Ce sont essentiellement des éléments tels que l'arsenic, le sélénium, le nickel, l'antimoine, le fluor, etc.

Pour certains éléments de cette catégorie, des limites de qualité ont été fixées par l'Union européenne et, à la date de publication du présent rapport, des méthodes de traitement sont agréées ou en cours d'agrément pour :

- l'élimination du fluor par adsorption sélective sur alumine activée qui a fait l'objet d'un avis favorable de l'Autorité européenne de sécurité des aliments (Aesa, 2006) ;
- l'élimination de l'arsenic, du sélénium, de l'antimoine, de l'uranium, du radium et du nickel par adsorption sélective sur dioxyde de manganèse ou sur oxyhydroxyde de fer qui sont en cours d'examen.

IV.2.2 Impuretés et réactions secondaires liées à l'ozone

Des composés et des substances peuvent être formés par réaction secondaire suite à l'utilisation d'ozone pour le traitement des eaux minérales naturelles (élimination du manganèse).

L'arrêté du 14 mars 2007 fixe, dans son Annexe II, les limites maximales pour les résidus de traitement des eaux minérales naturelles à l'aide d'air enrichi en ozone à :

- 50 µg/L pour l'ozone dissous ;
- 3 µg/L pour les bromates ;
- 1 µg/L pour le bromoforme.

car des concentrations supérieures seraient l'indice de la mise en œuvre d'ozone à des fins de désinfection, ce qui est interdit.

IV.3 Critères physico-chimiques non réglementés

Les eaux minérales naturelles peuvent, dans certains cas, contenir des composés minéraux et organiques, présents à l'état dissous ou particulaire qui traduisent une contamination liée aux traitements ou à l'activité anthropique.

En l'absence de réglementation, une réflexion pour l'évaluation de la pureté a été conduite en tenant compte :

- de la seule référence internationale, celle du *Codex alimentarius* ;
- de la volonté de proposer des valeurs seuils indépendantes des performances analytiques des laboratoires.

En préambule, il faut rappeler que pour l'eau destinée à la consommation humaine, la réglementation fixe depuis longtemps des critères de qualité concernant notamment les substances organiques et que l'évolution des méthodes d'analyse permet de détecter des micropolluants à des concentrations bien inférieures aux seuils fixés et ne présentant pas de risque sanitaire. L'application de ces méthodes d'analyse aux eaux minérales naturelles a permis de mettre en évidence la présence d'impuretés à des niveaux très faibles, d'où la question : en présence de micropolluants, les eaux minérales naturelles peuvent-elles être considérées comme pures ou faut-il définir des seuils de contamination qui devront être harmonisés au niveau européen ?

Si l'on se réfère aux recommandations de l'OMS qui fixe des valeurs guides pour chaque élément et aux valeurs de la directive 98/83/CE qui fixe des limites de qualité pour chaque élément concernant l'eau destinée à la consommation humaine, les substances organiques mesurées dans une eau minérale naturelle, à une valeur inférieure à ces limites, ne présentent aucun risque sanitaire.

IV.4 L'exigence de la norme Codex

La seule référence internationale concernant la pureté des eaux minérales naturelles figure dans la norme *Codex alimentarius* (Codex STAN 108-1981) qui fixe un niveau d'exigence pour les paramètres résultant d'une contamination :

« Les substances ci-après doivent être présentes en quantité inférieure à la limite de quantification⁽²⁸⁾ lorsqu'elles sont analysées à l'aide des méthodes indiquées à la section 7 (cf. *Méthodes d'analyse et d'échantillonnage*, Codex alimentarius, Volume 13) :

- agents tensioactifs ;
- pesticides et diphényles polychlorés ;
- huile minérale ;
- hydrocarbures aromatiques polycycliques. »

Le *Codex alimentarius* signale que, pour les eaux minérales naturelles, la pureté peut être considérée comme bonne dès que, pour un élément donné, la concentration se situe à un niveau inférieur à celui de la limite de quantification de la méthode proposée par l'OMS.

En 1992, l'OMS a souhaité fixer des valeurs guides (ou valeurs paramétriques) pour les micropolluants toxiques contenus dans les eaux de consommation humaine et, afin de s'affranchir des performances des laboratoires et des méthodes analytiques utilisées, elle a défini une valeur guide non pas sur des critères analytiques mais sur des critères toxicologiques.

On considère classiquement que les performances d'une méthode d'analyse doivent permettre d'atteindre au moins **10 % de la valeur guide et la limite de détection (LD) doit donc être le dixième de la valeur paramétrique (VP) ou limite de qualité de l'élément à doser :**

$$LD = VP / 10$$

IV.5 Proposition pour son application aux eaux minérales naturelles

La norme du *Codex alimentarius* sur les eaux minérales naturelles précise que la concentration (C) des micropolluants organiques doit être inférieure à la limite de quantification (LQ) telle que définie dans la méthode normalisée basée sur la règle OMS :

$$C < LQ$$

D'après la norme AFNOR XP T 90-210 de décembre 1999, la limite de détection est obtenue en divisant la limite de quantification par 3 :

$$LD = LQ / 3 \text{ d'où } LQ = 3 \times LD$$

$$\text{or } LD = VP / 10$$

avec VP la valeur paramétrique (ou limite de qualité) fixée pour l'eau destinée à la consommation humaine.

On pourrait donc considérer que l'objectif de pureté pour une substance organique dans une eau minérale naturelle correspond à une concentration (C) calculée comme suit :

$$C < 3 \times VP / 10, \text{ c'est-à-dire : } C < 30 \% VP$$

Selon ces critères, la présence de traces de substances organiques ne signifie pas que l'eau présente un risque pour la santé dans la mesure où ces valeurs sont inférieures aux limites de qualité fixées pour l'eau destinée à la consommation humaine (élaborées à partir de la dose journalière admissible (DJA)).

Il ne s'agit dès lors que d'un indicateur de risque de pollution, ce qui nécessite des mesures de suivi et de protection adaptées.

(28) Comme indiqué dans les méthodes ISO applicables.

Par ailleurs, la présence dans l'eau d'autres haloformes que le bromoforme à une teneur supérieure à 1 µg/L par molécule est l'indice de la persistance de chlore dans les installations après une opération de désinfection.

Il est rappelé que la désinfection des installations est autorisée mais que la désinfection d'une eau minérale naturelle est interdite.

IV.6 Conclusion et recommandations

Pour qu'une eau minérale naturelle soit considérée comme pure, elle doit répondre aux critères spécifiques fixés par les textes européens :

- en matière de microbiologie ;
- pour les éléments minéraux toxiques et les sous-produits de l'ozonation réglementés.

Au regard des micropolluants organiques, trois types de valeurs existent et permettent de garantir la sécurité sanitaire de l'eau minérale naturelle consommée :

- les valeurs guide fixées par l'OMS, pour chaque substance organique, sur la base de considérations toxicologiques. Ce sont en général des valeurs plus élevées que celles fixées pour les eaux destinées à la consommation humaine car elles ne prennent pas en considération la protection de la ressource en eau ;
- les limites de qualité fixées par la Directive 98/83/CE pour l'eau potable ;
- la norme *Codex* « Eau minérale naturelle » à savoir : teneurs inférieures aux limites de quantification de la méthode appliquée. Ces valeurs sont les plus exigeantes pour la protection de la ressource et doivent être considérées comme un objectif de pureté.

Un dépassement des valeurs du *Codex* jusqu'au niveau des valeurs guide de l'OMS ne signifie pas que l'eau est impropre à la consommation mais qu'une ressource est insuffisamment protégée et que des investigations sont nécessaires pour en trouver l'origine.

L'application du principe général du *Codex* a conduit les experts de l'Afssa à considérer que les objectifs de pureté suivants pourraient être appliqués aux eaux minérales naturelles :

- a. pour les substances organiques figurant dans le tableau B2 de l'annexe I de l'arrêté du 14 mars 2007** (à l'exception des trihalométhanes [THM], du tétrachloroéthylène et du trichloroéthylène), **les concentrations doivent être inférieures à 30 % de la limite de qualité pour l'eau destinée à la consommation humaine** fixées dans les annexes de l'arrêté du 11 janvier 2007 ;
- b. pour les produits organiques émergents et les composés non référencés dans la réglementation européenne, les concentrations doivent être inférieures à 0,03 µg/L par substance individualisée ;**
- c. pour les produits de réactions secondaires du chlore (trihalométhanes [THM]) les concentrations doivent être inférieures à 1 µg/L pour chaque substance identifiée.**

Si les analyses de micropolluants organiques donnent une valeur entre la limite de qualité fixée pour les eaux destinées à la consommation humaine et les valeurs *Codex*, une étude doit être entreprise afin de déterminer l'origine de la pollution de la ressource et prendre les mesures qui s'imposent.

Le Laboratoire d'étude et de recherche en hydrologie de l'Afssa a évalué l'applicabilité de cette proposition (cf. annexe 2). Pour les 14 sites de production d'eau minérale naturelle testés, les résultats obtenus indiquent que toutes les eaux minérales naturelles peuvent être consommées sans risque pour la santé. Pour 3 de ces sites les résultats sont inférieurs aux limites sanitaires mais sont supérieurs aux objectifs de qualité et une étude devrait être réalisée pour déterminer l'origine de la pollution de la ressource et prendre des mesures afin de stopper la pollution et d'atteindre les objectifs de pureté définis.

Les traitements et adjonctions représentent une part importante et spécifique des conditions d'exploitation et font donc l'objet d'une partie distincte. Les autres conditions d'exploitation (mélange, transport, conditionnement ou surveillance) sont traitées dans la 5^e partie de ce rapport.

Textes de référence

Directive 96/70/CE du Parlement européen et du Conseil du 28 octobre 1996 modifiant la directive 80/777/CEE du Conseil relative au rapprochement des législations des États membres concernant l'exploitation et la mise dans le commerce des eaux minérales naturelles.

Directive 2003/40/CE de la Commission du 16 mai 2003 fixant la liste, les limites de concentration et les mentions d'étiquetage pour les constituants des eaux minérales naturelles, ainsi que les conditions d'utilisation de l'air enrichi en ozone pour le traitement des eaux minérales naturelles et des eaux de source.

Article R.1322-32 du code de la santé publique.

Arrêté du 14 mars 2007 relatif aux critères de qualité des eaux conditionnées, aux traitements et mentions d'étiquetage particuliers des eaux minérales naturelles et de source conditionnées ainsi que de l'eau minérale naturelle distribuée en buvette publique.

I. Rappel réglementaire

Au niveau européen, la directive 80/777/CEE modifiée par la directive 96/70/CE relative aux eaux minérales naturelles aborde notamment la question des traitements qui leur sont applicables. Ces dispositions ont été transposées dans le code de la santé publique (article R. 1322-32) et dans l'arrêté d'application du 14 mars 2007 (article 5). Par ailleurs, la directive 2003/40/CE fixe la liste des éléments qui, en cas de concentrations excessives, peuvent présenter un risque pour la santé publique et indique également les conditions d'utilisation de l'air enrichi en ozone pour le traitement des eaux minérales naturelles et des eaux de source (disposition reprise dans l'article 2 de l'arrêté du 14 mars 2007).

Il convient de noter que les traitements applicables aux eaux minérales naturelles et aux eaux de source doivent faire l'objet d'une évaluation par l'Autorité européenne de sécurité des aliments (Aesa) puis d'une autorisation de la Communauté. Certains sont déjà autorisés comme l'ozone et d'autres sont en cours d'évaluation (pour l'élimination du fluor et de l'arsenic).

Pour respecter les exigences communautaires en terme de sécurité sanitaire, les traitements susceptibles d'être appliqués pour l'élimination de certains paramètres doivent remplir les conditions suivantes :

- être justifiés au regard de la composition de l'eau ;
- ne pas modifier la composition des eaux minérales naturelles quant aux constituants essentiels qui leur confèrent leurs propriétés ;
- ne s'appliquer qu'à l'élimination de constituants naturellement présents dans l'eau et ne résultant pas d'une contamination de la source ;
- ne pas conduire à la formation de résidus de traitement pouvant présenter un risque pour la santé publique.

Au niveau national, l'article 5 de l'arrêté du 14 mars 2007 précise qu' « une eau minérale naturelle ne peut faire l'objet d'aucun traitement ou adjonction autres que ceux relatifs à :

1. la séparation des éléments instables, par décantation ou filtration, éventuellement précédée d'une oxygénation, ce traitement ne devant pas avoir pour effet de modifier la composition de l'eau dans ses constituants essentiels;
2. l'élimination de gaz carbonique libre par des procédés exclusivement physiques;
3. l'incorporation ou la réincorporation de gaz carbonique;
4. la séparation des composés du fer, du manganèse, du soufre et de l'arsenic, à l'aide d'air enrichi en ozone;
5. la séparation de constituants indésirables.

Ces traitements ou adjonctions ne doivent pas modifier la composition de l'eau minérale naturelle dans ses constituants essentiels ni avoir pour but de modifier les caractéristiques microbiologiques de l'eau ».

Il convient de noter qu'il s'agit d'une liste « positive » de traitements applicables aux eaux minérales naturelles pour l'élimination d'un élément particulier; ce n'est donc pas le traitement en soi qui est autorisé, mais l'élimination d'un élément particulier (le fer ou l'arsenic par exemple) à l'aide d'un traitement spécifié.

Cette approche est donc très différente de celle adoptée pour les eaux de distribution publique pour lesquelles tout traitement est possible à condition qu'il soit évalué et autorisé.

Au regard des contraintes et des exigences précédemment citées il ressort que tous les traitements utilisables pour les eaux destinées à la consommation humaine ne peuvent pas être appliqués aux eaux minérales naturelles et que doivent être écartés d'emblée ceux à base d'adjonction de réactifs chimiques rémanents ainsi que ceux qui ont un impact important sur la minéralisation de l'eau (traitements à base de coagulation/floculation à l'aide de réactifs chimiques et de techniques membranaires du type osmose inverse, nanofiltration, électrodialyse ou encore échange d'ions).

Le tableau B-1 de l'annexe I de l'arrêté du 14 mars 2007 fixe la liste des constituants indésirables qui font l'objet d'une limite de qualité (antimoine, arsenic, baryum, bore, cadmium, chrome, cuivre, cyanures, fluorures, plomb, manganèse, mercure, nickel, nitrates, nitrites et sélénium) et l'annexe II précise les limites maximales pour les résidus de traitement à l'aide d'air enrichi en ozone (ozone dissous, bromates, bromoformes).

Pour une meilleure lisibilité de ce chapitre, il a semblé préférable de décrire les traitements applicables aux eaux minérales naturelles en respectant l'ordre figurant dans l'article 5 de l'arrêté du 14 mars 2007.

II. Traitements et adjonctions actuellement autorisés

L'évaluation des procédés de traitement des eaux minérales naturelles est réalisée au niveau européen et comporte deux volets :

- l'évaluation de leur efficacité;
- l'évaluation de leur innocuité.

II.1 Séparation des éléments instables, par décantation ou filtration, éventuellement précédée d'une oxygénation

II.1.1 But

Il s'agit d'éliminer par aération suivie d'une décantation ou d'une filtration, éventuellement précédée d'un dégazage, des éléments instables tels que les composés du fer, du manganèse, de l'arsenic et des éléments volatils du soufre (H₂S) contenus dans une eau minérale naturelle.

Afin d'accélérer d'une part les phénomènes d'oxydation de certains éléments instables tels que le fer présent sous la forme Fe²⁺, le manganèse présent sous la forme Mn⁺², l'arsenic et, d'autre part, les phénomènes de précipitation des espèces oxydées sous la forme Fe³⁺ et/ou co-précipitation du manganèse et de l'arsenic, il faut augmenter le potentiel redox et le pH de l'eau qui doit être porté à une valeur supérieure à 7. Pour les eaux minérales naturellement gazeuses cette oxydation ne peut se faire qu'en éliminant au préalable (totalement ou partiellement) le dioxyde de carbone⁽²⁹⁾. L'oxydation est ensuite assurée, notamment pour le fer, par de l'air comprimé.

(29) Le dioxyde de carbone correspond au gaz carbonique.

Le traitement de déferrisation et de démantanisation d'une eau minérale naturelle gazeuse comporte quatre étapes successives :

- dégazage (éventuel) ;
- oxydation des sels ferreux et/ou manganéux avec un oxydant plus ou moins fort (en général de l'air comprimé ou parfois de l'air enrichi en ozone) ;
- séparation des particules insolubles par décantation-filtration ;
- regazéification éventuelle de l'eau.

II.1.2 Traitements par aération/oxygénation

L'oxydation est réalisée dans une colonne particulière, éventuellement garnie de pouzzolane, par de l'air comprimé stérile ou de l'oxygène. L'air est parfois enrichi d'ozone (cf. § II.4).

II.1.2.1 Effets

En présence d'air ou d'oxygène, le fer ferreux s'oxyde en fer ferrique et précipite si le pH est supérieur à 7. Pour le manganèse, le traitement peut se révéler inefficace si cet élément est seul présent ou encore présent à une concentration bien supérieure à celle du fer.

Par ailleurs, d'autres éléments à l'état de traces co-précipitent avec le fer ferrique : c'est le cas notamment de l'arsenic pentavalent qui réagit avec le fer pour former de l'arséniate ferrique co-précipitable par l'hydroxyde ferrique.

II.1.2.2 Risques indirects

Si ces traitements permettent, **sans additifs**, de déferriser, de démantaniser, d'éliminer l'arsenic et de nitrifier l'eau ils peuvent par contre être à l'origine :

- de post-proliférations bactériennes et d'une dénitrification de l'eau avec production de nitrites lors de la stagnation de l'eau consécutive, par exemple, à un arrêt temporaire de fonctionnement du filtre ;
- de la production de nitrites en cas de nitrification incomplète de l'eau lorsque la température est trop basse (< 6 °C) ou la teneur en oxygène dissous trop faible ;
- d'un départ du dioxyde de carbone présent dans l'eau minérale naturelle ;
- d'un déplacement de l'équilibre calco-carbonique avec précipitation du carbonate de calcium et, par suite, d'une modification de la minéralisation globale de l'eau ;
- de contaminations microbiologiques et chimiques de l'eau traitée, si l'air utilisé n'est pas préalablement filtré à 0,2 µm puis épuré par passage sur charbon actif pour éliminer les éventuels polluants organiques.

Pour pallier ces effets et obtenir une augmentation du potentiel redox sans avoir recours à une aération importante, on remplace souvent l'air par de l'oxygène.

II.1.3 Traitements par décantation ou filtration

La décantation s'effectue généralement dans des bassins en béton ou, exceptionnellement, en acier inoxydable, compartimentés et munis de chicanes pour favoriser la sédimentation des sels ferriques. Avant d'être dirigée vers les cuves de stockage, l'eau passe au travers de filtres à sable ou parfois de filtres à membranes pour éliminer les dernières particules en suspension.

II.1.3.1 Effets

Ces traitements permettent une bonne séparation des matières en suspension constituées principalement par les hydroxydes et les oxydes de fer et de manganèse.

À l'origine, ils n'avaient pour but que la rétention des particules formées par oxydation des éléments instables tels que $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{FeO}(\text{OH})$, MnO_2 , S_8 (soufre colloïdal) qui pouvaient précipiter dans les bouteilles mais l'on sait maintenant que les filtres sont également des réacteurs biologiques capables d'oxyder le manganèse (rôle des manganobactéries) et les ions ammonium lorsque le pH est de l'ordre ou supérieur à 7 (nitrification).

À noter qu'une filtration d'eau minérale naturelle dont le seuil de coupure est inférieur à 0,8 µm a un effet de rétention de la flore microbienne.

II.1.3.2 Risques indirects

En cas d'arrêt de la filtration et lorsque l'eau contient des nitrates, des nitrites sont susceptibles de se former et le problème du temps de rinçage des filtres avant le redémarrage des installations reste posé.

Après une désinfection des matériaux filtrants une maturation des filtres est nécessaire pour permettre une élimination efficace du manganèse et des ions ammonium.

Si des phénomènes biologiques sont mis en jeu et que le pH de l'eau n'est plus le pH initial, des modifications quantitative et qualitative de la flore microbienne sont possibles.

Ces traitements sont incontournables dans le cas des eaux minérales naturelles ; cependant ils sont complexes à maîtriser et les industriels doivent les optimiser et les adapter à chaque eau minérale naturelle.

II.2 Élimination du dioxyde de carbone libre par des procédés exclusivement physiques

L'élimination du dioxyde de carbone libre (point 2 de l'article 5 de l'arrêté du 14 mars 2007) est un traitement autorisé qui s'insère dans un traitement complet décrit aux points 1, 4 voire 5 de l'article 5 de l'arrêté précité.

Le dégazage s'effectue soit par le vide créé dans une tour d'extraction munie d'anneaux de Rachig qui augmentent les surfaces d'échange, soit par ruissellement sur des gradins inclinés dans une tour libérant le gaz en sur-saturation. Le taux d'extraction du CO₂ est maintenu en dessous du seuil critique de précipitation des carbonates.

Il peut s'agir aussi plus rarement d'une simple opération de dégazage destinée à commercialiser sous la dénomination d'eau minérale naturelle plate une eau à l'origine gazeuse.

II.3 Adjonction ou réincorporation de dioxyde de carbone

L'adjonction ou la réincorporation de dioxyde de carbone sont réalisées juste avant l'embouteillage.

Lorsqu'il s'agit d'adjonction, la qualité du dioxyde de carbone utilisé doit être conforme à la réglementation en vigueur.

Dans le cas de réincorporation, le gaz naturel recueilli lors de la première étape est ajouté à l'eau minérale naturelle dans le carbonateur placé juste avant le groupe de soutirage quand il n'y est pas directement incorporé. Cette opération permet de restituer (voire d'augmenter) la teneur initiale en CO₂ de l'eau minérale naturelle. Lorsque le taux de CO₂ ajouté est nettement supérieur à celui de l'eau à l'émergence, les eaux sont commercialisées sous la dénomination d'eau minérale naturelle renforcée au gaz de la source.

Par ailleurs, l'incorporation de dioxyde de carbone naturel ne provenant pas de la nappe ou du gisement permet la gazéification d'eaux plates et le carbonateur utilisé pour dissoudre dans l'eau des quantités plus ou moins importantes de dioxyde de carbone naturel ou de synthèse est en général identique à celui décrit précédemment.

L'eau ainsi gazéifiée est commercialisée sous l'appellation d'« eau minérale naturelle avec adjonction de gaz carbonique ».

II.4 Séparation des composés du fer, du manganèse, du soufre et de l'arsenic, à l'aide d'air enrichi en ozone

II.4.1 Principe

L'ozone est un oxydant très puissant qui est autorisé pour l'élimination des composés du fer, du manganèse, du soufre et de l'arsenic. Employé en mélange avec de l'air, il permet d'oxyder les sels ferreux et manganéux en sels ferriques et manganiques.

Ce type de traitement est inopérant lorsqu'il est appliqué à des eaux riches en arsenic et dépourvues de fer et/ou de manganèse.

Sur le plan pratique, les quatre étapes et les installations correspondantes sont identiques à celles utilisées pour l'élimination des éléments instables, l'air étant remplacé par l'ozone.

II.4.2 Risques indirects

II.4.2.1 Liés à la quantité d'ozone employée

Lorsque la quantité d'ozone ajoutée est légèrement inférieure à la stœchiométrie, le manganèse non oxydé directement peut, par adsorption sur le MnO_2 formé, être oxydé par voie catalytique.

Par contre, si la quantité d'ozone est supérieure à la stœchiométrie et qu'il subsiste un résiduel d'ozone dans l'eau, il peut y avoir formation de sous-produits dangereux, voire cancérigènes et notamment :

- de bromates par oxydation des bromures présents dans l'eau ;
- d'iodates par oxydation des iodures présents dans l'eau.

II.4.2.2 Autres

L'action de l'ozone sur les eaux minérales naturelles peut également :

- désinfecter l'eau bien que ce ne soit pas le but recherché puisque les traitements de désinfection ne sont pas autorisés pour les eaux minérales naturelles ;
- rendre difficile, en raison des conditions de fonctionnement d'un ozoneur, le respect de la limite réglementaire de 50 $\mu\text{g/L}$ d'ozone résiduel à l'embouteillage ;
- n'être efficace pour l'élimination de l'arsenic que si l'eau contient du fer et/ou du manganèse avec les sels duquel cet élément précipite et rendre donc difficile le respect de la valeur réglementaire de 10 $\mu\text{g/L}$ fixée pour cet élément ;
- être à l'origine de la formation de sous-produits inconnus et non encore décelables par les méthodes analytiques classiques si l'eau est riche en matières organiques.

En raison de certains de ces risques, des limites maximum de concentration dans les eaux minérales naturelles ont été fixées pour l'ozone résiduel à 50 $\mu\text{g/L}$, pour les bromates à 3 $\mu\text{g/L}$ et pour le bromoforme à 1 $\mu\text{g/L}$ mais, à ce jour, aucune valeur n'a été fixée pour les iodates qui peuvent se former lors de cette oxydation.

Il ressort donc de ce qui précède que l'emploi de l'ozone pour réduire, voire éliminer certains éléments indésirables contenus naturellement dans l'eau, présente plus d'inconvénients que d'avantages.

II.5 Séparation des éléments indésirables

Les textes réglementaires introduisent la possibilité d'éliminer des éléments indésirables sans toutefois en donner une liste. Les nouveaux éléments qui seraient susceptibles de faire l'objet d'un traitement d'élimination sont fixés par la Commission européenne et le couple élément-traitement doit faire l'objet d'une évaluation au niveau communautaire par l'autorité européenne de sécurité des aliments (Aesa).

II.5.1 Nature des traitements par adsorption sélective

Couramment utilisés pour les eaux de distribution publique, ces traitements mettent en œuvre des médias-filtrants à base d'oxyde de manganèse, d'oxyhydroxyde de fer ou d'alumine activée pour éliminer l'arsenic, le fluor, le sélénium, l'antimoine, le nickel, l'uranium et le radium. Ils sont actuellement en cours d'évaluation au niveau européen et, pour l'alumine activée, l'Aesa vient de se prononcer favorablement.

Pour plus de précisions sur leur nature et sur leur efficacité on pourra utilement consulter :

- la revue bibliographique qui est jointe à l'avis de l'Afssa du 17 mars 2005 intitulé « Évaluation de l'utilisation des sables recouverts d'oxydes métalliques pour le traitement des eaux destinées à la consommation humaine et des eaux minérales naturelles : les matériaux de filtration recouverts d'oxydes métalliques » (saisine n° 2004-SA-0236) ;
- le rapport joint à l'avis de l'Afssa du 17 mars 2005 intitulé « Évaluation des traitements d'élimination de certains éléments minéraux présents dans les eaux minérales naturelles et les eaux des sources » portant sur l'innocuité et sur l'efficacité de tels traitements au regard des contraintes particulières relatives aux eaux minérales naturelles (saisine n° 2005-SA-0005).

Les conditions d'emploi des traitements par adsorption-filtration sur sables recouverts d'oxydes métalliques pour les eaux destinées à la consommation humaine ont fait l'objet d'un avis et d'un rapport de l'Afssa le 25 avril 2005 (saisine n° 2004-SA-0236).

Rappelons à propos des traitements utilisant l'alumine activée, l'apatite, les sables à base de MnO_2 ou les sables recouverts d'oxyde métallique (MnO_2):

- qu'ils font non seulement appel à un phénomène de filtration mais également à une adsorption sélective de certains composés solubles dans l'eau;
- que les médias filtrants utilisés doivent, dans la majorité des cas, faire l'objet d'une régénération mettant en œuvre des réactifs acides ou basiques pour éliminer les espèces adsorbées ou faisant appel à une oxydation pour la redéposition des oxydes et hydroxydes, ce qui nécessite le traitement des régénérats conformément aux règles de protection de l'environnement;
- qu'ils ne sont pas encore autorisés pour le traitement des eaux minérales naturelles sauf pour l'élimination de l'arsenic qui bénéficie à titre temporaire d'une autorisation.

II.5.2 Médias filtrants autorisés

II.5.2.1 Nature

- **Alumine activée de synthèse**: elle permet de retenir les ions « fluorures », l'arsenic V, le zinc, le sélénium, l'antimoine, les ions phosphates, les acides humiques et fulviques et, dans une moindre mesure, l'acide silicique (silice). L'Aesa s'est prononcée favorablement pour leur utilisation dans le cadre des eaux minérales naturelles.
- **Akaganéite ou $\beta \text{Fe}(\text{OH},\text{Cl})$ de synthèse**: ce matériau a une capacité élevée d'adsorption sélective vis-à-vis de l'arsenic, du sélénium, de l'antimoine, de l'uranium, du radium et du nickel et ne nécessite pas de régénération puisqu'il doit être remplacé lorsqu'il est saturé.
- **Sable d'oxyde de manganèse naturel ou de synthèse**: il permet la fixation de l'arsenic, du sélénium, de l'antimoine, de l'uranium, du radium et du nickel mais les sites d'adsorption sont moins importants que pour l'akaganéite.
- **Apatite de synthèse $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$** : elle présente trois sites d'échange: OH^- pour Cl^- , Br^- , F^- , I^- , PO_4^{3-} pour l'arsenic, l'antimoine et Ca pour le nickel, le baryum et le plomb. Ce matériau a cependant une certaine solubilité dans l'eau qui limite ses usages.
- **Sables ou autres médias recouverts d'oxydes ou d'hydroxydes métalliques.**

Il convient de souligner que la mise en œuvre de tous ces supports nécessite l'application d'une opération finale de filtration, dite de polissage, sur filtre à sable ou sur membrane. L'évaluation de l'innocuité et de l'efficacité de ces traitements intègre cette opération.

Des normes françaises (issues de normes européennes) concernant ces médias existent et sont classées en deux catégories :

- la première concerne les définitions (NF EN 12901) ainsi que les méthodes d'essais de mesure de la migration des supports – « leaching test » (NF EN 12902);
- la seconde catégorie est spécifique aux différentes catégories de médias :
 - le dioxyde de manganèse (NF EN 13752),
 - le carbonate de calcium recouvert de dioxyde de manganèse (NF EN 14368),
 - l'alumine activée en grains revêtue de fer (NF EN 14369),
 - l'oxyde hydroxyde de fer (NF EN 15029),
 - le sable vert manganisé (NF EN 12911).

Ces normes fixent de nombreuses spécifications physiques notamment en termes de masse volumique, de granulométrie, de composition chimique, de perte au feu, d'origine de fabrication, etc. Certaines d'entre elles (NF EN 15029 et NF EN 12911) fixent des critères de pureté (teneurs limites en métaux lourds à ne pas dépasser), les autres - plus anciennes - n'en fixent pas mais attirent l'attention des utilisateurs sur le problème du relargage des impuretés contenues dans les supports.

II.5.2.2 Avantages de ces traitements

Non seulement ils permettent de s'affranchir dans certains cas des inconvénients liés à l'emploi de l'ozone mais de plus, ils présentent les avantages suivants :

- séparation des différents éléments indésirables (manganèse, fer, etc.) grâce à la capacité oxydante très sélective du média filtrant ;
- absence de formation de résidus (appelés sous-produits) ;
- pas d'ajout de produits chimiques ;
- diminution de la charge bactérienne sans qu'une efficacité comparable à une étape de désinfection puisse être revendiquée ;
- modifications négligeables, voire nulles, des concentrations en éléments minéraux caractéristiques (calcium, magnésium, potassium, sodium, chlorures, sulfates, hydrogénocarbonates) ;
- dépendance beaucoup moins forte du pH de l'eau à traiter qui permet notamment pour l'élimination du fer et/ou du manganèse d'éviter le dégazage de l'eau pour retirer le dioxyde de carbone en excès.

II.5.2.3 Inconvénients de ces traitements

Outre le fait que l'utilisation de certains médias filtrants, notamment ceux recouverts de dioxyde de manganèse, nécessite en général une régénération des sites par une base forte suivie d'une neutralisation par de l'acide chlorhydrique puis de rinçages appropriés, l'application de ce type de traitement peut :

- favoriser des développements bactériens et la formation de biofilms car les supports se comportent comme des réacteurs biologiques ;
- entraîner, si l'eau contient des ions ammonium, la formation de nitrates et/ou de nitrites lorsque le pH est voisin de 7 ;
- favoriser l'adsorption de certains ions métalliques présents à l'état de traces (co-élimination).

Ces médias filtrants sont des traitements très utiles dans le cas des eaux minérales naturelles ; cependant, comme pour les traitements de séparation, ils sont difficiles à maîtriser et les industriels doivent les optimiser et les adapter à chaque eau minérale naturelle.

II.5.2.4 Traitements en cours d'évaluation par l'Aesa

Un groupe d'experts de la Commission européenne a produit un premier rapport⁽³⁰⁾ concernant l'évaluation du traitement du fluor par alumine activée. Ce rapport a été soumis pour avis à l'Aesa qui a donné un avis favorable le 27 septembre 2006 à la sécurité de l'utilisation d'alumine activée pour l'élimination du fluorure dans les eaux minérales naturelles. Il a été publié dans « The Efsa journal » (2006).

Une seconde demande pour le traitement du manganèse, du fer et de l'arsenic sur média filtrant à base d'oxyhydroxyde de fer ou de manganèse est en cours d'évaluation par l'Aesa.

II.6 Séparation de particules solides à l'aide de filtres

Les installations d'embouteillage comportent toutes des filtres destinés à protéger les organes sensibles comme les pompes, les électrovannes ou encore les becs des soutireuses des fines particules provenant soit du captage (argile par exemple), soit d'un traitement de déferrisation (hydroxyde de fer ou de manganèse).

Ces filtres sont fréquemment des filtres à sable (dits de quartz) mais parfois des filtres à cartouche poreuse (porcelaine) ou encore à membranes. Dans ce dernier cas, il peut aussi s'agir d'une filtration tangentielle. L'utilisation de tels filtres à membranes pose un problème puisque suivant le seuil de coupure ils peuvent avoir un effet de désinfection de l'eau ce qui n'est pas autorisé pour les eaux minérales naturelles.

(30) 30 march 2006 : "Report of the ad hoc working group on the technological assessment of natural mineral water treatments on the evaluation of treatment by aluminium oxide for the removal of fluoride from natural mineral waters and spring waters".

Interrogé sur ce cas, l'Afssa avait estimé - dans un avis du 29 novembre 2001 - que le dispositif de filtration tangentielle ayant un seuil de coupure de 0,8 µm pouvait être utilisé pour le traitement d'eau de source ou d'eau minérale naturelle avec l'objectif de retenir des particules présentes naturellement dans l'eau au captage ou celles résultant d'un traitement d'oxydation du fer ou du manganèse dissous, mais qu'il ne devait pas être utilisé pour rendre les caractéristiques microbiologiques des eaux conformes aux dispositions réglementaires.

En cas d'installation d'un tel dispositif dans une usine de conditionnement d'eau minérale naturelle, l'Afssa avait donc demandé qu'un suivi de la qualité microbiologique de l'eau soit non seulement effectué au captage mais également avant et après la filtration afin de vérifier qu'il n'y avait pas désinfection de l'eau (avis du 29 novembre 2001).

II.7 Limites des traitements autorisés pour les eaux minérales naturelles

Si, au regard des exigences réglementaires figurant au I de ce chapitre (rapport et avis de l'Afssa du 17 mars 2005), on examine l'efficacité des traitements classiques d'élimination de certains paramètres pour l'eau destinée à la consommation humaine, on observe que pour l'élimination :

- du **baryum** et des **nitrate**s, il n'existe pas de traitement respectant les conditions requises pour les eaux minérales naturelles. Il faut signaler que le *Codex alimentarius* doit discuter de la limite applicable au baryum courant 2008 ;
- du **bore**, il n'y a pas de méthode permettant sa précipitation au pH des eaux minérales naturelles. Pour y parvenir, il faudrait utiliser des matériaux de synthèse spécialement conçus à cet effet mais aucune évaluation des critères permettant de juger de la réduction de sa teneur au regard des contraintes applicables aux eaux minérales naturelles n'a été faite ;
- de l'**arsenic** par co-précipitation avec le fer après oxydation préalable, le traitement n'est efficace que pour des eaux très riches en fer (> 0,5 mg/L) et l'obtention en tout temps d'une teneur en arsenic inférieure à 10 µg/L n'est pas assurée. Pour y parvenir, il faudrait mettre en œuvre une filtration sur support en dioxyde de manganèse ou en oxyhydroxyde de fer ou sur sable recouvert d'oxyde de manganèse ou d'oxyhydroxyde de fer.

Tableau 1: Traitements susceptibles d'être utilisés pour les eaux minérales naturelles

Paramètre de la directive 2003/40/CE	Nature des traitements	Origines	Sous-produits susceptibles de se former
Antimoine	Adsorption sélective sur oxyhydroxyde ferrique, dioxyde de manganèse ou alumine activée	Origine naturelle	(1)
Arsenic	Adsorption sélective sur différents supports : oxyhydroxyde ferrique, dioxyde de manganèse ou alumine activée	Origine naturelle	(1)
	Co-précipitation possible en cas de traitement du fer et du manganèse (avec oxydation préalable à l'oxygène ou à l'ozone)		Produits néo-formés bromates, iodates
Baryum	Aucun	Origine naturelle	
Bore	Aucun	Origine naturelle	
Cadmium	Adsorption sélective sur différents supports : oxyhydroxyde ferrique, dioxyde de manganèse ou alumine activée	Pollution de la ressource et origine naturelle	(1)
Chrome hexavalent	Adsorption sélective sur différents supports : oxyhydroxyde ferrique, dioxyde de manganèse	Pollution de la ressource	(1)
Cyanures totaux	Charbon actif puis biodégradation	Pollution de la ressource	(1)
	Oxydation chimique (ozone)		Bromates, iodates
Fluorures	Adsorption sur alumine activée ou sur apatite.	Origine naturelle	(1)
Manganèse	Adsorption sélective sur différents supports : oxyhydroxyde ferrique, dioxyde de manganèse.	Origine naturelle	(1)
	Ozonation et coprécipitation en présence de fer. Démanganisation biologique		Produits néo-formés bromates, iodates (1)
Mercure total	Adsorption sur charbon actif	Pollution de la ressource ou origine naturelle	(1)
Nickel	Adsorption sélective sur différents supports : oxyhydroxyde ferrique, dioxyde de manganèse	Origine naturelle	(1)
Nitrates	Aucun	Pollution de la ressource	
Plomb	Adsorption sélective sur différents supports : oxyhydroxyde ferrique, dioxyde de manganèse ou apatite	Pollution de la ressource	(1)
Sélénium	Adsorption sélective sur différents supports : oxyhydroxyde ferrique, dioxyde de manganèse ou alumine activée	Origine naturelle	(1)

(1) Au moment de la filtration, et quel que soit le support utilisé, si le pH est supérieur à 7, les ions ammonium peuvent être oxydés en nitrites et/ou en nitrates.

II.8 Conclusion sur les traitements

Les procédés de traitement des eaux minérales naturelles cités ci-dessus sont autorisés au niveau européen. Pour une mise en œuvre optimale de ces procédés, il conviendrait que la profession s'attache à la rédaction de guides techniques.

Cinquième partie : conditions d'exploitation des eaux minérales naturelles

Textes de référence

Règlement CE n° 852/2004 du Parlement européen et du Conseil du 29 avril 2004 relatif à l'hygiène des produits alimentaires.

Règlement CE n° 882/2004 du Parlement européen et du Conseil du 29 avril 2004 relatif aux contrôles officiels effectués pour s'assurer de la conformité avec la législation sur les aliments pour animaux et les denrées alimentaires et avec les dispositions relatives à la santé animale et au bien-être des animaux.

Règlement CE n° 1935/2004 du Parlement européen et du Conseil du 27 octobre 2004 concernant les matériaux et objets destinés à entrer en contact avec les denrées alimentaires et abrogeant les directives 80/590/CEE et 89/109/CEE.

Directive 80/777/CEE du 15 juillet 1980 (annexe II).

Articles R. 1322-28 à R. 1322-38 du code de la santé publique.

Les obligations respectives des industriels et des autorités de contrôle sont clairement définies en application des règlements CE n° 852/2004 et CE 882/2004 relatifs aux industries agroalimentaires. C'est pourquoi la réglementation des eaux minérales naturelles (articles R. 1322-28 à R. 1322-38 du code de la santé publique) ne donne pas d'obligation de moyens mais une obligation de résultats pour tout ce qui concourt à l'exploitation des eaux minérales naturelles indépendamment de dispositions spécifiques figurant dans les directives relatives aux eaux minérales naturelles et celles relatives aux matériaux de conditionnement (règlement CE n° 1935/2004).

Si la responsabilité des industriels dans les choix techniques demeure une prérogative majeure, il peut arriver que certaines phases d'exploitation, spécifiques aux eaux minérales naturelles, méritent un développement ou des commentaires particuliers.

Ce seront en particulier les phases visant à mélanger et à transporter l'eau par canalisation sous quelque forme que ce soit, à la stocker dans des conditions sanitaires satisfaisantes et à la conditionner dans des récipients.

L'objet de ce chapitre n'est pas de se substituer aux responsabilités des exploitants en déroulant dans le détail la démarche HACCP (Hazard Analysis Critical Control Points = Analyse des dangers et des points critiques pour leur maîtrise), en identifiant dans le détail les dangers et les risques encourus mais d'attirer l'attention sur des points critiques généraux en terme de santé publique.

Parmi ceux-ci figurent la qualité des matériaux et la croissance de biofilms qui en résulte.

I. Mélange

Une eau minérale naturelle provient « d'une nappe ou d'un gisement souterrain exploité à partir d'une ou plusieurs émergences naturelles ou forées constituant la source » (article R. 1322-2 du code de la santé publique).

La notion de mélange dérive donc de la définition d'une source d'eau minérale naturelle qui peut être constituée d'une ou plusieurs émergences.

Le recours à un mélange d'eaux provenant de plusieurs émergences s'explique à la fois par les conditions d'exploitation des différents captages et par les besoins en eau. Dans le cas d'une augmentation des besoins en eau, le débit maximum autorisé pour une seule émergence peut devenir insuffisant et la possibilité de mélanger l'eau de plusieurs émergences peut donc permettre d'augmenter la ressource disponible. Dans le cas d'une source constituée de plusieurs émergences et pour éviter les risques sanitaires liés à la surexploitation d'une émergence, il est recommandé de répartir la charge hydraulique sur un nombre suffisant de captages. En effet, la préservation du fonctionnement hydrogéologique de la ressource est nécessaire au maintien d'une stabilité de la qualité de l'eau.

Toutefois il convient de noter qu'en cas de mélange, les eaux issues d'un même gisement doivent séparément respecter tous les critères d'une eau minérale naturelle.

Dans tous les cas, toutes les eaux des captages entrant dans un mélange doivent :

- répondre aux dispositions générales applicables aux eaux minérales naturelles et, en particulier, celles relatives à la stabilité des caractéristiques essentielles ;
- avoir la même origine géologique et appartenir à un même gisement ;
- avoir le même profil physico-chimique.

Les conditions dans lesquelles les eaux de plusieurs captages peuvent être mélangées sont les suivantes :

- mélange en toute proportion si les eaux entrant en jeu ont une composition physico-chimique identique et stable ;
- mélange dans des proportions définies lorsque les eaux ont des profils physico-chimiques identiques mais à des niveaux de concentration différents. En effet, en aucun cas, la stabilité ne doit être artificiellement maintenue par asservissement des débits à la mesure de la conductivité, ce qui pourrait masquer l'instabilité de la composition de l'eau d'un ou de plusieurs captage(s).

Le mélange est caractérisé par sa composition et devra témoigner de la stabilité de ses caractéristiques essentielles.

Quelle que soit la méthode utilisée pour réaliser le mélange, on doit éliminer du mélange toute source qui ne répondrait plus aux critères applicables aux eaux minérales naturelles (instabilité à l'émergence, contamination microbiologique ou physico-chimique).

En conclusion, si le mélange peut permettre d'éviter des risques sanitaires liés à une surexploitation d'un nombre restreint de captages, il faut par contre s'assurer de la qualité de l'eau produite sur chacun d'eux.

II. Équipements d'exploitation

II.1 Réglementation

Le transport et le stockage de l'eau avant conditionnement ne doivent pas modifier la qualité de l'eau au niveau des éléments majeurs ou des éléments à l'état de traces minérales et des substances organiques.

L'article R. 1322-31 du code de la santé publique précise que « *Les matériaux en contact avec l'eau minérale naturelle doivent être compatibles avec sa composition de manière à empêcher toute altération chimique, physico-chimique, microbiologique et organoleptique de la qualité de l'eau telle qu'elle se présente à l'émergence* ».

Tous les matériaux utilisés doivent être conformes à la réglementation applicable aux eaux destinées à la consommation humaine et disposer de la preuve de cette conformité.

Toutefois les caractéristiques particulières de certaines de ces eaux (eau chaude, riche en CO₂, etc.) ne sont pas prises en compte dans l'évaluation des matériaux vis-à-vis de leur conformité au contact de l'eau destinée à la consommation humaine et l'exploitant doit donc s'assurer que la qualité de l'eau minérale naturelle ne se trouve pas altérée (avis de l'Afssa du 9 février 2006).

Sont concernés en particulier les canalisations ou ouvrages de stockage à base de métaux ou bétons et ciments ainsi que les canalisations, ouvrages de stockage ou revêtements constitués de composés organiques.

II.2 Matériaux utilisés

Les canalisations sont généralement en acier inoxydable ou en matériau organique (PVC ou plus rarement polyéthylène ou polyester renforcé). Ce choix s'est imposé aux concepteurs en raison de la bonne résistance à la corrosion des aciers alliés et de l'inertie des matériaux organiques. Toutefois, on rencontre encore des ouvrages en acier ou en fonte éventuellement revêtus de résine organique ou plus rarement de mortier de ciment.

Les réservoirs de stockage sont en acier inoxydable, en acier ordinaire revêtu intérieurement ou encore en matériau à base de ciment (béton ou mortier de ciment). Dans ces ouvrages, l'eau est mise en contact avec l'atmosphère et peut ainsi échanger avec l'air extérieur des gaz et en particulier de l'oxygène, du gaz carbonique ou encore de l'hydrogène sulfuré.

II.3 Altération des matériaux

Concernant les **matériaux métalliques ou en béton et ciment**, il est impératif que ceux-ci ne soient ni corrodés, ni dissous par l'acidité de l'eau.

Il est à signaler que les matériaux à base de ciment peuvent modifier les caractéristiques de l'eau transportée, notamment lorsque l'agressivité calco-carbonique de celle-ci est importante (cas des eaux très riches en CO₂ ou des eaux très peu minéralisées).

Concernant les matériaux à base de composés organiques, deux risques sont à prendre en considération :

- d'une part, le relargage dans l'eau de substances organiques qui concerne tous les matériaux, (canalisations, réservoirs entièrement constitués de composés organiques, revêtements déposés bien souvent sur des métaux ou sur des matériaux à base de ciment) ;
- d'autre part, pour les canalisations ou réservoirs entièrement constitués de composés organiques, la migration de composés organiques de l'extérieur vers l'intérieur de l'ouvrage (par exemple des polluants du sol).

Concernant la perméation de certains composés de l'extérieur de la canalisation ou du réservoir vers l'intérieur, comme pour l'eau destinée à la consommation humaine, des règles de prévention devront être explicitées afin d'éviter que des composés ou des vapeurs puissent contaminer l'eau : solvants chlorés, hydrocarbures aromatiques, parfums ou arômes pouvant être utilisés pour la préparation de boissons ou le nettoyage des locaux, etc.

Les canalisations en fer noir non revêtues ne sont pas autorisées.

L'utilisation de certains matériaux pour les canalisations, la robinetterie ou les accessoires peut présenter un risque comme indiqué dans le tableau suivant.

Tableau 2 : Risques encourus liés à l'utilisation de certains matériaux en fonction des caractéristiques des eaux minérales naturelles

	Matériau utilisé	Risques	Caractéristiques de l'eau
Canalisations	Acier recouvert de zinc (acier galvanisé)	Corrosion et libération de zinc, de fer et des impuretés du zinc (plomb et cadmium)	Suivant la minéralisation de l'eau, son acidité, son potentiel d'oxydoréduction
	Cuivre	Libération de cuivre	
	Acier inoxydable types 316 ou 304	Libération de nickel	Pour des eaux très minéralisées notamment chlorurée
Accessoires	Alliage cuivreux (laiton, bronze)	Libération de cuivre, de zinc et de plomb	
Robinetterie	Alliage cuivreux chromé	Libération de nickel (utilisé comme couche d'accrochage du chrome)	

Les phénomènes de corrosion peuvent être accélérés par une température de l'eau élevée, en particulier lorsque les eaux sont fortement minéralisées ou lorsqu'elles présentent de fortes concentrations en hydrogène sulfuré.

Il convient également de noter que :

- des dépôts calciques importants peuvent se former dans les conduites ou dans les réservoirs dans le cas d'eaux profondes fortement minéralisées (bicarbonatées calciques) contenant des concentrations de gaz dissous importantes (azote, méthane, gaz carbonique, etc.);
- des dépôts ferriques peuvent apparaître lorsque l'eau transportée contient du fer ferreux par suite de l'oxydation du fer ferreux par l'oxygène de l'air et être le siège de développements biologiques pouvant être pathogènes ou à l'origine d'une production d'hydrogène sulfuré due à l'action de bactéries sulfato-réductrices ;
- des percements peuvent être observés pour les réseaux en acier inoxydable de type 304 qui font l'objet d'une désinfection par l'hypochlorite de sodium avant leur mise en service, après travaux, ou après arrêts prolongés de l'exploitation ou après contamination.

Une étude préalable au cas par cas est donc nécessaire afin de choisir et d'adapter les matériaux des canalisations et ouvrages de stockage aux caractéristiques de l'eau minérale naturelle transportée ou stockée notamment en fonction de :

- sa qualité physico-chimique (minéralisation, agressivité, etc.);
- sa température, qui est généralement plus élevée que celles rencontrées dans les eaux de distribution. À noter, à ce sujet, que les canalisations internes sont installées dans l'usine d'embouteillage où règne une température relativement élevée (20 °C) qui élève celle de l'eau du captage.

II.4 Produits de nettoyage et de désinfection des ouvrages

Concernant les produits de nettoyage et de désinfection des ouvrages, il est indispensable que ceux-ci soient conformes à la réglementation en vigueur pour les eaux destinées à la consommation humaine (arrêté du 8 septembre 1999⁽³¹⁾ et circulaire du 7 juillet 1997⁽³²⁾). De plus ces produits doivent répondre aux exigences de la directive 98/8/CE du 16 février 1998 concernant la mise sur le marché des produits biocides. Les substances actives doivent être notifiées et un dossier doit avoir été déposé et être en cours d'examen auprès du pays membre rapporteur conformément au règlement 1048/2005 du 13 juin 2005⁽³³⁾.

III. Matériaux de conditionnement et procédés d'embouteillage

III.1 Matériaux de conditionnement

L'autorisation préalable d'emploi des matériaux de conditionnement des eaux minérales naturelles a été abrogée le 1^{er} janvier 2005 pour s'aligner sur les dispositions communautaires relatives aux emballages alimentaires. La qualité des emballages relève de la responsabilité de l'industriel qui, sur demande des Autorités sanitaires, doit apporter la preuve de la conformité des matériaux aux dispositions communautaires.

Que ce soit pour les matériaux des bouteilles ou pour ceux du bouchage (bouchons, joints), les matériaux employés pour le conditionnement de l'eau minérale naturelle « *sont traités ou fabriqués et utilisés de manière à éviter que les caractéristiques chimiques, microbiologiques et organoleptiques de l'eau ne s'en trouvent altérées* » ainsi que le précise l'article R. 1322-36 du code de la santé publique.

Cela signifie que les matériaux de conditionnement en matière plastique doivent être conformes à l'arrêté du 2 janvier 2003 modifié relatif aux matériaux et objets en matière plastique mis ou destinés à être mis au contact des denrées, produits et boissons alimentaires.

(31) Arrêté du 8 septembre 1999 pris pour l'application de l'article 11 du décret n°73-138 du 12 février 1973 modifié portant application de la loi du 1^{er} août 1905 sur les fraudes et falsifications en ce qui concerne les procédés et les produits utilisés pour le nettoyage des matériaux et objets destinés à entrer en contact avec des denrées, produits et boissons pour l'alimentation de l'homme et des animaux.

(32) Circulaire DGS/VS4/97 n°482 du 7 juillet 1997 relative à l'emploi de produits pour le nettoyage des réservoirs d'eau destinée à la consommation humaine.

(33) Règlement (CE) N° 1048/2005 de la commission du 13 juin 2005 modifiant le règlement (CE) n° 2032/2003 concernant la seconde phase du programme de travail de dix ans visé à l'article 16, paragraphe 2, de la directive 98/8/CE du Parlement européen et du Conseil concernant la mise sur le marché des produits biocides.

Ces dispositions concernent :

- d'une part, les substances de départ figurant sur les listes positives de matériaux au contact alimentaire ;
- d'autre part, le contrôle de la migration globale et des migrations spécifiques.

En pratique, l'industriel choisit auprès de son (ses) fournisseur(s) de matériau(x) celui qui respecte les dispositions précitées, à charge pour lui de produire les certificats de conformité ainsi que, le cas échéant, les essais de vérification des limites de migration globales et spécifiques.

Dans la plupart des cas, les emballages sont fabriqués en poly(éthylène téréphtalate) (PET) selon un procédé en 2 phases :

- injection des préformes à haute température (environ 265 °C) à partir des granulés de PET ; à partir de cette température, le polyester commence à se dégrader pour former de l'acétaldéhyde ;
- soufflage des préformes à une température de l'ordre de 110 °C pour obtenir une bouteille cristallisée.

L'opération d'injection des préformes doit être réalisée à une température supérieure à la température de fusion du PET (265 °C) mais suffisamment basse pour éviter ou du moins limiter sa dégradation en acétaldéhyde. Les conséquences de cette dégradation thermique sont de deux ordres : l'apparition d'acétaldéhyde sur les parois de la bouteille puis sa migration dans l'eau avec le risque – au-delà de 20 µg/L – d'altérer les propriétés organoleptiques de l'eau en lui donnant un goût de pomme et d'affaiblir les caractéristiques mécaniques de la bouteille (déformation, abaissement de la résistance à la pression).

L'injection des préformes à l'aide de presses d'injection peut se faire dans l'usine de conditionnement où à l'extérieur de celle-ci. Les préformes sont soufflées dans des machines placées au plus près des groupes d'embouteillage et à une température qui les stérilise, puis stockées dans des containers, à l'abri des poussières.

Il n'y a donc aucun risque de contamination des bouteilles vides à ce niveau en dehors de l'opération de convoyage jusqu'aux groupes qui se fait à l'aide de convoyeurs pneumatiques. L'apparition du PET à la place du Polychlorure de vinyle (PVC) a entraîné la suppression des silos de stockage de bouteilles vides nécessaires à leur dégazage.

En ce qui concerne les bouchons qui sont utilisés directement, le seul risque réside dans l'approvisionnement manuel des groupes d'embouteillage.

Il arrive que dans certaines petites usines d'embouteillage, les bouteilles soient directement achetées et livrées prêtes à l'emploi. Il n'y a aucune objection de principe à cette pratique, l'industriel devant l'intégrer dans son analyse de risque.

III.2 Utilisation de poly(éthylène téréphtalate) [pet] recyclé

Jusqu'à présent, les emballages alimentaires et en particulier ceux des eaux devaient être fabriqués en matériau vierge. Pour répondre à des impératifs environnementaux, le recyclage des matériaux d'emballage et en particulier du PET des bouteilles d'eau est devenu de plus en plus pressant et l'Afssa a étudié dans quelles conditions sanitaires l'emploi de PET recyclé pouvait être envisagé notamment pour le conditionnement de l'eau.

Les études réalisées sur des milliers de bouteilles en PET collectées dans différents pays ont montré un taux de contamination maximum de 20 mg/kg de PET en majorité dû à des arômes alimentaires. Dans son avis du 27 novembre 2006 l'Afssa a considéré que les procédés de recyclage avec un taux de décontamination de 99 % abaissaient ce taux à 0,2 mg/kg, c'est-à-dire en deçà des concentrations maximales tolérables et a estimé que l'emploi de matériaux en PET recyclé destinés ou mis au contact des eaux de boisson ne présentait pas de risque sanitaire pour le consommateur dès lors que le procédé de recyclage :

- avait fait l'objet d'une évaluation depuis la collecte de PET usagé jusqu'à la production de PET recyclé ;
- apportait la garantie de son aptitude à éliminer les contaminants potentiels notamment en satisfaisant aux critères de décontamination ;
- était conforme aux recommandations sur le suivi de production.

III.3 Réutilisation d'emballages en matériaux organiques

Les méthodes de traitement des emballages en verre réutilisés (lavage à chaud dans une solution de soude suivi d'un rinçage pour éliminer les traces d'impuretés) ne peuvent s'appliquer pour la réutilisation des emballages en matériaux organiques.

Sur un plan général, les polymères organiques peuvent adsorber les traces de composés organiques qui ont pu être ajoutés dans la bouteille. Il s'agit le plus souvent de gazole, de pesticides ménagers, d'essence ou de détergents. Selon la constitution du polymère, ces composés peuvent plus ou moins migrer dans les mailles du polymère pour le « gonfler ». Il y a ce qu'on appelle un effet « mémoire ».

Les opérations de nettoyage avec un détergent puis de désinfection avec de l'eau ozonée ne peuvent pas toujours éliminer les dernières traces de ces substances qui peuvent alors migrer lentement dans l'eau au cours de la commercialisation.

Des essais grandeur nature réalisés dans quelques pays de l'Union européenne ont montré très rapidement que malgré la mise en œuvre d'appareils « renifleurs » censés analyser automatiquement, par chromatographie en phase gazeuse et détection par spectrométrie de masse (GC-MS), l'air des bouteilles avant remplissage, il subsistait toujours des bouteilles présentant un goût ou une odeur inacceptable. Pour cette raison, les bouteilles en plastique lavées ont été réservées au conditionnement de boissons aromatisées.

Il est évident que le producteur d'eau ne peut avoir la maîtrise des bouteilles d'eau vides en milieu domestique.

En ce qui concerne les bonbonnes de 19 litres qui sont dans leur quasi-totalité utilisées dans des collectivités, le risque de remplissage de bonbonnes vides par des produits domestiques n'existe pratiquement pas. Ces bonbonnes qui sont dans leur grande majorité fabriquées en polycarbonate, produit beaucoup plus résistant aux produits chimiques que le PET, subissent avant réutilisation un lavage à l'aide de détergents puis sont désinfectées à l'eau ozonée avant remplissage.

Il n'a pas été mis en évidence de risques sanitaires particuliers dans la réutilisation de ces bonbonnes.

III.4 Utilisation du verre

Les matériaux de conditionnement en verre doivent être conformes à la directive 84/500/CEE modifiée du Conseil en ce qui concerne la déclaration de conformité et les critères de performance de la méthode d'analyse des objets céramiques destinés à entrer en contact avec les denrées alimentaires.

III.5 Traçabilité des matériaux

Le règlement (CE) n° 1935/2004 du Parlement européen et du Conseil du 27 octobre 2004 concernant les matériaux et objets destinés à entrer en contact avec des denrées alimentaires et abrogeant les directives 80/590/CEE et 89/109/CEE (Journal officiel de l'Union européenne, 13.11.2004, L 338/4-16) précise :

1. « La traçabilité des matériaux et objets est assurée à tous les stades afin de faciliter les contrôles, le retrait des produits défectueux, l'information des consommateurs ainsi que la détermination des responsabilités ;
2. Pour autant que la technologie le permette, les exploitants d'entreprises disposent de systèmes et de procédures permettant d'identifier les entreprises qui ont fourni ou auxquelles ont été fournis les matériaux et objets et, le cas échéant, les substances ou produits couverts par le présent règlement et ses mesures d'application, utilisés pour leur fabrication. Cette information est mise à la disposition des autorités compétentes à la demande de celles-ci ;
3. Les matériaux et objets mis sur le marché dans la Communauté sont identifiables par un système approprié permettant leur traçabilité par le biais d'un étiquetage ou d'une documentation ou d'informations pertinentes. »

Il s'agit d'une disposition nouvelle pour les industriels.

IV. Surveillance et contrôle

Le code de la santé publique a repris dans son article R. 1322-29 les dispositions introduites dans les règlements (CE) n° 178/2002 ou « food law » et (CE) n° 882/2004 concernant notamment le respect des bonnes pratiques d'hygiène et des procédures basées sur les principes de l'HACCP (Hazard Analysis Critical Control Points : analyse des dangers et points critiques pour leur maîtrise).

« L'exploitant veille à ce que toutes les étapes de la production et de la distribution de l'eau minérale naturelle sous sa responsabilité soient conformes aux règles d'hygiène. Il applique des procédures permanentes d'analyse des dangers et de maîtrise des points critiques fondées sur les principes suivants :

- 1. Identifier tout danger qu'il y a lieu de prévenir, d'éliminer ou de ramener à un niveau acceptable ;*
- 2. Identifier les points critiques aux niveaux desquels une surveillance est indispensable pour prévenir ou éliminer un danger ou pour le ramener à un niveau acceptable ;*
- 3. Établir, aux points critiques de surveillance, les limites qui différencient l'acceptabilité de l'inacceptabilité pour la prévention, l'élimination ou la réduction des dangers identifiés ;*
- 4. Établir et appliquer des procédures de surveillance efficaces des points critiques ;*
- 5. Établir les actions correctives à mettre en œuvre lorsque la surveillance révèle qu'un point critique n'est pas maîtrisé ;*
- 6. Établir des procédures exécutées périodiquement pour vérifier l'efficacité des mesures mentionnées aux 1) à 5) ;*
- 7. Établir des documents et des dossiers adaptés à la nature et à la taille de l'exploitation pour prouver l'application effective des mesures mentionnées aux 1) à 6).*

L'exploitant adapte la procédure à la suite de chaque modification du produit, du procédé ou de l'une des étapes de la production. »

Il n'entre pas dans le propos de ce rapport de décliner point par point les chapitres de cet article mais de souligner ce qui est important et sous-jacent à cette analyse de risque à savoir la surveillance des installations.

L'un des points forts de la démarche de responsabilisation des industriels repose sur l'élaboration puis la déclinaison au sein de chaque usine d'un guide de bonnes pratiques d'hygiène (GBPH). Il s'agit d'**un outil rédigé PAR les professionnels POUR les professionnels** et validé par les administrations concernées. Ce sont des outils d'aide destinés à permettre aux professionnels de mettre en place les mesures de maîtrise adaptées pour atteindre les objectifs fixés par les règlements.

Il faut noter qu'aucun guide de bonnes pratiques d'hygiène des eaux conditionnées n'est encore validé à ce jour.

L'exploitant étant responsable de la qualité de l'eau produite, il doit connaître en permanence la qualité de l'eau à toutes les étapes de la production, depuis le captage (la ressource) jusqu'au produit fini (bouteilles d'eau commercialisées). Parmi les outils à sa disposition figure la surveillance qui est différente du contrôle officiel.

Par souci de clarté on gardera :

- le terme de « surveillance » pour tout ce qui concerne les opérations analytiques effectuées par le producteur d'eau ;
- le terme de « contrôle » pour les contrôles officiels effectués à la demande de l'administration.

Le but de la surveillance est de garantir en permanence la qualité de l'eau produite. Elle sera donc complétée par des obligations de moyens en plus d'obligations de résultats concernant notamment le choix des matériaux, des réactifs, des supports de traitement et la fréquence des désinfections d'ouvrages.

Au niveau analytique, la fréquence des paramètres à suivre sera déterminée par une bonne approche d'identification des risques : l'approche HACCP par la norme ISO 22000.

Dans la mesure du possible, les surveillances en continu de certains paramètres permettront des mises en alerte rapides en cas de dérive de certains d'entre eux et, à titre d'exemple, on peut citer :

- la mesure du chlore résiduel dans l'eau qui permet facilement de vérifier l'efficacité des rinçages après une désinfection d'ouvrage ;
- la mesure en continu de la conductivité pour vérifier l'efficacité du rinçage après régénération à l'acide d'un matériau utilisé comme adsorbant sélectif.

Ces suivis permettront de vérifier que les eaux embouteillées sont conformes.

Pour réaliser sa surveillance, l'industriel a deux possibilités :

- soit faire appel à un laboratoire extérieur reconnu par les autorités sanitaires pour les analyses de contrôle ;
- soit faire réaliser les analyses dans un laboratoire interne. Cette dernière solution est à privilégier car la rapidité de la réponse est un paramètre prioritaire en cas de risque pour la sécurité sanitaire. Toutefois, il faut également que les résultats soient fiables et soient obtenus sous certification ISO 9001 ou 22000 ou d'une certification intégrée ISO 9001/22000.

Le choix du laboratoire interne permet de responsabiliser davantage l'exploitant en lui permettant d'avoir une meilleure connaissance des points critiques de son usine.

Étant donné que la surveillance doit être définie au cas par cas il ne peut exister de programme type.

Par contre, le guide de bonnes pratiques dont il a été fait mention précédemment serait un outil d'aide pour les professionnels afin de leur permettre de définir les points de surveillance, la nature et la fréquence des analyses et de mettre en place les mesures de maîtrise adaptées.

En conclusion, le choix d'un laboratoire interne de surveillance fonctionnant sous certification qualité permet d'assurer une meilleure réactivité face aux risques sanitaires. La rédaction d'un guide intégrant la pratique et tenant compte des contraintes de la profession est nécessaire. Il pourra également entrer dans un processus de reconnaissance par les autorités sanitaires et aider les industriels dans la maîtrise de leurs installations.

Conclusion et recommandations

En France, les soixante-sept eaux minérales naturelles reconnues en tant que telles sont des produits offerts à la consommation de l'ensemble de la population française et peuvent même, pour les nourrissons en particulier, représenter une part essentielle de l'alimentation. Elles doivent :

- être exemptes de toute contamination microbiologique ;
- être soumises à des contrôles sanitaires ;
- respecter les normes fixées par la réglementation pour un certain nombre de paramètres instables, indésirables ou toxiques d'origine naturelle.

I. Procédures de reconnaissance et d'autorisation d'exploiter

La loi n° 2004-806 du 9 août 2004 relative à la politique de santé publique, codifiée dans les articles L. 1322-1 à L. 1322-13 du code de la santé publique a précisé les bases législatives relatives aux eaux minérales naturelles ainsi que les procédures applicables pour leur reconnaissance, leur autorisation et leur exploitation, lesquelles sont maintenant déconcentrées à l'échelon préfectoral.

À cette occasion, les procédures ont été largement simplifiées et harmonisées avec celles des eaux destinées à la consommation humaine.

Il est indispensable que figure dans les dossiers de demande d'autorisation d'exploiter une eau minérale naturelle le résultat des investigations nécessaires à la connaissance de leur origine et de leur vulnérabilité, ce qui sous-entend que doivent au minimum être produits :

- une synthèse détaillée du contexte géologique ;
- une étude du fonctionnement hydrogéologique du système hydrominéral ;
- une analyse des relations entre la nature des terrains et la minéralisation de l'eau ;
- une bonne évaluation de la vulnérabilité intrinsèque de la ressource et un inventaire des sources de pollution tant dans la zone d'alimentation et que dans celle d'émergence ;
- une proposition détaillée des mesures de protection, de surveillance et d'alerte à mettre en place.

II. Captage et exploitation des eaux minérales naturelles

Qu'il s'agisse de captages d'émergences naturelles ou de captages par forage, les ouvrages doivent être réalisés dans le strict respect des règles de l'art et d'hygiène. Par ailleurs, il doit être vérifié que les matériaux utilisés (colonnes de captage, ciments, équipements, etc.) sont bien adaptés aux caractéristiques de l'eau afin d'éviter les phénomènes de corrosion et un vieillissement prématuré de l'ouvrage.

L'exploitation des captages par artésianisme présente un double avantage : d'une part elle évite les mélanges de l'eau minérale avec des eaux froides superficielles et, d'autre part, elle concourt au maintien de la stabilité de la qualité de l'eau qui est une des exigences principales pour une eau minérale naturelle.

À l'inverse, l'exploitation par pompage crée des conditions favorables au mélange avec des eaux froides superficielles ou des eaux profondes chaudes et très minéralisées d'où la nécessité de définir et de respecter lors de l'exploitation un débit de pompage favorable au maintien de la stabilité de la composition de l'eau captée.

III. Protection des captages

Contrairement aux eaux des distributions publiques, les eaux minérales ne peuvent être protégées réglementairement qu'au niveau de leur émergence par un « périmètre sanitaire d'émergence ». Celui-ci, le plus souvent d'une faible superficie, n'a pour objectif que d'éviter les intrusions et de supprimer le risque de déversement de produits polluants à proximité immédiate du captage pouvant entraîner une contamination de l'eau et, par suite, un risque sanitaire.

Toutefois, le propriétaire d'une source minérale a la possibilité de demander que celle-ci soit déclarée d'intérêt public, déclaration prononcée par décret en Conseil d'État. Cela permet alors de définir un périmètre de protection dans lequel peuvent être interdits ou réglementés les activités, dépôts, installations, etc., susceptibles de porter atteinte à la qualité de l'eau minérale.

IV. Caractéristiques des eaux minérales naturelles

Ces caractéristiques s'acquièrent par contact de l'eau avec les formations géologiques traversées et sont essentiellement liées aux conditions de température, de pression et de temps de séjour de l'eau dans l'aquifère.

Deux caractéristiques sont particulièrement importantes :

1. La stabilité de la composition et de la température de l'eau à l'émergence

Jusqu'à présent, pour la stabilité de la composition de l'eau, une tolérance arbitraire de 10 % était citée dans certains arrêtés ministériels mais celle-ci ne repose sur aucune base scientifique fiable puisqu'elle ne devrait dépendre d'une part que du paramètre considéré et, d'autre part, de sa concentration dans le temps.

C'est pour cette raison que le groupe de travail a conduit une réflexion en vue d'apprécier la stabilité des paramètres choisis. Pour tenter de mettre en évidence les fluctuations de la qualité de l'eau mais également les dérives à plus ou moins long terme nécessitant la prise en compte du contexte hydrodynamique du site, l'Afssa propose :

- une méthodologie pour la caractérisation de la stabilité ;
- une validation du critère de stabilité.

Toute dérive significative dans le temps d'un paramètre doit être considérée comme un signal de dégradation de la qualité de l'eau avec des conséquences sanitaires potentielles et donner lieu à une étude approfondie afin de mettre en œuvre les mesures de gestion de la ressource indispensables (par exemple, une limitation du débit de pompage).

En l'état actuel des connaissances il est nécessaire de considérer :

- *cette proposition comme une aide à la décision et non comme un critère déterminant car les critères de stabilité doivent essentiellement permettre de vérifier qu'il n'existe pas d'anomalies pouvant avoir des conséquences sanitaires ;*
- *que pour les eaux carbo-gazeuses, ce modèle n'est pas applicable en l'état.*

2. La pureté originelle de l'eau minérale naturelle

La pureté originelle de l'eau minérale naturelle doit être jugée sur le plan microbiologique : une eau minérale naturelle ne doit jamais contenir un nombre ou une concentration de micro-organismes ou de parasites présentant un danger pour la santé publique.

Sur le plan physico-chimique les textes en vigueur fixent les limites de concentration et les mentions d'étiquetage pour les constituants de l'eau pour lesquels une valeur guide a été fixée par l'Organisation mondiale de la santé. Il faut souligner ici l'absence de référentiels réglementaires pour les substances organiques alors que ces paramètres entrent logiquement en compte dans la notion de pureté.

Suivant la démarche présentée dans le rapport, les objectifs de pureté suivants peuvent être recommandés :

- a. pour les substances organiques figurant dans le tableau B2 de l'annexe 1 de l'arrêté du 17 mars 2007 (abstraction faite du tétrachloroéthylène et du trichloréthylène) les valeurs doivent être inférieures à 30 % de la limite de qualité fixée pour les eaux destinées à la consommation humaine ;**
- b. pour le trichloréthylène et le tétrachloroéthylène, les teneurs doivent être inférieures à 1 µg/L ;**
- c. pour les produits organiques émergents et les composés non référencés dans la réglementation européenne, les valeurs doivent être inférieures à 0,03 µg/L par substance individualisée.**

V. Traitements et adjonction

L'arrêté du 14 mars 2007 limite pour les eaux minérales naturelles les possibilités de traitement et d'adjonction à l'élimination des éléments instables et du gaz carbonique, à l'incorporation ou à la réincorporation de gaz carbonique et à la séparation des composés instables et des constituants indésirables d'origine naturelle, *ces traitements ne devant pas modifier la composition de l'eau minérale naturelle dans ses constituants essentiels, ni les caractéristiques microbiologiques de l'eau.*

Il ressort de ces dispositions que tous les traitements applicables aux eaux destinées à la consommation humaine ne peuvent être mis en œuvre pour les eaux minérales naturelles.

Pour certains paramètres des méthodes de traitement ont été fixées par l'Union européenne.

Il convient de noter à ce sujet que :

- en cas de traitement par l'ozone, des limites de concentration ont été fixées pour certains composés formés par réaction secondaire ;
- la présence de certains composés minéraux ou organiques traduisant une contamination consécutive aux traitements ou aux activités anthropiques n'est pas réglementée. Cela a conduit le groupe de travail à réfléchir sur la pureté des eaux minérales naturelles en vue de la définition de valeurs seuils indépendantes des performances analytiques des laboratoires et à proposer les conclusions et recommandations suivantes pour qu'une eau minérale soit considérée comme pure :
 - a. respect des critères fixés par la réglementation pour la microbiologie, pour les éléments minéraux toxiques et pour les sous-produits de l'ozonation,
 - b. concentrations inférieures à 1 µg/L pour chacune des molécules produite par les réactions secondaires du chlore.

Étant donné que ces traitements sont souvent complexes, leur mise en œuvre doit être adaptée à chaque type d'eau par l'industriel concerné car un défaut de maîtrise à ce niveau peut engendrer des risques sanitaires pour le consommateur.

VI. Conditions d'exploitation

1. Mélange

La notion de mélange dérive de la définition d'une source d'eau minérale naturelle qui peut être constituée d'une ou de plusieurs émergences naturelles ou forées, **ce mélange n'étant toutefois possible que si les eaux proviennent d'un même gisement.**

Des règles précises doivent être respectées en matière de mélange, à savoir :

- mélange en toutes proportions lorsque les eaux de différents captages ont une composition physico-chimique identique et stable ;
- mélange dans des proportions définies lorsque les eaux ont des profils identiques sur le plan physico-chimique mais présentent des concentrations différentes.

Ces conditions interdisent que la stabilité soit assurée artificiellement par la mesure de la conductivité après asservissement des débits de diverses émergences, une telle opération pouvant masquer une instabilité de la composition de l'eau des émergences concernées.

2. Équipements d'exploitation

Tous les matériaux utilisés doivent être conformes aux règles applicables aux eaux destinées à la consommation humaine mais certaines eaux minérales naturelles présentant des caractéristiques particulières (température, présence de CO₂, etc.) l'exploitant doit s'assurer que la qualité de l'eau ne risque pas de se trouver altérée.

3. Nettoyage et désinfection des ouvrages de captage

Tous les produits utilisés pour le nettoyage et la désinfection des ouvrages de captage doivent être conformes à la réglementation établie pour les eaux destinées à la consommation humaine.

VII. Embouteillage des eaux minérales naturelles

Aucun matériau employé pour le conditionnement des eaux minérales naturelles ne doit être susceptible d'altérer la qualité de ces dernières, qu'il soit vierge ou recyclé.

VIII. Surveillance et contrôle des eaux minérales naturelles conditionnées

La surveillance est du ressort de l'exploitant qui doit s'assurer que l'eau minérale naturelle qu'il conditionne est bien conforme aux règles d'hygiène à toutes les étapes de la production et de la distribution. Cela suppose une surveillance permanente des installations de production. De plus et pour une meilleure réactivité en cas de risque sanitaire, la création d'un laboratoire interne – sous certification qualité – ne peut qu'être recommandée.

Le contrôle est effectué à la demande de l'Administration.

Pour tout ce qui concerne la mise en œuvre optimale des procédés de traitement autorisés et les conditions d'exploitation on ne peut que regretter que des guides de bonnes pratiques n'aient pas été élaborés par la profession et validés.

Annexe 1

Quelques concepts et méthodes utilisés en hydrogéologie

I. Rappel de quelques concepts et définitions

I.1 Phases et milieux

Dans le domaine d'investigation des eaux souterraines, qu'elles soient ou non « minérales », il y a généralement deux ou trois phases, au sens physique du terme, à considérer : une phase solide et une ou plusieurs phases fluides :

- la phase solide, presque exclusivement minérale, est constituée de roches meubles ou consolidées dont les pores, les interstices, les fissures ou les fractures sont occupés par un ou plusieurs fluides qui peuvent s'y trouver piégés ou circuler plus ou moins aisément ;
- la phase fluide : si elle est uniquement gazeuse, le milieu est considéré comme sec, si les phases gazeuse et liquide coexistent le milieu est non saturé (humide, dans le cas de l'eau) et si tous les vides sont remplis par le liquide le milieu est évidemment saturé.

La **phase solide** joue un double rôle :

- **rôle physique :**

- géométrique ou capacitif par la nature et l'importance de la porosité qu'elle permet selon la répartition et l'abondance des vides,
- mécanique par le frottement qu'elle oppose à la circulation des fluides et qui se traduit en terme de perméabilité ;

- **rôle géochimique :** elle contribue largement, par des processus d'échange entre fluide et minéraux, à l'obtention de la qualité physico-chimique de la phase fluide, en particulier de l'eau qui séjourne ou circule dans ses vides.

La **phase gazeuse** (air et dioxyde de carbone principalement, mais parfois aussi H₂S et hydrocarbures), peut jouer, elle aussi, un double rôle :

- rôle **physique ou mécanique :** fragmentation de la phase liquide dans le milieu non saturé, avec des bulles piégées faisant obstacle à la circulation de l'eau, mais surtout création d'interfaces liquide-gaz où la tension superficielle engendre une rétention capillaire, sans oublier le rôle des gaz dissous qui se libèrent lors d'un abaissement de pression et peuvent engendrer un jaillissement éruptif d'un mélange d'eau et de gaz (effet de *gas lift* bien connu notamment dans les eaux carbo-gazeuses) ;
- rôle **chimique :** échanges entre gaz et roche, avec ou sans participation de l'eau, gaz dissous participant à la qualité de l'eau, soit directement, soit par son action sur les minéraux des roches encaissantes (processus de décarbonatation, par exemple).

La **phase liquide** se répartit en catégories dont les propriétés diffèrent selon leur état énergétique (intensité du potentiel total : potentiel de gravité + potentiel de pression) : une partie de l'eau est plus ou moins immobilisée, tandis que le reste est mobile, mais la répartition n'est pas identique, au sein d'un même environnement solide, selon que le milieu est saturé ou non saturé :

En milieu saturé

- la phase liquide *immobile* comprend :
 - l'eau **adsorbée** (par attraction électrostatique ou moléculaire) en couches d'autant plus fortement liées qu'elles sont proches de la surface du solide : elle est à une pression fortement négative par rapport à la pression atmosphérique,
 - l'eau **piégée** dans les pores ou fissures en cul-de-sac de la matrice solide ;
- la phase liquide **mobile** remplit les vides restants : elle est à une pression supérieure ou égale à la pression atmosphérique. C'est cette **eau libre** qui sourd aux émergences ou que l'on recueille par gravité dans les ouvrages de drainage ou de pompage.

En milieu partiellement non saturé

La phase liquide **immobile** comprend :

- là encore l'eau **adsorbée** et l'eau **piégée** ;
- mais il s'y ajoute (seulement dans la zone non saturée) l'eau **capillaire suspendue** : eau discontinue piégée en gouttelettes isolées où la pression est inférieure à la pression atmosphérique. Constitutive de l'humidité d'un sol, cette eau qui ne peut s'écouler gravitairement est, par contre, largement puisée par les racines des plantes ;
- la phase liquide **mobile** comprend :
 - dans sa partie saturée, le même type d'**eau libre** que précédemment,
 - mais il s'y ajoute, dans la zone non saturée, au-dessus du niveau où la pression est égale à la pression atmosphérique (niveau piézométrique d'une nappe libre : voir « nappes », § 1.3.3) : une **frange capillaire** dont la hauteur est inversement proportionnelle au rayon moyen des interstices (loi de Jurin), cette eau est dite **capillaire soutenue** puisque la frange capillaire suit les fluctuations du niveau de la nappe sous-jacente.

1.2 Porosités, coefficients d'emmagasinement, perméabilité et transmissivité

1.2.1 Porosités

La porosité exprime l'importance relative des vides par rapport au volume total d'un milieu polyphasique. La **porosité totale** prend en compte la totalité des volumes des vides.

Il est classique, de parler de **porosité matricielle** pour exprimer la porosité totale d'une roche : pores ou fissures très fines d'une roche compacte (craie, dolomie, par exemple) ou vacuolaire (basaltes bulleux). Dans une roche non consolidée (sable, gravier) ou granulaire cimentée (grès, par exemple), on parlera de **porosité d'interstices**, tandis que dans un massif granitique ou calcaire il s'agira plus souvent d'une **porosité de fissures** ou de **fractures**. Certaines roches peuvent présenter ainsi une double, voire une triple porosité.

Mais comme tous les vides ne permettent pas à l'eau de s'écouler gravitairement, il est utile de préciser cette notion par rapport à l'eau :

- en milieu restant saturé : on utilise les termes de **porosité cinématique** pour exprimer le rapport entre le volume occupé par l'eau mobile et le volume total ; c'est un paramètre essentiel pour un calcul de transfert de masse (ou transit) en milieu saturé (transfert d'un polluant par exemple) ;
- en milieu saturé en cours de drainage (c'est-à-dire se désaturant), la quantité d'eau mobile libérée par une baisse du niveau de saturation est plus faible que dans le cas précédent, puisqu'une partie de l'eau reste piégée par capillarité : le volume d'eau recueilli gravitairement par rapport au volume total devient alors la **porosité efficace**, qui est donc inférieure à la porosité cinématique du même milieu.

I.2.2 Coefficients d'emmagasinement

À l'échelle d'un terrain (une formation géologique sédimentaire ou non), il est important d'estimer sa capacité de stockage d'eau libre.

Le coefficient d'emmagasinement (S) s'exprime par le volume d'eau libérée (dV) par une baisse de charge (dh) unité dans un prisme vertical de terrain de section (dA) unité : $S = -dV/(dh.dA)$.

- **en nappe libre** (cf. définition § 1.3.3), c'est une partie du milieu saturé qui, en se désaturant (drainage) libère de l'eau mobile: le coefficient d'emmagasinement est alors identique à la **porosité efficace** (généralement $10^{-2} < S < 10^{-1}$);
- **en nappe captive** (cf. définition § 1.3.3), le milieu saturé reste saturé mais la diminution de pression qu'il subit se traduit par une légère augmentation du volume de l'eau (pas totalement incompressible) et surtout par une compression du terrain (en raison de l'augmentation des contraintes effectives) qui se traduit par une diminution du volume des vides et donc par l'expulsion d'un volume correspondant d'eau mobile. Le coefficient d'emmagasinement est alors très inférieur à la porosité efficace du même milieu ($S \ll 10^{-2}$).

I.2.3 Perméabilité

« C'est l'aptitude d'un milieu à se laisser traverser par un fluide sous l'effet d'un gradient de potentiel » (Castany et Margat, 1977). Pour l'eau, il s'agit du débit unitaire (q ou $v = Q/S$) à travers un milieu filtrant soumis à un gradient hydraulique ($i = -dh/dl$) unitaire (c'est-à-dire à travers un prisme de milieu filtrant considéré comme continu, de section (S) et de longueur (dl) unités, soumis à une perte de charge ($-dh$) unité entre son entrée et sa sortie), dans les conditions d'application de la loi de Darcy. On devrait alors parler de **coefficient de perméabilité de Darcy** ou, par analogie avec les lois similaires du milieu continu (Ohm, Fourier, Fick) de **conductivité hydraulique**. En hydrogéologie, c'est ce paramètre qui est habituellement sous-entendu dans le terme générique de **perméabilité**. Celle-ci s'exprime donc en terme de vitesse ($L.T^{-1}$), habituellement en m/s, et sous le symbole « K » :

$$Q = -S K (dh/dl) = S K i \text{ (loi de Darcy)}$$

$$q \text{ ou } v = Q/S = -K (dh/dl) = K i$$

Comme la plupart des assises sédimentaires sont stratifiées et que dans les formations massives il existe souvent une direction principale de fracturation, la perméabilité est généralement plus élevée dans ces plans privilégiés que normalement à eux. Un écoulement dans le sens des couches ou de la majorité des plans de fractures est toujours plus aisé que perpendiculairement à eux. En milieu anisotrope, la perméabilité doit alors être représentée par un tenseur.

Ce coefficient dépendant à la fois de la nature et de l'état du fluide (viscosité dynamique et masse volumique relatives à la nature du fluide et variables selon la température et la pression) et de la géométrie de la phase solide (possibilité plus ou moins grande de passage dans les pores, interstices ou fissures), il est parfois nécessaire (dans le cas d'eaux très chaudes notamment) d'utiliser, comme le font classiquement les pétroliers, les valeurs de la **perméabilité intrinsèque** ou **géométrique** qui ne dépend que du seul réservoir et qui a alors la dimension d'une surface (unité AFNOR: le darce : 1 darce = 10^{-12} m²; le darcy (0,987 darce) n'est plus une unité légale puisque défini dans le système C.G.S).

I.2.4 Transmissivité

C'est un paramètre (T) qui exprime le débit par unité de largeur (mesurée orthogonalement à la direction du flux) d'un terrain saturé soumis à un gradient hydraulique unité. C'est donc le produit du coefficient de perméabilité de Darcy (K) par l'épaisseur saturée (e), d'autant plus utile à utiliser que c'est T et non K que l'on détermine par pompage d'essai. Si la section orthogonale à l'écoulement est $S = e.L$ (avec L : largeur horizontale du front d'écoulement), la loi de Darcy peut alors s'écrire :

$$Q = S K i = L e K i = T i \text{ L avec } T = K e$$

La transmissivité a donc pour dimension $L^2.T^{-1}$ et s'exprime habituellement en m²/s. À l'instar de la perméabilité, elle doit être représentée par un tenseur si le milieu est anisotrope.

La transmissivité et le coefficient d'emmagasinement sont les deux principales *caractéristiques hydrodynamiques* d'un aquifère (cf. définition ci-après § 1.3). À noter toutefois que ces caractéristiques hydrodynamiques, utilisées essentiellement pour l'étude des nappes, sont mal adaptées à celle des réseaux aquifères ou karstiques.

1.3 Aquifères et nappes

Deux mots à ne pas confondre : l'un se rapporte au contenant (l'*aquifère*), l'autre au contenu (la *nappe* d'eau souterraine).

1.3.1 Comportement des terrains vis-à-vis de l'eau

Les sols, roches meubles et roches consolidées, constitutives des formations géologiques peuvent être :

- **aquifères**, si les pores ou les fissures communiquent entre eux et sont suffisamment larges pour que l'eau puisse y circuler librement sous l'effet d'une différence de potentiel hydraulique (différence de charge) ; ces terrains sont dits perméables ($K > \sim 10^{-5}$ m/s) ;
- **aquicludes**, si les pores ou les fissures sont non communicants ou trop petits pour que l'eau puisse y circuler librement sous l'effet d'une différence de potentiel hydraulique ; ces formations sont considérées comme imperméables ($K < \sim 10^{-9}$ m/s), bien qu'elles puissent renfermer parfois beaucoup plus d'eau que les roches aquifères en raison d'une porosité totale plus développée (argiles, vases) et écouler des volumes d'eau conséquents à l'échelle des temps géologiques (il n'existe donc pas de terrains totalement imperméables) ;
- **aquitards ou semi-perméables** : formations intermédiaires entre les précédentes ($\sim 10^{-5} > K > \sim 10^{-9}$ m/s), pas assez perméables pour permettre un écoulement latéral de l'eau mais suffisamment pour autoriser un lent transfert vertical vers ou en provenance d'un aquifère (drainance). Leur rôle est capital dans la recharge d'une nappe semi-captive (voir « nappes », § 1.3.3.).

1.3.2 Aquifères

À l'échelle du terrain, un aquifère est un corps (couches ou massif) géométriquement défini, constitué de roches aquifères (perméables). Il peut :

- être entièrement saturé sous une couverture très peu perméable ou aquiclude (aquifère captif ou confiné) ou sous une formation semi-perméable ou aquitard (aquifère semi-captif ou semi-confiné),
- comporter une zone saturée surmontée d'une zone non saturée permettant un échange direct avec l'atmosphère : l'aquifère est libre ou non confiné.

La position et la nature de ses limites permettent de dimensionner le volume du réservoir aquifère, mais conditionnent particulièrement aussi les phénomènes hydrodynamiques (écoulements et transferts de pression) qui le parcourent.

Un aquifère possède donc deux fonctions bien différentes mais complémentaires que traduisent ses **caractéristiques hydrodynamiques** (T & S : cf. § 1.2.2 & 1.2.4) :

- **une fonction capacitive**, relative au stockage de l'eau, mesurée par son « coefficient d'emménagement » (équivalente à la « porosité efficace », en nappe libre) ; le volume d'eau libérable par gravité, contenu dans un aquifère à un instant donné constitue sa *réserve* totale, dont une partie peut ou non être permanente : certains aquifères n'ont aucune réserve permanente, d'autres peuvent ne plus être actuellement renouvelés et ne contenir qu'une réserve permanente, c'est dans ce dernier cas seulement (nappe fossile) qu'on peut parler de « gisement d'eau » à l'instar d'un gisement de pétrole ;
- **une fonction transmissive**, exprimée par la « transmissivité » (cf. § 1.2.4), qui traduit donc l'aptitude de cet aquifère à laisser l'eau s'écouler gravitairement vers les émergences ou les ouvrages de captages (ou de drainage). Cette fonction transmissive souligne ainsi qu'un aquifère n'est pas qu'un réservoir, mais qu'il est surtout traversé par de l'eau en écoulement, c'est un milieu de transfert (**transfert de pression** dans l'eau) et de transit (déplacement d'eau ou **transfert de masse**).

Cet aspect « dynamique » lié à la **circulation de l'eau** au sein d'un aquifère souligne que **tous les problèmes de qualité et de quantité sont à traiter en termes de flux plus que de volume** : alimentation, renouvellement, bilan volumique, ressources, acquisition ou modification de la qualité, risques de pollution et enfin exploitation durable. Si aucun de ces aspects ne doit être négligé à l'échelle d'un aquifère, il doit l'être encore moins à l'échelle du « système aquifère » qui représente l'unité de gestion par excellence pour les eaux souterraines (cf. § 1.5.3).

I.3.3 Nappes

Une nappe est constituée par l'**eau libre** (cf. § 1.1) formant un ensemble hydrauliquement continu au sein de la zone saturée d'un aquifère.

La plupart des grandes nappes exploitées en France sont contenues dans des aquifères sédimentaires poreux d'extension régionale. Les nappes de fissures, notamment dans les massifs cristallins, peuvent également présenter un intérêt régional ne fût-ce que par leur interaction avec les eaux superficielles (nappes du socle armoricain). Certains aquifères conjuguent nappes d'interstices et nappe de fissures voire de fractures (la craie du bassin de Paris par exemple).

Quand l'aquifère est très hétérogène à l'échelle du terrain (roches à fissures ouvertes, dispersées et discontinues ou parcourues de conduits et de cavités de dissolution) et que la continuité hydraulique n'est plus assurée entre les différents cheminements, on parle plutôt de « réseau aquifère » ou de « réseau karstique » que de nappe.

Une nappe ou une partie de nappe (ou de réseau) peut être libre, captive ou semi-captive.

- **une nappe libre** est formée d'eau libre, saturant la partie inférieure d'un aquifère dont la limite supérieure de saturation est à la pression atmosphérique et constitue la surface libre ou niveau piézométrique réel (altitude de l'eau rencontrée en puits ou forage). Une nappe libre est toujours surmontée d'une zone non saturée (frange capillaire et zone à capillarité suspendue) par l'intermédiaire de laquelle se font les échanges avec l'atmosphère (alimentation par infiltration, évapotranspiration);
- **une nappe captive** correspond à l'eau libre en charge au sein d'un aquifère saturé confiné entre deux assises imperméables (aquicludes); son niveau piézométrique (altitude à laquelle l'eau serait à la pression atmosphérique et remonterait donc dans un puits ou forage) est virtuel; lorsque l'altitude de ce niveau virtuel est supérieure à celle de la surface du sol, la nappe est **artésienne** et ses puits jaillissants;
- **une nappe semi-captive** correspond à l'eau libre saturant sous pression un aquifère semi confiné, c'est-à-dire, limité par un toit semi-perméable (aquitard); son niveau piézométrique est là encore virtuel. Longtemps sous-évaluées, les nappes semi-captives sont largement plus répandues que les véritables nappes captives.

Le terme de **nappe phréatique**, utilisé en vulgarisation, n'a aucune base scientifique, « phréatique » signifiant simplement qu'il s'agit d'une nappe d'eau concernée par les puits (du grec « phréar » = puits): il est préférable de lui substituer celui de **nappe d'eau souterraine**. Par contre l'expression « nappe aquifère » est à proscrire (confusion entre le contenu et le contenant).

I.4 Ressources

Bien que, dans certains pays, on soit obligé d'exploiter des nappes d'eau fossiles comme on exploite un gisement minier ou pétrolier, dans la plupart des pays jouissant encore d'une pluviométrie suffisante, l'eau ne peut raisonnablement et à terme être utilisée que dans la mesure où elle se renouvelle. L'exploitation moyenne, comme de pointe, des eaux douces (souterraines ou superficielles) doit tenir compte des conditions de renouvellement (ou de la durée de vie prévue pour le gisement). Dans tous les cas, il s'agit d'un volume d'eau en fonction du temps. On parle ainsi des *ressources* en eau en termes de *flux volumique* (ou débit) et non plus de volume. On distingue ainsi (cf. notamment Margat, 1996 et Crampon, 2003) habituellement :

- des ressources en eau souterraine renouvelables :
 - irrégulières (en périodes épisodiques, voire exceptionnelles, de hautes eaux),
 - régulières (écoulement de base):
 - indisponibles
 - disponibles : - non exploitables
 - exploitables;
- des ressources en eau souterraine non renouvelables :
 - réserve non déstockable,
 - réserve déstockable x P % / an.

Les ressources en eau exploitables sont en conséquence toujours très inférieures aux ressources totales même renouvelables. Enfin, l'exploitabilité étant une notion souvent plus économique que technique, on ne peut estimer les ressources en eau que dans une entité géographique adaptée à ses modalités de gestion (état, région, grand aquifère, partie d'aquifère, etc.).

Remarque : La norme NF X 50-911 relative à la « Maîtrise de la ressource en eau minérale naturelle » ne définit pas le mot « Ressource », mais semble se rapporter à la définition du dictionnaire (Larousse) pour les *ressources naturelles* : « ensemble des potentialités qu'offre le milieu physique, notamment dans les domaines énergétique, minier, forestier, etc. ». Les expressions « gestion globale de la ressource » et d'évaluation régulière de « l'évolution de la ressource en eau » utilisées dans cette norme, bien que confusément associées à la notion (discutable : cf. § 1.5.4) de « gisement », peuvent néanmoins se rapprocher de la notion de « ressource en eau exploitable » susmentionnée.

1.5 Entités de gestion

L'appréhension des ressources dépend donc de l'échelle à laquelle leur gestion doit être effectuée. Par exemple, à l'échelle des états, il est important de distinguer les ressources intérieures des ressources extérieures : certains états sont extrêmement dépendants des apports naturels de pays limitrophes (et donc de leur réduction volontaire ou non).

Dans un pays comme la France l'entité naturelle de gestion des eaux souterraines serait celle de chaque aquifère, géologiquement et hydrogéologiquement délimité. Mais la question est souvent plus compliquée qu'il n'y paraît : d'une part certains grands aquifères s'étendent sur plusieurs circonscriptions administratives, telles que régions, départements ou même grands bassins, d'autre part plusieurs aquifères superposés et plus ou moins communicants (par drainance) peuvent coexister dans certaines régions (Aquitaine notamment). Enfin, dans un même aquifère, la nappe peut se trouver plus ou moins compartimentée par des lignes de partage des eaux souterraines (lignes de crêtes piézométriques) plus ou moins évolutives en fonction des saisons et de l'exploitation ou par des axes de drainage représentés par des cours d'eau.

1.5.1 Bassin hydrogéologique

« Domaine aquifère, simple ou complexe, dans lequel les eaux souterraines s'écoulent vers un même exutoire ou groupe d'exutoires ; il est délimité par une **ligne de partage des eaux souterraines**. C'est l'homologue souterrain d'un bassin-versant pour les eaux de surface » (Castany et Margat, 1977).

1.5.2 « Masse d'eau souterraine »

Une « **masse d'eau souterraine** » est un concept récent, défini par la Directive européenne 2000/60/CE du 23 octobre 2000, dite Directive Cadre sur l'eau ou DCE (article 2-12), comme « un volume distinct d'eaux souterraines à l'intérieur d'un ou plusieurs aquifères ».

Outre l'abus de langage dû à un défaut manifeste de traduction qui désigne un volume sous le nom de masse, les « masses d'eau » superficielles et souterraines sont les nouvelles « unités de base du référentiel à partir duquel doivent être évalués, à l'échelle d'un district, l'état des ressources et l'efficacité des mesures prises pour respecter les exigences de la directive ». Il s'agit, là encore, d'unités de gestion dont les concepts « ne recouvrent pas totalement les « objets » connus en terme hydrographique ou hydrogéologique, tels que bassins versants ou systèmes aquifères » (Chadourne, 2002).

1.5.3 Système aquifère

L'évaluation des ressources en eau souterraine d'un aquifère, disponibles pour tel ou tel usage (ou la somme des usages prévisibles), nécessite de concevoir des unités ou parties d'aquifères relativement indépendantes les unes des autres, dans lesquelles on cherchera à établir un bilan d'eau, c'est-à-dire la comparaison entre les flux entrants et sortants (Caous, 1994). C'est le concept de **système aquifère** qui correspond à la fois (Castany et Margat, 1977) à :

- un **ensemble géométrique séquentiel** : une entrée (la zone d'infiltration ou d'alimentation), un circuit souterrain (au sein d'un ou plusieurs aquifères ou à la faveur d'une ou plusieurs fractures) et un exutoire (ou un ensemble d'exutoires), correspondant à une structure géologique particulière ;
- un **processus dynamique** : le flux de l'eau, avec son régime (permanent ou transitoire), ses conditions aux limites (liées à la structure géologique) et ses conditions initiales et finales (plutôt liées aux modalités météorologiques de l'alimentation et aux conditions d'exploitation).

Le concept de système aquifère s'appuie sur l'approche hydrogéologique d'un circuit souterrain spécifique, participant au cycle général de l'eau. Il peut s'appliquer à une partie d'un vaste aquifère (délimité lithologiquement et géographiquement) qui fonctionne de façon autonome (un bassin hydrogéologique par exemple), mais il s'applique encore mieux à un réseau ou partie de réseau fissural ou karstique ayant lui aussi un fonctionnement indépendant et fort éloigné de celui d'une nappe.

La norme NF X 50-910 relative à la terminologie des établissements thermaux a retenu la définition suivante : « Système aquifère : ensemble de terrains aquifères constituant une unité hydrogéologique. Ses caractéristiques hydrodynamiques lui confèrent une quasi-indépendance hydraulique (non-propagation d'effets en dehors de ses limites). Il constitue donc, à ce titre, une entité pour la gestion de l'eau souterraine qu'il renferme ». Cette définition se rapproche de la définition hydrogéologique, tout en omettant le concept essentiel de système dynamique, c'est-à-dire d'un système global en écoulement.

I.5.4 « Gisement »

Définition et concept administratifs pour les eaux minérales naturelles

- La norme NF X 50-910 relative à la terminologie des établissements thermaux a retenu la définition suivante : « ensemble de la structure géologique souterraine située au droit d'une zone géographique délimitée, et de laquelle il est possible d'extraire, moyennant la mise en œuvre de techniques appropriées, de l'eau minérale naturelle » ;
- La norme NF X 50-911 relative à la « maîtrise de la ressource en eau minérale naturelle », en recommandant notamment « l'auto-surveillance de l'ensemble du système aquifère » est néanmoins plus précise, en semblant assimiler « gisement » et « système aquifère ».

Définition du dictionnaire

- Gisement : « **accumulation naturelle, locale**, de matière minérale, solide, liquide ou gazeuse, susceptible d'être exploitée ».
- Le mot vient de « gésir » : « être couché, étendu **sans mouvement**, résider en ».

D'un point de vue hydrogéologique

Le mot « gisement » n'est quasiment jamais utilisé, puisqu'il ne pourrait être appliqué qu'à un volume d'eau conséquent et immobile (réserve permanente importante d'une nappe) ou à une nappe fossile, dont l'exploitation pourrait être conduite dans des conditions similaires à celles pratiquées dans les domaines miniers ou pétroliers.

En conclusion, il serait préférable d'exclure (ou de strictement limiter) l'emploi du mot « gisement » dans le domaine des eaux souterraines, pour le remplacer par celui de « système aquifère ».

I.6 Entrées et sorties d'un système aquifère

I.6.1 Alimentation

L'**aire d'alimentation** est le « domaine dans lequel ont lieu les apports d'eau, continuels ou temporaires, qui alimentent une nappe, un aquifère défini, notamment un aquifère en partie captif, non alimenté sur toute son étendue ; lieu d'origine des lignes de courant d'une nappe » (Castany et Margat, 1977). On peut également parler d'aire d'alimentation pour un exutoire défini (source ou captage). Il convient de distinguer :

- **l'aire d'infiltration** : « aire d'alimentation d'un aquifère à nappe libre : partie de la surface recevant les apports d'eau par *infiltration efficace* des précipitations ou de cours d'eau de surface » (le terme d'*impluvium* est parfois utilisé) ;
- **l'aire d'affluence** : « aire d'alimentation d'un aquifère semi-captif à travers une (ou des) couche(s) semi-perméable(s) sus ou sous-jacente(s), par *drainance* à partir d'aquifères à charge hydraulique plus élevée ».

I.6.2 Exutoires

Parmi les sorties à l'air libre que peut présenter un système aquifère, il existe plusieurs sortes d'émergences naturelles (effluences, suintements, sources, exurgences, résurgences, etc.) captées ou non, mais souvent le système aquifère s'est trouvé modifié par la réalisation de forages qui ont créé de nouvelles émergences (artificielles cette fois) ou permis une exploitation par pompage. Il y aurait beaucoup à dire sur la signification précise de chacun de ces termes. Seuls les concepts recouverts par les mots « émergence », « griffon » et « source » sont rappelés ci-après :

- **émergence** : « toute émission d'eau souterraine à la surface du sol, localisée (source) ou diffuse (effluence, suintement, exfiltration) » (Castany et Margat, 1977) : c'est le fait (et le lieu) pour l'eau d'apparaître au jour. Par extension, on peut donc considérer la sortie de l'eau naturelle (émission) de l'eau d'un forage artésien, comme une « émergence », mais non une extraction par pompage. Cependant l'artésianisme modifie l'équilibre des pressions dans le système aquifère.

La définition de la norme NF X 50-910 relative à la terminologie des établissements thermaux est la suivante : « point d'arrivée de l'eau minérale naturelle à partir duquel celle-ci peut être exploitée ». S'appliquant donc aussi aux forages, cette définition n'est plus scientifique.

- **source** : « endroit où l'eau commence à sourdre, à sortir de terre pour avoir un cours continu » (Dictionnaire de l'Académie, 1964 *in* Castany et Margat, 1977) ou, plus précisément, « lieu et phénomène d'écoulement naturel d'eau souterraine à la surface du sol, assez bien individualisés et à l'origine en général d'un cours d'eau de surface » (Castany et Margat, 1977);
- **griffon** : « tout orifice d'émergence bien individualisable et localisable (à grande échelle) d'une source » (Castany et Margat, 1977). Le terme de « griffon » ne s'utilise guère que pour les eaux minérales naturelles : « point d'émergence d'une source minérale ou thermale » (petit Larousse illustré, 1992).

La définition de la **norme NF X 50-910** relative à la terminologie des établissements thermaux est la suivante : « ensemble constitué par une ou plusieurs émergences naturelles ou forées provenant d'une même nappe ou d'un même gisement souterrain ». Cette **définition** conforme ni à la celle du dictionnaire, ni à la définition scientifique et faisant par ailleurs référence à la notion inadéquate de gisement, est en conséquence elle-même **inadéquate**.

1.7 Vulnérabilité, aléa et risque

La vulnérabilité est une propriété relative non mesurable et adimensionnelle du milieu (Vrba et Zaporozec, 1994, Goldscheider et Popescu, 2004) qui facilite la communication entre la surface et le point de captage. Elle repose sur le concept d'entrée-transit-cible.

La vulnérabilité intrinsèque est définie comme une facilité de transit de la surface vers le point de captage inhérente au seul milieu : cela implique de rechercher à déterminer le transit d'un traceur conservatif, qui circule à la même vitesse que l'eau. Il s'agit donc d'une vulnérabilité évaluée « par excès », qui ne tient pas compte des phénomènes de retard et d'atténuation. Cette vulnérabilité dépend essentiellement du régime pluviométrique et de trois facteurs propres au milieu géologique :

- **modalités d'infiltration** : l'infiltration peut être diffuse organisée autour d'un point (par exemple ruissellement local vers une faille) ou concentrée (perte ponctuelle);
- **couverture protectrice** : il peut exister sur l'aquifère des terrains à faible conductivité hydraulique dont l'épaisseur est également importante;
- **organisation du drainage** : il est évalué par traçages d'essais (*cf.* § II 10.1) et la courbe dite distribution des temps de séjour (DTS) permet de mettre en évidence plusieurs réseaux de fractures et de déterminer la dispersivité du milieu. Le traçage naturel (*cf.* § II 10.2) à l'aide de marqueurs non-conservatifs, permet de dater l'eau qui émerge.

La vulnérabilité spécifique (Sinreich *et al.*, 2004) tient compte en revanche du comportement physico-chimique des contaminants (adsorption, précipitation, complexation, oxydo-réduction, etc.) dans les terrains traversés, grâce à leurs propriétés physico-chimiques (% argiles, carbonates, matière organique, oxydes de fer, etc.). Le coefficient de vulnérabilité spécifique sert à pondérer la vulnérabilité intrinsèque, toujours dans le sens d'une minoration dont l'intensité est variable selon la nature du contaminant.

Un aléa est une activité humaine susceptible de contaminer de manière permanente ou accidentelle la ressource. Il existe des aléas spatiaux diffus, tels que les intrants et sous-produits agricoles, des aléas linéaires (infrastructure routière, ferroviaire, canaux, etc.), des aléas ponctuels (installations industrielles, rejets de stations d'épurations, de décharges, etc.).

Le risque est défini comme la conjonction de l'intensité d'un aléa et d'une vulnérabilité. Ainsi, le milieu est vulnérable, mais si les aléas sont absents ou contrôlés, le risque de contamination est faible. Si l'aléa est intense, mais que la vulnérabilité est faible, par exemple s'il existe des terrains peu perméables épais en surface, le risque est faible.

Il est donc nécessaire d'évaluer et de cartographier séparément vulnérabilité et aléa. Cette cartographie permet de maîtriser l'aménagement, en orientant la destination du foncier. Cette maîtrise foncière est rendue difficile dans le cas des eaux minérales naturelles, car une entreprise privée ne peut faire directement établir des servitudes sur d'autres terrains privés, sauf si elle dispose d'une possibilité de rachat des parcelles des zones sensibles de recharge (ou de circulation) ou si l'eau est achetée à une collectivité habilitée à faire établir des périmètres de protection.

II. Quelques méthodes et moyens

Les investigations nécessaires à la connaissance de l'origine et de la vulnérabilité des eaux minérales naturelles (cf. Deuxième partie du rapport « *Contexte hydrogéologique, vulnérabilité du système aquifère et captage* », § IV) impliquent l'acquisition des concepts et définitions rappelés au paragraphe précédent, mais aussi la mise en œuvre de méthodes et de moyens appropriés, en particulier les suivants.

II.1 Cartographie géologique

- Documentation : recherche des documents généraux et spécifiques existants : cartes géologiques publiées, coupes géologiques régionales et locales, synthèses de recherches universitaires ou autres, rapports miniers ou relatifs à de grands travaux dans le secteur, rapports éventuels (même anciens) sur le captage de la source d'eau minérale ;
- Cartographie détaillée du site, à réaliser si on n'en dispose pas : lithologie et structure, fracturation, altérations, recouvrements.

II.2 Géophysique

Collecte de tous les résultats d'investigations géophysiques ayant été éventuellement effectuées dans le secteur : coupes, profils synthétiques et cartes, avec identification du ou des horizons repères et des fractures majeures.

Comparaison avec les données géologiques et synthèse.

II.3 Piézométrie

Pour définir le type hydrodynamique du système aquifère, il convient déjà de tenter d'établir sa piézométrie en conditions naturelles (hors pompage) :

- mesure du niveau d'eau (rattachement nécessaire au NGF) dans le captage au repos au fur et à mesure de la foration pour mettre en évidence les connexions de l'ouvrage avec les différentes parties éventuelles du système aquifère et comparer les venues d'eau avec les eaux environnantes (superficielles ou souterraines) ; ainsi on pourra peut-être mettre en évidence l'existence d'un multicouche, des venues fissurales indépendantes, voire des arrivées parasites. Après achèvement de l'ouvrage, la comparaison du niveau d'eau statique avec la coupe géologique du forage peut souligner le caractère captif ou non du système aquifère de la nappe ; en cas d'artésianisme, la pression de sortie sera traduite en cote à débit nul. La comparaison de ces cotes piézométriques avec l'altitude de l'aire d'alimentation supposée peut permettre de lever certaines ambiguïtés ;
- mesure des niveaux dans les autres puits, forages ou piézomètres du secteur, quel que soit le système aquifère auquel ils se rapportent : cela peut permettre, dans certains cas, de différencier les systèmes aquifères concernés par chaque ouvrage, d'estimer les possibilités d'échange entre eux et, quand il s'agit du même système aquifère, d'en déterminer les gradients hydrauliques et les sens d'écoulement ;
- enregistrement des niveaux dans le captage en période de repos et dans les piézomètres intéressant le même système aquifère : l'analyse des fluctuations par rapport aux épisodes pluvieux (amplitude, retard) donne d'importantes informations sur la porosité efficace, le degré de fracturation et le temps de réponse à l'infiltration (transfert de pression et non de masse), qui peuvent être particulièrement utiles pour la quantification de la ressource et la détermination de sa vulnérabilité.

II.4 Bilan d'eau

La comparaison quantitative des entrées et sorties d'un système aquifère est une méthode utile pour appréhender son fonctionnement global. Si l'on dispose de données suffisamment précises et nombreuses sur les débits des cours d'eau récepteurs, sur ceux des émergences naturelles et des forages d'exploitation, sur la part de restitution au milieu naturel et sur les précipitations totales, on peut en déduire les ressources naturelles renouvelables de l'aquifère. Cette méthode permet également d'estimer l'évapotranspiration réelle et, en conséquence, de valider le bilan par comparaison entre la valeur d'évapotranspiration réelle ainsi déduite du bilan et la ou les autres valeurs obtenues par les méthodes empiriques de calcul habituelles (Crampon et Caous, 2006). Par ailleurs, connaissant la réserve totale moyenne en eau (volume de l'aquifère saturé multiplié par la porosité efficace ou le coefficient d'emmagasinement, selon le cas), on peut en déduire le taux et la durée de son renouvellement (Detay, 1997). La méthode s'applique plus facilement à un système comportant une nappe qu'à un système de fractures ou karstique. Néanmoins, pour ces derniers, une approche du bilan reste indispensable : elle permet de vérifier si les débits des entrées reconnues ou supposées sont en accord avec les débits de sortie et, dans le cas d'une absence systématique de correspondance, de rechercher l'existence d'entrées ou de sorties encore non identifiées. Enfin, en cas d'exploitation par pompage, un bilan pertinent permet de vérifier que le système aquifère n'est pas surexploité et, si besoin est, de préconiser un débit maximum d'exploitation.

II.5 Hydrométrie - hydrologie

Les données sur le **régime des eaux de surface** environnantes et plus particulièrement sur le régime des eaux directement issues du système aquifère peuvent apporter de précieux renseignements. Il convient donc de promouvoir l'étude du ou des bassins versants susceptibles d'alimenter (pertes plus ou moins diffuses) le système aquifère souterrain ou, inversement et *a fortiori*, les eaux qui en seraient issues.

L'analyse des **hydrogrammes** (chronique des débits ou des niveaux) à l'exutoire (débits classés, courbe de récession) peut en effet apporter des informations utiles sur le fonctionnement du système aquifère (volume dynamique, pouvoir régulateur, mise en évidence de trop-pleins ou d'apports complémentaires, etc.) et sa typologie. Les analyses corrélatoires et spectrales, utilisant la totalité des chroniques pluie-débit permettent d'apprécier de quelle manière les informations d'entrée sont reproduites en sortie et de comparer éventuellement, toujours par corrélation, avec un ou plusieurs autres systèmes de même type (Mangin, 1984; Maqsooud, 1996; Maqsooud et al., 2003-a).

II.6 Coupe de l'ouvrage et diagraphies

La **coupe géologique détaillée de l'ouvrage** (forage, galeries captantes ou tout autre système de captage d'une source) produisant l'eau minérale, avec repérage (et quantification) des données ponctuelles, permet déjà de savoir s'il s'agit d'un réservoir aquifère en milieu poreux ou finement fissuré et d'avoir une première idée de sa nature lithologique, ou s'il s'agit d'un système aquifère de type fissural, filonien ou karstique. La coupe technique permet de préciser certains points, comme, par exemple, les niveaux captés (présence de crépine et/ou de galeries captantes annexes).

Parmi les différentes méthodes d'investigation dans un forage, les mesures des vitesses au **micromoulinet de forage** sont parmi les plus utiles pour la reconnaissance de l'aquifère et de ses possibilités. La distribution des vitesses verticales dans un forage, qu'il s'agisse de vitesses naturelles ou provoquées par un pompage ou une injection d'eau, permet de déterminer les horizons productifs et improductifs, ainsi que l'épaisseur réelle d'aquifère productif et même, si le forage a été bien exécuté et qu'il n'existe pas trop d'anomalies (cavités notamment), d'obtenir, par comparaison entre les débits par tranche de niveau et le débit total, un ordre de grandeur des transmissivités, connaissant la transmissivité globale (par pompage d'essai). Cette diagraphie permet en outre de positionner correctement les crépines en face des niveaux les plus productifs et de réaliser ainsi des économies substantielles. Peu onéreuse et très utile, cette méthode devrait être systématiquement appliquée à chaque forage de reconnaissance d'eau, notamment minérale.

II.7 Pompages d'essai

Un pompage d'essai de **longue durée et à débit constant** (essai de nappe), avec suivi des niveaux (ou des pressions) dans l'ouvrage permet de déterminer la transmissivité totale sur la hauteur d'aquifère traversée. Un piézomètre annexe permet en outre de préciser la valeur de la transmissivité et de déterminer le coefficient d'emménagement. L'essai est à compléter par la mesure de la remontée après l'arrêt du pompage.

Un pompage par paliers (essai de puits) est souvent un complément utile pour fixer le débit maximum d'exploitation. De tels essais, classiquement mis en œuvre pour la réalisation de captages en nappe, sont plus délicats à interpréter en systèmes fissuraux et en karst.

Des informations très utiles sur le rôle hydrodynamique des fractures présentes et le fonctionnement du système aquifère, tant en milieu de socle, qu'en milieu calcaire fracturé, peuvent être obtenues par des méthodes spécifiques à ces milieux (Gringarten, 1982; Bangoy, 1992; Louche et al., 1994).

II.8 Modélisation

Les méthodes sont variées et se sont largement développées avec l'essor des capacités de calcul numérique :

- **modèles globaux de type « boîte noire »**, où l'on recherche la fonction de transfert transformant un signal d'entrée en signal de sortie ; ils conviennent assez bien aux systèmes fissuraux ou karstiques, quand on dispose des enregistrements conjoints des précipitations (fonction d'entrée) et des flux de sortie (hydrogrammes) ;
- **modèles déterministes globaux**, basés sur la vidange de réservoirs multiples représentant des unités hydrogéologiques composant le système aquifère, notamment le modèle MMO8 (Mero, 1978) ;
- **modèles déterministes, discrets ou matriciels**, en résolvant les équations différentielles de transfert, d'une maille ou d'un nœud à l'autre, par la méthode des différences finies ou des éléments finis, en imposant aux limites les conditions adéquates de potentiel ou de flux, plus des conditions initiales en cas de modèle transitoire ; ces modèles en 2 ou 3D sont essentiellement utilisés dans le cas de nappes en systèmes aquifères d'une certaine ampleur (résumé des méthodes et bibliographie *in* de Marsily, 1986) ;

- **modèles stochastiques** utilisant les méthodes probabilistes, souvent appliquées pour reconstituer des données ou estimer des paramètres (dont les caractéristiques hydrodynamiques) à partir d'une distribution spatiale connue (krigeage), mais aussi pour simuler certains écoulements, notamment à partir de recharge aléatoire, à l'aide d'équations différentielles partielles stochastiques (explications et bibliographie *in* de Marsily, 1986);
- **modèles neuronaux** basés sur un réseau de connexion de neurones artificiels, simulant le traitement de l'information qui se déroule dans le système nerveux (résumé des méthodes et bibliographie *in* Lallahem, 2002).

II.9 Composition chimique et méthodes d'analyse des données hydrochimiques

Composition chimique des eaux: au cours de sa traversée de la structure géologique, l'eau acquiert sa minéralisation aux dépens des minéraux des roches rencontrées, mais aussi des gaz qui peuvent eux aussi s'y trouver (génétiquement, par piégeage ou en circulation). L'acquisition du chimisme de l'eau est généralement progressive: il n'est donc pas anormal que la minéralisation de l'eau ne soit pas toujours identique d'un bout à l'autre du système aquifère, ni d'une saison à l'autre à l'exutoire. Les échanges chimiques entre l'eau et la roche sont tributaires de nombreux paramètres, tels que l'acidité de l'eau d'infiltration, la nature des formations superficielles (sol notamment), les réactions possibles de dissolution, de précipitation, d'oxydo-réduction, la température, le temps de contact (les conditions de flux ne sont pas sans influence sur la minéralisation), etc. Ainsi, l'étude de la composition chimique de l'eau peut permettre d'orienter la recherche de son cheminement à travers une structure adéquate.

Chroniques de paramètres physico-chimiques (Bakalowicz, 1979, Mudry, 1987): elles permettent d'accéder à la variabilité de la minéralisation, paramètre pertinent d'évaluation de la vulnérabilité mais aussi de préciser la structure et le fonctionnement de réseaux aquifères, en :

- décelant une réalimentation par des eaux jeunes, souvent superficielles;
- mettant en évidence un apport d'eaux profondes à long temps de séjour;
- différenciant les familles d'eau restituées;
- identifiant l'aquifère principal (celui qui assurerait le tarissement du point d'eau) et en caractérisant sa minéralisation, afin de le cibler pour le recapter;
- démontrant qu'un forage appartient au même gîte hydrominéral que les sources voisines.

Il est souvent bénéfique de les corrélérer avec les chroniques correspondantes de pluie et de débit.

Méthodes d'analyse des données hydrochimiques : les plus utilisées sont les suivantes :

- le chimiogramme (concentration en fonction du temps) des éléments caractéristiques de la minéralisation qui peut être étudié en régime naturel ou en pompage. Les chutes de concentration traduisent une réalimentation par des eaux jeunes, souvent superficielles et donc exposées à la pollution chronique et/ou accidentelle en surface (Mudry, 1987). Les augmentations traduisent plutôt un apport d'eaux profondes à long temps de séjour, qui peuvent tout autant contaminer la ressource en eau minérale naturelle (minéralisation excessive, fer, fluor, baryum, arsenic, etc.);
- la distribution des fréquences de teneurs de paramètres (Bakalowicz, 1979) qui permet de différencier les familles d'eau restituées. Une courbe de distribution unimodale montre un aquifère bon mélangeur, peu sensible aux apports superficiels ou profonds, donc garantissant les critères de stabilité; une courbe plurimodale traduit la restitution séquentielle de familles d'eau différentes à l'exutoire. Ce cas ne garantit pas la stabilité de la composition chimique;
- les courbes flux chimique-débit (Blavoux et Mudry, 1983, Mudry, 1991) qui permettent d'identifier l'aquifère principal (celui qui assurerait le tarissement du point d'eau) et de caractériser sa minéralisation, afin de le cibler pour le recapter;
- les analyses multivariées, effectuées à partir des tableaux d'analyses physico-chimiques, qui sont le moyen d'en synthétiser l'information : corrélation entre variables, similitudes entre points d'échantillonnage différents et/ou périodes de prélèvement sur un même point :
 - l'analyse en composantes principales (ACP) est une méthode statistique descriptive sur données numériques continues, utilisant la métrique euclidienne (Blavoux et Mudry, 1986). La disparité des gammes de teneurs chimiques impose le recours à une analyse sur variables centrées réduites, afin que chaque variable apporte la même variance (le même poids) dans l'analyse. L'interprétation des axes principaux de l'espace des variables (teneurs chimiques) permet celle de l'espace des individus (prélèvements),

- l'analyse factorielle des correspondances (AFC) est également une analyse descriptive sur données discrètes (variables qualitatives). Elle utilise une métrique probabiliste de type Chi^2 ⁽³⁴⁾, et autorise la représentation simultanée, sur le même graphique, d'une part des variables quantitatives (teneurs chimiques préalablement discrétisées en classes) et qualitatives (mais également des variables et des individus, facilitant ainsi la caractérisation des prélèvements à l'aide des descripteurs (Mudry, 1987). On peut ainsi utiliser des variables qualitatives d'ordre géologique (lithologie, proximité de faille, etc.), géomorphologique (crête, pente, vallée, etc.), occupation du sol (prairie, maïs, vigne, serre, etc.), captivité de la nappe (libre, captive), climatologique, etc. (Lacroix, 1991),
- les classifications automatiques sont d'autres modes de représentation dans un espace multidimensionnel. Si ACP et AFC représentent les points en projection sur des espaces à 2 dimensions, la classification ascendante hiérarchique (CAH) représente la distance multidimensionnelle des points. L'algorithme agglomère de proche en proche les points les moins distants. L'arborescence obtenue au final traduit la similitude de composition chimique entre prélèvements,
- l'analyse factorielle discriminante (AFD) est une méthode d'analyse statistique inférentielle (ou décisionnelle) destinée à valider une hypothèse (Mudry, 1991, Abdelgader et Mudry, 1995, Abdelgader et *al.*, 1996 a et b). Les individus (prélèvements) sont rangés dans des groupes d'appartenance (variable qualitative à tester). L'algorithme calcule la distance d'un point aux barycentres des différents groupes prédéfinis. Si l'individu est plus proche du barycentre de son groupe d'appartenance que des autres, il est dit bien classé; s'il en est plus loin, il est dit réaffecté au groupe dont il est statistiquement le plus proche et dit mal classé. Cette méthode très puissante permet par exemple de démontrer qu'un forage appartient au même gîte hydrominéral que les sources voisines.

II.10 Traçages

II.10.1 Traçages artificiels

Les traçages artificiels peuvent permettre de vérifier les relations supposées entrée-sortie du système et, par conséquent, de préciser le point ou les points d'entrée (alimentation). Ils sont le plus souvent réalisés par une injection brève (la plus proche possible d'une impulsion), directement dans la nappe ou en un point d'accès à un réseau aquifère, d'un traceur qui doit répondre à un certain nombre de conditions (très soluble, peu adsorbable par les particules argileuses, non dégradable, pratiquement inexistant dans l'eau à tracer, aisément dosable même à très faible concentration, non toxique, etc.). Les plus courants sont l'iodure de sodium ou de potassium (incolores) et les colorants xanthéniques (uranine, rhodamine, etc.). La restitution est suivie par des prélèvements (sur une source ou dans un forage en pompage) suffisamment nombreux et pendant une période qui doit être suffisamment longue pour permettre de tracer une courbe de restitution la plus complète possible (Gaspar, 1987; Crampon et *al.*, 1994).

- En nappe, les traçages d'essai permettent de déterminer les temps de transfert par convection pure et, partant, la vitesse effective de transit (transfert de masse), la porosité cinématique et la dispersivité, paramètres nécessaires à l'évaluation de la vulnérabilité d'un captage par rapport à des foyers de pollution potentielle. Ils sont parfois, mais pas assez souvent, réalisés en vue de la détermination des périmètres de protection des captages d'alimentation en eau des collectivités.
- En aquifère fracturé (réseau de fractures) et en milieu karstique, leur objectif premier est la démonstration de l'existence d'une relation entre une entrée ponctuelle du type perte et une émergence naturelle ou un captage. Contrairement au cas de la nappe, on ne déduit pas de la courbe-réponse les paramètres hydrodispersifs (dispersivité et porosité cinématique), mais l'analyse de la Distribution des Temps de Séjour (DTS) et la détermination de la réponse impulsionnelle caractéristique du système (Duffy et Gelhar, 1985), permettent de mettre en évidence la pluralité des cheminements et, dans certaines conditions, de prévoir les modalités de restitution dans des conditions différentes de régime (Dzikowski, 1992; Crampon et *al.*, 1994).

II.10.2 Traçages naturels

Les traceurs naturels sont simplement les paramètres physico-chimiques spécifiques de conditions caractéristiques d'une aire d'alimentation (nature minéralogique, température, pluviosité, etc.) ou d'un terrain traversé au sein du système aquifère. Par exemple, le lessivage de terrains riches en gypse va marquer la composition de l'eau, de même pour les terrains dolomitiques qui vont enrichir l'eau en magnésium. L'analyse de la composition chimique de l'eau à l'émergence participe ainsi à la reconnaissance de la structure du système aquifère (*cf.* § II.9).

(34) Chi^2 représente une mesure de dispersion d'une population statistique sur des données discrètes.

Elle peut utilement être complétée par le dosage des **isotopes stables** des éléments présents dans l'eau, qui peut également apporter de précieux renseignements sur sa provenance :

- le fractionnement isotopique de l'**oxygène** des précipitations ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) variant avec l'**altitude**, il est possible de déterminer celle de l'aire d'alimentation, dans la mesure où le gradient altitudinal de ce fractionnement a été établi dans la région et sous réserve que les altitudes à déterminer soient suffisamment contrastées ;
- le fractionnement isotopique du **carbone** ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) permet de retracer l'origine du carbone de la phase gazeuse (CO_2) dissoute, le plus souvent d'origine profonde, et/ou de la phase dissoute (carbonates, hydrogénocarbonates) ;
- le dosage relatif des isotopes du **soufre** ($^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$) est également très utile pour lever des indéterminations sur l'origine des sulfates (évaporitique, oxydation de la pyrite, etc.) comme cela a pu être effectué dans le secteur de Saint-Amand-les-Eaux (Droz, 1985) ;
- le rapport des isotopes de l'**azote** ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$), qui peut aider à déterminer la provenance des composés azotés présents dans une nappe soumise à l'influence des activités anthropiques (eaux usées, engrais minéraux ou organiques), n'est pas censé être utilisé pour les eaux minérales, normalement exemptes de nitrates (du moins d'origine anthropique).

II.11 Datation

Il s'agit, en quelque sorte, d'un traçage naturel à l'aide de marqueurs non conservatifs, dont le temps de dégradation physico-chimique ou radioactive est adapté au temps de résidence de l'eau dans le réservoir et permet de dater l'eau qui émerge. Le temps de séjour est un temps réel dans le cas extrême où l'aquifère fonctionne par recharges successives poussant les précédentes (modèle piston pur), il s'agit d'un temps probabiliste (DTS) lorsque l'eau qui entre se mélange avec l'ensemble du réservoir (modèle mélangeur parfait). Dans la nature, les deux phénomènes se superposent (modèle piston percé). La méthode s'applique aussi bien en système fissural qu'en nappe.

Des temps de quelques jours à quelques semaines peuvent être mesurés à l'aide du carbone organique dissous (COD) ou du ^{222}Rn , des temps de quelques années à l'aide du tritium (^3H) ou du CFC, des temps de quelques siècles à quelques millénaires à l'aide de ^{14}C .

Avant les explosions thermonucléaires dans l'atmosphère, l'activité moyenne du tritium atmosphérique (liée alors au seul rayonnement cosmique) était de l'ordre de 10 U.T. (une Unité tritium ou U.T. représente l'activité d'un atome de tritium (^3H) pour 10^{18} atomes d'hydrogène stable (^1H)). À l'apogée des expérimentations en atmosphère, l'activité atteignit des valeurs de 5 000 à 6 000 U.T. pour les latitudes moyennes de l'hémisphère nord, dans les années 1963-1964. Ce pic a donc pu servir de signal d'entrée pour les eaux météoriques pénétrant dans les systèmes aquifères. Mais comme la période de ce radio-traceur est assez courte (12,26 ans), il devient de plus en plus difficile d'en déceler des traces dans les eaux émergentes.

Dans le cas du ^{14}C , la période étant plus longue (5 730 ans), les datations peuvent porter sur plusieurs siècles et même plusieurs millénaires. Une incertitude demeure du fait de la méconnaissance de l'activité initiale du ^{14}C et de la présence possible de carbone d'origine magmatique dont la teneur en ^{14}C est nulle.

Dans tous les cas, l'âge obtenu ne peut être considéré que comme un âge global : les temps de séjour moyens varient selon les parcours et, même dans un parcours unique, toutes les molécules d'eau ne se déplacent pas à la même vitesse. Il peut donc arriver que des transits rapides à faible débit (mais susceptibles d'être vecteurs de contamination) soient masqués par l'âge globalement ancien d'une masse d'eau importante à déplacement beaucoup plus lent. Un âge globalement élevé de l'eau à l'exutoire ne garantit donc pas une complète absence de vulnérabilité.

II.12 Géothermomètres

Les thermomètres géochimiques ou géothermomètres peuvent fournir une estimation de la température atteinte par les eaux qui s'infiltrèrent et en conséquence, compte tenu du gradient géothermique local, peuvent permettre d'estimer la profondeur maximale atteinte par l'eau. Il en existe plusieurs, tels que SiO_2 , Na/K et Na/K/Ca (Michard, 1979), utilisés notamment à Chaudes-Aigues. Le géothermomètre le plus connu est le thermomètre à silice. La solubilité de la silice des minéraux est en effet fonction principalement de la température à pH constant et la réaction est difficilement réversible dans une solution saturée. Les courbes de saturation en silice dissoutes à partir des phases minérales peuvent alors être utilisées pour déterminer le maximum de température atteinte par l'eau (Pouchan, 1994).

Annexe 2

Validation du critère de pureté

Étude du Laboratoire d'études et de recherches en hydrologie (LERH) de l'Afssa

Les données les plus complètes sur la qualité des eaux embouteillées ayant été recueillies lors de l'inventaire de 1995, il est apparu nécessaire d'actualiser ce travail notamment vis-à-vis des micropolluants organiques (MPO) sur la base d'un échantillonnage représentatif d'eaux minérales naturelles, ce qui explique la démarche du LERH présentée ci-dessous.

I. Méthodologie et paramètres de l'Étude

Données du contrôle sanitaire

Pour les années 2004 et 2005, les données de l'étude ont été extraites du fichier national des sources d'eaux minérales naturelles tenu à jour par le LERH qui y intègre les résultats du contrôle sanitaire effectué sur toutes les eaux minérales naturelles françaises. 180 000 bulletins de contrôle sanitaire ont été émis, dont 1 472 sur les produits finis.

L'extraction des résultats des analyses montre que les paramètres suivis dans le cadre du contrôle sanitaire sont variables suivant les sites (tableau 3).

Tableau 3 : Paramètres mesurés dans le cadre du contrôle sanitaire pour les différents sites d'embouteillage en 2004 et 2005

Site EMN	Nombre d'analyses 2004	Nombre d'analyses 2005	Nombre d'analyses de MPO	Paramètres mesurés
A	41	55	0	alcalinité, chlorures, conductivité, pH, microbiologie
B	43	49	35	alcalinité, chlorures, CO ₂ , conductivité, fer total, fluorures, manganèse, microbiologie
C	8	11	3	alcalinité, ammonium, chlorures, CO ₂ , conductivité, fer total, fluorures, manganèse, nitrates, nitrites, pH, microbiologie
D	74	73	4	alcalinité, calcium, conductivité, magnésium, nitrates, pH, microbiologie
E	74	57	131	alcalinité, benzène, calcium, chlorures, CO ₂ , conductivité, magnésium, nitrates, potassium, résidu sec à 180 °C, sodium, sulfates, microbiologie
F	22	21	0	alcalinité, chlorures, conductivité, nitrates, pH, sulfates, microbiologie
G	2	1	0	alcalinité, ammonium, anhydride de phosphate, calcium, chlorures, conductivité, fer total, fluorures, magnésium, manganèse, nitrates, nitrites, pH, silice en SiO ₂ , sodium, microbiologie
H	10	15	0	alcalinité, chlorures, conductivité, sulfates, microbiologie
I	4	2	2	alcalinité, conductivité, pH, microbiologie
J	15	14	0	alcalinité, conductivité, lithium, pH, microbiologie
K	37	36	1	alcalinité, chlorures, CO ₂ , conductivité, fer total, fluorures, manganèse, nitrites, microbiologie
L	30	60	12	alcalinité, chlorures, CO ₂ , conductivité, fer total, fluorures, manganèse, microbiologie
M	NC	NC	NC	eaux de source (pas de données dans la base des eaux minérales naturelles)
N	0	0	0	pas d'analyses

Le contrôle sanitaire ne permet donc de disposer que de peu de données pour apprécier la qualité des eaux minérales naturelles au regard des micropolluants organiques. C'est pourquoi des analyses spécifiques ont été réalisées par le LERH.

Eaux minérales naturelles étudiées

Quatorze sites d'embouteillage ont été retenus soit 49 émergences et 18 produits finis, répartis en fonction des embouteilleurs, des niveaux de production et des zones géographiques. Des analyses ont été réalisées dans le cadre spécifique de cette étude. En outre, les analyses incluant les micropolluants organiques réalisées par le LERH dans le cadre de saisines récentes (depuis 2004) de l'Afssa pour la reconnaissance des eaux minérales naturelles ont également été prises en compte.

Informations recueillies, prélèvements et analyses effectués

Le LERH a effectué des prélèvements aux émergences et sur le produit fini (eau embouteillée), ce qui a permis de vérifier l'incidence des opérations de traitement dans le process d'embouteillage.

Pour les eaux minérales naturelles issues d'un mélange, seules les émergences les plus contributives ont été analysées. Pour identifier une éventuelle contamination ancienne par des micropolluants organiques dans les produits finis, des prélèvements ont été effectués dans l'échantillothèque de l'usine.

Le tableau 4 donne la liste des micropolluants organiques recherchés par le LERH dans le cadre des dossiers d'autorisation d'exploitation. Cette liste a été complétée par les listes régionales pour les eaux superficielles et les eaux souterraines afin de tenir compte des molécules utilisées localement.

Tableau 4 : Micropolluants recherchés

Pesticides chlorés (L/L-GC-ECD)	LD (ng/L)	LQ (ng/L)	Normes
Trifluraline	10	30	NF EN ISO 6468 (02/1997)
α-Hexachlorohexane	3	10	NF EN ISO 6468 (02/1997)
Hexachlorobenzène	3	10	NF EN ISO 6468 (02/1997)
β-Hexachlorohexane	3	10	NF EN ISO 6468 (02/1997)
Lindane	3	10	NF EN ISO 6468 (02/1997)
Alachlore	17	50	NF EN ISO 6468 (02/1997)
Heptachlore	3	10	NF EN ISO 6468 (02/1997)
Aldrine	3	10	NF EN ISO 6468 (02/1997)
Isobenzane	3	10	NF EN ISO 6468 (02/1997)
Isodrine	3	10	NF EN ISO 6468 (02/1997)
Heptachlore époxyde B	3	10	NF EN ISO 6468 (02/1997)
24' DDE	3	10	NF EN ISO 6468 (02/1997)
α-Endosulfane	3	10	NF EN ISO 6468 (02/1997)
44' DDE	3	10	NF EN ISO 6468 (02/1997)
Dieldrine	3	10	NF EN ISO 6468 (02/1997)
24' DDD	3	10	NF EN ISO 6468 (02/1997)
Endrine	3	10	NF EN ISO 6468 (02/1997)
β-Endosulfane	3	10	NF EN ISO 6468 (02/1997)
44' DDD	3	10	NF EN ISO 6468 (02/1997)
24' DDT	3	10	NF EN ISO 6468 (02/1997)
44' DDT	3	10	NF EN ISO 6468 (02/1997)

Pesticides azotés (S/L-HPLC-DAD)	LD (ng/L)	LQ (ng/L)	Normes
Déisopropylatrazine	4	12,5	ISO 11369 : 1997 (11/1997)
Déséthylatrazine	4	12,5	ISO 11369 : 1997 (11/1997)
Amétryne	17	50	ISO 11369 : 1997 (11/1997)
Sébutylazine-déséthyl	8	25	ISO 11369 : 1997 (11/1997)
Hexazinone	33	100	ISO 11369 : 1997 (11/1997)
Simazine	8	25	ISO 11369 : 1997 (11/1997)
Cyanazine	8	25	ISO 11369 : 1997 (11/1997)
Terbuthryne	8	25	ISO 11369 : 1997 (11/1997)
Atrazine	17	50	ISO 11369 : 1997 (11/1997)
Métazachlore	17	50	ISO 11369 : 1997 (11/1997)
Sébutylazine	4	12,5	ISO 11369 : 1997 (11/1997)
Propazine	4	12,5	ISO 11369 : 1997 (11/1997)
Terbutylazine	4	12,5	ISO 11369 : 1997 (11/1997)
Métolachlore	8	25	ISO 11369 : 1997 (11/1997)
Prométon	17	50	ISO 11369 : 1997 (11/1997)

PESTICIDES PHENYLURÉES (S/L-HPLC-DAD)	LD (ng/L)	LQ (ng/L)	Normes
Métoxuron	17	50	ISO 11369 : 1997 (11/1997)
Méthabenzthiazuron	8	25	ISO 11369 : 1997 (11/1997)
Chlortoluron	33	100	ISO 11369 : 1997 (11/1997)
Monolinuron	17	50	ISO 11369 : 1997 (11/1997)
Isoproturon	17	50	ISO 11369 : 1997 (11/1997)
Diuron	17	50	ISO 11369 : 1997 (11/1997)
Métobromuron	17	50	ISO 11369 : 1997 (11/1997)
Linuron	8	25	ISO 11369 : 1997 (11/1997)

Pesticides divers chlorés (ELL/GC/ECD)	LD (ng/L)	LQ (ng/L)	Normes
Folpel	17	50	NF EN ISO 6468

Pesticides divers azotés (LC/MS/MS)	LD (ng/L)	LQ (ng/L)	Normes
Atrazine-2-hydroxy	7	20	méthode interne IPL
Secbuméton	7	20	méthode interne IPL
Déséthyl-terbutylazine	7	20	méthode interne IPL

Pesticides divers carbamates (LC/MS/MS)	LD (ng/L)	LQ (ng/L)	Normes
Carbofuran	17	50	méthode interne IPL

Pesticides divers diazines (LC/MS/MS)	LD (ng/L)	LQ (ng/L)	Normes
Bentazone	17	50	méthode interne IPL

Pesticides divers phenoxyacides (LC/MS/MS)	LD (ng/L)	LQ (ng/L)	Normes
2,4-D	17	50	méthode interne IPL
2,4-DP (Dichlorprop)	17	50	méthode interne IPL
2,4-MCPA	17	50	méthode interne IPL
MCPP (Mécoprop)	17	50	méthode interne IPL
Triclopyr	17	50	NF EN ISO 10695

Pesticides divers (LC/DAD/MS)	LD (ng/L)	LQ (ng/L)	Normes
Oxadiazon	17	50	NF EN ISO 10695
Dinoterbe	17	50	NF EN ISO 10695

Pesticides divers (HPLC)	LD (ng/L)	LQ (ng/L)	Normes
Dinoseb	17	50	méthode interne IPL
Paraquat	170	500	méthode interne IPL
Diquat	17	50	méthode interne IPL

Pesticides divers (LC/MS/MS)	LD (ng/L)	LQ (ng/L)	Normes
Aminotriazole	170	100	méthode interne IPL
Glyphosate	170	100	méthode interne IPL
AMPA	170	100	méthode interne IPL
Tebutame	7	20	méthode interne IPL
Diflufenicanil	7	20	méthode interne IPL
Carbendazime	17	50	méthode interne IPL
Imidaclopride	7	20	méthode interne IPL
Oxadixyl	17	50	méthode interne IPL
2,6-dichlorobenzamide	17	50	méthode interne IPL
Piperonyl-butoxyde	17	50	NF EN ISO 10695
Tolylfluanide	17	50	NF EN ISO 10695
Sulcotrione	17	50	NF EN ISO 10695

Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) (L/L- HPLC-Fluo)	LD (ng/L)	LQ (ng/L)	Normes
Naphtalène	1,5	5	NF EN ISO 17993 (07/2004)
2-méthyl-naphtalène	3	10	NF EN ISO 17993 (07/2004)
Acénaphthène	1,5	5	NF EN ISO 17993 (07/2004)
Fluorène	1,5	5	NF EN ISO 17993 (07/2004)
Phénanthrène	3	10	NF EN ISO 17993 (07/2004)
Anthracène	1,5	5	NF EN ISO 17993 (07/2004)
Fluoranthène	3	10	NF EN ISO 17993 (07/2004)
Pyrène	1,5	5	NF EN ISO 17993 (07/2004)
Benzo(a)anthracène	1,5	5	NF EN ISO 17993 (07/2004)
Chrysène	1,5	5	NF EN ISO 17993 (07/2004)
Benzo(b)fluoranthène	1,5	5	NF EN ISO 17993 (07/2004)
Benzo(k)fluoranthène	0,8	2,5	NF EN ISO 17993 (07/2004)
Benzo(a)pyrène	0,8	2,5	NF EN ISO 17993 (07/2004)
Dibenzo(ah)anthracène	1,5	5	NF EN ISO 17993 (07/2004)
Benzo(ghi)pérylène	3	10	NF EN ISO 17993 (07/2004)
Indéno(1,2,3)cd-pyrène	3	10	NF EN ISO 17993 (07/2004)

Hydrocarbures totaux (L/L- GC-FID)	LD (ng/L)	LQ (ng/L)	Normes
HCT	0,03	0,08	NF EN ISO 9377-2 12/2000)

Composés organohalogénés volatils et BTEX (HS dynamique-GC-FID/ECD)	LD (ng/L)	LQ (ng/L)	Normes
Dichlorodifluorométhane	0,01	0,04	NF EN ISO 15680 (01/2004)
Chlorométhane	0,08	0,5	NF EN ISO 15680 (01/2004)
Chlorure de vinyle	0,08	0,5	NF EN ISO 15680 (01/2004)
Bromométhane	0,17	1	NF EN ISO 15680 (01/2004)
Chloroéthane	0,08	0,5	NF EN ISO 15680 (01/2004)
Trichlorofluorométhane	0,002	0,01	NF EN ISO 15680 (01/2004)
1,1-dichloroéthylène	0,03	0,2	NF EN ISO 15680 (01/2004)
Dichlorométhane	0,17	1	NF EN ISO 15680 (01/2004)
trans-1,2-dichloroéthylène	0,03	0,2	NF EN ISO 15680 (01/2004)
1,1-dichloroéthane	0,03	0,2	NF EN ISO 15680 (01/2004)
2,2-dichloropropane	0,02	0,1	NF EN ISO 15680 (01/2004)
cis-1,2-dichloroéthylène	0,02	0,1	NF EN ISO 15680 (01/2004)
Chloroforme	0,003	0,02	NF EN ISO 15680 (01/2004)
Bromochlorométhane	0,002	0,01	NF EN ISO 15680 (01/2004)
1,1,1-trichloroéthane	0,002	0,01	NF EN ISO 15680 (01/2004)
1,1-dichloropropène	0,02	0,1	NF EN ISO 15680 (01/2004)
Tétrachlorure de carbone	0,002	0,01	NF EN ISO 15680 (01/2004)
1,2-dichloroéthane	0,03	0,2	NF EN ISO 15680 (01/2004)

Composés organohalogénés volatils et BTEX (HS dynamique-GC-FID/ECD)	LD (ng/L)	LQ (ng/L)	Normes
benzène	0,02	0,1	NF EN ISO 15680 (01/2004)
Trichloroéthylène	0,002	0,01	NF EN ISO 15680 (01/2004)
1,2-dichloropropane	0,02	0,1	NF EN ISO 15680 (01/2004)
Bromodichlorométhane	0,002	0,01	NF EN ISO 15680 (01/2004)
Dibromométhane	0,002	0,01	NF EN ISO 15680 (01/2004)
cis-1,3-dichloropropène	0,01	0,04	NF EN ISO 15680 (01/2004)
Toluène	0,02	0,1	NF EN ISO 15680 (01/2004)
trans-1,3-dichloropropène	0,01	0,04	NF EN ISO 15680 (01/2004)
1,1,2-trichloroéthane	0,01	0,04	NF EN ISO 15680 (01/2004)
1,3-dichloropropane	0,02	0,1	NF EN ISO 15680 (01/2004)
Tétrachloroéthylène	0,002	0,01	NF EN ISO 15680 (01/2004)
Chlorodibromométhane	0,002	0,01	NF EN ISO 15680 (01/2004)
1,2-dibromoéthane	0,002	0,01	NF EN ISO 15680 (01/2004)
Chlorobenzène	0,03	0,1	NF EN ISO 15680 (01/2004)
1,1,1-tétrachloroéthane	0,003	0,01	NF EN ISO 15680 (01/2004)
Ethylbenzène	0,03	0,1	NF EN ISO 15680 (01/2004)
m-xylène	0,03	0,1	NF EN ISO 15680 (01/2004)
p-xylène	0,03	0,1	NF EN ISO 15680 (01/2004)
o-xylène	0,03	0,1	NF EN ISO 15680 (01/2004)
Styrène	0,03	0,1	NF EN ISO 15680 (01/2004)
Isopropylbenzène	0,03	0,1	NF EN ISO 15680 (01/2004)
Bromoforme	0,003	0,01	NF EN ISO 15680 (01/2004)
1,1,2,2-tétrachloroéthane	0,01	0,04	NF EN ISO 15680 (01/2004)
1,2,3-trichloropropane	0,07	0,2	NF EN ISO 15680 (01/2004)
n-propylbenzène	0,03	0,1	NF EN ISO 15680 (01/2004)
Bromobenzène	0,03	0,1	NF EN ISO 15680 (01/2004)
1,3,5-triméthylbenzène	0,03	0,1	NF EN ISO 15680 (01/2004)
2-chlorotoluène	0,03	0,1	NF EN ISO 15680 (01/2004)
4-chlorotoluène	0,03	0,1	NF EN ISO 15680 (01/2004)
tert-butylbenzène	0,03	0,1	NF EN ISO 15680 (01/2004)
1,2,4-triméthylbenzène	0,03	0,1	NF EN ISO 15680 (01/2004)
sec-butylbenzène	0,03	0,1	NF EN ISO 15680 (01/2004)
4-isopropyltoluène	0,03	0,1	NF EN ISO 15680 (01/2004)
1,3-dichlorobenzène	0,03	0,1	NF EN ISO 15680 (01/2004)
1,4-dichlorobenzène	0,03	0,1	NF EN ISO 15680 (01/2004)
n-butylbenzène	0,03	0,1	NF EN ISO 15680 (01/2004)
1,2-dichlorobenzène	0,03	0,1	NF EN ISO 15680 (01/2004)
1,2-dibromo-3-chloropropane	0,01	0,04	NF EN ISO 15680 (01/2004)
1,2,4-trichlorobenzène	0,01	0,04	NF EN ISO 15680 (01/2004)
Hexachlorobutadiène	0,003	0,01	NF EN ISO 15680 (01/2004)
Naphtalène	0,07	0,2	NF EN ISO 15680 (01/2004)
1,2,3-trichlorobenzène	0,01	0,04	NF EN ISO 15680 (01/2004)

LD : limite de détection, LQ : limite de quantification.

Ainsi les différentes familles analysées sont celles des pesticides (organo-azotés, organo-phosphorés, organo-chlorés, phénylurées, etc.), des hydrocarbures (HAP, HAP totaux), des composés organohalogénés volatils et des BTEX (benzène, toluène, éthyl-benzène et xylène). Les analyses ont été conduites selon les méthodes normalisées en vigueur, avec confirmation de l'identification des composés par spectrométrie de masse.

II. Résultats

II.1 Résultats bruts

Sur la base de l'échantillonnage limité de l'étude conduite sur les 14 sites d'embouteillage :

- **6 sites** présentent des **résultats inférieurs aux limites de détection pour tous les composés recherchés** (sites C, D, E, F, G, H) ;
- **8 sites**, soit 12 émergences et 8 produits finis contiennent des **micropolluants à l'état de traces ou à des niveaux quantifiables** (tableau 5). Quatre de ces huit produits finis présentent également des micropolluants dans la bouteille de l'échantillothèque, soit une antériorité de la contamination d'une à deux années. Les familles de produits concernent des pesticides, des composés organohalogénés volatils, des hydrocarbures aromatiques polycycliques ou des sous-produits d'oxydation.

Tableau 5 : Résultats (en ng/L) des analyses effectuées sur les 8 sites où des micropolluants organiques ont été mesurés à l'état de traces ou à des niveaux quantifiables

	Site A		Site L		Site K			Site B			Site M		Site N		Site I		Site J					
	E1	E2	E	Btl	E1	E2	Btl2	E1	E2	E3	Btl	E	Btl	E	Btl	E	Btl	E1	E2	E3	Btl	
Déséthyl-atrazine	16	16	<12,5	<12,5	<12,5	<12,5	<12,5	57/58	<12,5	<12,5	21/43 ⁺	<12,5	<12,5	<12,5	<12,5	<12,5	<12,5	<12,5	<12,5	<12,5	<12,5	<12,5
Déisopropyl-atrazine	6	6	<12,5	<12,5	<12,5	<12,5	<12,5	<12,5	<12,5	<12,5	<12,5	<12,5	<12,5	<12,5	<12,5	<12,5	<12,5	<12,5	<12,5	<12,5	<12,5	<12,5
Atrazine	12	12	<50	<50	<50	<50	<50	34/35	34/35	34/35	34/35 ⁺	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Diuron	<50	<50	62	75 ⁺	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Trichloréthylène	<10	<10	12	3 ⁺	<10	<10	<10	74/107	180/260	2/23	33/35 ⁺	<10	<10	<20/110	70/110	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Tétrachloroéthylène	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	172/200	<20	10 / <20	50/140 ⁺	115	105	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
1,1,1-trichloroéthane	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	12/22	5/10	<20	6/9 ⁺	<20	<20	<20	<20	50	Gaz: 60 Plate: 40	<10	<10	<10	<10	<10
Naphtalène	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	491	<20	<20	<20
2-méthyl-naphtalène	<40	<40	<40	<40	<40	<40	<40	<40	<40	<40	<40	<40	<40	<40	<40	<40	<40	<40	113	<40	<40	<40
Acénaphthène	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	4	<5	4	5
Fluorène	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	24	<5	24	22
Phénanthrène	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	52	<10	52	44
Anthracène	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	3	<5	3	3
Fluoranthène	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	13	<10	13	13
Pyrène	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	8	<5	8	8
Chloroforme	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	110/150	10 / <20	36/50	48/167 ⁺	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	19 ⁺	<20	19 ⁺	19 ⁺
Bromodichlorométhane	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<20	<20	10 / <20	<20	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	18 ⁺	<10	18 ⁺	18 ⁺
Chlorodibromométhane	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	27 ⁺	<10	27 ⁺	27 ⁺
Trichlorofluorométhane	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	9-19	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Bromoforme	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	1400 ⁺	<10	1400 ⁺	1400 ⁺
Benzène	<100	<100	<100	<100	24	49	<100	24	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	790	12600	550	<100	<100
Toluène	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	2400	<100	2400	<100
Ethylbenzène	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	140	<100	140	<100
m,p-xylène	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	410	<100	410	<100
o-xylène	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	65	700	600	<100	<100
1,3,5-triméthylbenzène	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	40	<100	40	<100
1,2,4-triméthylbenzène	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	200	<100	200	<100

Pour chaque site, l'origine du prélèvement est indiquée par la codification « E » pour les émergences et « Btl » pour les produits finis. Si le composé est également présent dans la bouteille prélevée dans l'échantillonneur, le résultat est accompagné d'un signe « + », dans le cas contraire, c'est un signe « - ».

Présence de micropolluants organiques dans l'eau des émergences

La présence de molécules anthropiques dans l'eau des émergences résulte vraisemblablement d'une contamination de la ressource profonde, ce qui témoigne de la vulnérabilité du forage vis-à-vis des eaux d'infiltration ou d'une pollution dans l'espace de l'impluvium.

Pour les produits phytosanitaires, l'atrazine et ses produits de dégradation ainsi que le diuron figurent, avec le glyphosate, parmi les pesticides⁽³⁵⁾ les plus retrouvés dans les eaux souterraines et superficielles en France. Cette pression polluante environnementale qui affecte les eaux superficielles et les eaux souterraines, présentée par l'Institut Français de l'Environnement, montre que sur 10 000 stations de surveillance, 96 % des points de mesure des cours d'eau et 61 % des points de mesure des eaux souterraines révèlent la présence de pesticides. Les ressources profondes des gisements d'eaux minérales naturelles peuvent donc ne pas être épargnées.

Parmi les micropolluants organiques retrouvés figurent plusieurs composés halogénés volatils et des hydrocarbures utilisés dans des activités industrielles ou artisanales. Sur les sites B et J on trouve plusieurs de ces composés tant dans les émergences que dans les bouteilles. Sur quelques-uns des sites étudiés, des investigations sont en cours pour comprendre l'origine de ces contaminations mais, compte tenu du temps nécessaire à un polluant de surface pour atteindre ces ressources profondes, l'historique des activités industrielles est très difficile à reconstituer.

Présence de micropolluants organiques uniquement dans les bouteilles

Le mélange de plusieurs forages de qualités différentes, combiné aux process d'embouteillage peut conduire à une diminution de la contamination des composés volatils au sein du produit fini. Mais ces mêmes procédés de traitement peuvent engendrer des sous-produits d'oxydation (chloroforme, bromodichlorométhane, chlorodibromométhane, bromoforme) lorsqu'ils sont mal maîtrisés, ce que l'on observe pour le site J.

II.2 Résultats au regard des critères proposés pour l'évaluation de la pureté

8 émergences sur 49 et 3 produits finis sur 18 ne respectent pas les critères proposés dans la 3^e partie du rapport (§ IV.5) pour l'évaluation de la pureté soit 3 sites sur 14.

Les résultats sont présentés dans les tableaux 6 à 8 ci-dessous, avec la codification suivante : pour chaque site, l'origine du prélèvement est indiquée par la codification « E » pour les émergences et « Btl » pour les produits finis. Si le composé est également présent dans la bouteille prélevée dans l'échantillonnage, le résultat est accompagné en exposant d'un signe « + », dans le cas contraire, c'est un signe « - ».

Tableau 6 : Site d'embouteillage L : résultats des analyses (en ng/L) dépassant les critères de pureté proposés

	Limite de qualité EP (ng/L)	Limite critère pureté (ng/L)	Prélèvements	
			E (ng/L)	Btl (ng/L)
Diuron	100	30	62	75 +

Tableau 7 : Site d'embouteillage B : résultats des analyses (en ng/L) dépassant les critères de pureté proposés

	Limite de qualité EP (ng/L)	Limite critère pureté (ng/L)	Prélèvements			
			E1 (ng/L)	E2 (ng/L)	E3 (ng/L)	Btl (ng/L)
Déséthyl-atrazine	100	30	57-58	< 12,5	< 12,5	21-43 +
Atrazine	100	30	34-35	34-35	34-35	34-35 +

(35) IFEN 2006 : Les pesticides dans les eaux, Données 2003 et 2004.

Tableau 8 : Site d'embouteillage J : résultats des analyses (en ng/L) dépassant les critères de pureté proposés

	Limite de qualité EP (ng/L)	Limite critère pureté (ng/L)	Prélèvements			
			E1 (ng/L)	E2 (ng/L)	E3 (ng/L)	Btl (ng/L)
Naphtalène	/	30	< 20	491	< 20	< 20
2-méthyl- naphtalène	/	30	< 40	113	< 40	< 40
Phénanthrène	/	30	< 10	52	44	< 10
Bromoforme	1 000	/	< 10	< 10	< 10	1400 +
Benzène	1 000	300	790	12 600	550	< 100
Toluène	/	30	< 100	2 400	< 100	< 100
Ethylbenzène	/	30	< 100	140	110	< 100
m,p-xylène	/	30	< 100	410	200	< 100
o-xylène	/	30	65	700	600	< 100
1,3,5-triméthylbenzène	/	30	< 100	40	40	< 100
1,2,4-triméthylbenzène	/	30	< 100	200	180	< 100

Le nombre de micropolluants organiques mis en cause est respectivement de :

- 1 pour le site L, avec la présence de diuron dans l'émergence, dans la bouteille prélevée sur la chaîne d'embouteillage et dans la bouteille de l'échantillothèque;
- 2 pour le site B, avec la présence d'atrazine et de son produit de dégradation sur l'ensemble des points de prélèvement;
- 11 pour le site J, avec la présence de plusieurs composés de la famille des hydrocarbures et celle en quantité très importante de bromoforme uniquement dans la bouteille prélevée sur la chaîne d'embouteillage et dans la bouteille de l'échantillothèque. C'est une mauvaise maîtrise du procédé d'oxydation pour l'élimination du fer qui entraîne l'apparition des bromoformes mais également l'élimination du benzène dans le produit fini par strippage.

II.3 Conclusions de l'étude

Cette étude a permis d'évaluer sur un échantillonnage limité de 14 sites d'eaux minérales naturelles embouteillées, la pureté de ces eaux à l'émergence et dans le produit fini au regard des critères de pureté proposés par les experts du groupe de travail « Eaux minérales naturelles ».

La présence de micropolluants organiques à des concentrations diverses a été décelée sur 8 sites. En appliquant l'approche d'évaluation de la pureté qui prend en compte les limites de qualité des composés, trois sites restent non conformes (L, B et J). Parmi l'ensemble des composés identifiés, se trouvent différentes familles : des pesticides (souvent retrouvés dans les eaux superficielles et les eaux souterraines), des hydrocarbures et des sous-produits d'oxydation.

Les résultats de cette étude montrent qu'il est nécessaire de disposer de données plus complètes et exhaustives en organisant un inventaire national au regard des nombreuses familles de micropolluants organiques et en y intégrant également les principales eaux embouteillées du marché européen distribuées en France.

Introduction

Ministère de la santé publique et de l'assurance maladie - Direction générale de la santé (1995) - Recommandations de bonnes pratiques sanitaires dans les établissements thermaux, 156 p.

Conseil supérieur d'hygiène publique de France - Section des eaux - Ministère de l'emploi et de la solidarité - Secrétariat d'État à la santé et à l'action sociale - (1999) - Recommandations relatives à la gestion du risque microbien lié à l'eau minérale dans les établissements thermaux, 24 p.

Conseil supérieur d'hygiène publique de France - Section des eaux - Ministère de l'emploi et de la solidarité - Secrétariat d'État à la santé et à l'action sociale - (2002) - Recommandations relatives à la gestion du risque microbien lié à l'eau minérale dans les piscines des établissements thermaux, 27 p.

Queneau P. et Hubert J. (2006) Sur la place des eaux minérales dans l'alimentation – Rapport d'un groupe de travail de l'Académie nationale de médecine. 40 p.

Première partie : historique et réglementation

Carribon C. (1996) - Le classement des stations thermales françaises au début du XX^e siècle. *In*: 2000 ans de thermalisme, Jarassé D. éd., Actes du colloque tenu en mars 1994 à Royat. Collection « thermalisme et civilisation », fasc. IV. Publication de l'Institut d'études du Massif Central, p. 49-58.

Division des eaux minérales et thermales (2003) - Historique de la réglementation des eaux minérales, 6 p.

Gouedo-Thomas C. (1994) - Histoire du thermalisme. *In*: Actes du 117^e congrès national des sociétés savantes, Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme), 1992, Ed. du CTHS, p. 13-25.

Jarrasse D. (1996) - Les thermes en France à la fin du XVIII^e siècle : Autour d'une enquête de la Commission royale de médecine (1772). *In*: Actes du colloque « 2000 ans de thermalisme : économie, patrimoine, rites et pratiques », Royat (Puy-de-Dôme), 1994, Ed. Jarrassé, p.129-143.

Lopoukhine M. (1995) - L'exploitation des eaux minérales : données économiques. *In*: Actes du colloque d'hydrotechnique « Eaux minérales et thermales » de la Société hydrotechnique de France, Paris, 1994, *La Houille Blanche*, Publication S.H.F., p. 9-16.

Papciak E. (2000) - Évolution de la réglementation des eaux minérales naturelles. *La Houille Blanche*, 7/8, p. 100-106.

Pelletier A. (1985) - La médecine en Gaule : Villes d'eaux, sanctuaires des eaux. Ed. Picard, 268 p.

Provost M. (1996) - Le thermalisme arverne. *In*: Actes du colloque « 2000 ans de thermalisme : économie, patrimoine, rites et pratiques », Royat (Puy-de-Dôme), 1994, Ed. Jarrassé, p. 3-9.

Deuxième partie : contexte hydrogéologique, vulnérabilité du système aquifère et captage

Articles L. 1322-3 à L. 1322-12, R. 1322-2, R. 1322-5-2, R. 1322-16 à R. 1322-27 du code de la santé publique.

Arrêté du 5 mars 2007 relatif à la constitution du dossier de demande d'autorisation d'exploiter une source d'eau minérale naturelle pour le conditionnement, l'utilisation à des fins thérapeutiques dans un établissement thermal ou la distribution en buvette publique.

Blavoux B. (1995) - Apport des techniques isotopiques à la connaissance des gisements d'eau minérale. *La Houille Blanche*, 50 (2-3), p. 51-58.

Blavoux B. (1998) - La formation des gisements d'eau minérale, *Annales des Mines*, mai 1998, p. 8-12.

Castany G., Margat J. (1977) - Dictionnaire français d'hydrogéologie, Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM), 249 p.

Detay M. (1993) - Le forage d'eau. Réalisation, entretien, réhabilitation. Éditions Masson, 379 p.

Directive 80/777/CEE du 15 juillet 1980 du Conseil relative au rapprochement des législations des États membres concernant l'exploitation et la mise dans le commerce des eaux minérales naturelles modifiée.

Lopoukhine M. (1994) - La protection des ressources en eau minérale : éléments de réflexion. In : Actes du colloque d'hydrotechnique « Eaux minérales et thermales » de la Société hydrotechnique de France, Paris, 1994, *La Houille Blanche*, p. 67-72.

Michard G. (1979) - Les géothermomètres chimiques. Bulletin BRGM, section III, n° 2, p. 183-189.

Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie (MINEFI) – Division nationale des eaux minérales et thermales (DNEMT) - 1995 [a] - Étude d'un gisement d'eau minérale. Les méthodes mises en œuvre. Note technique n° 1, 14 p.

MINEFI - DNEMT (1995 b) - Les techniques de forage utilisées en eau minérale. Note technique n° 2, 16 p.

MINEFI - DNEMT (1995 c) - Le suivi du forage d'eau minérale. Approche méthodologique. Note technique n° 3, 18 p.

MINEFI - DNEMT (1996) - Périmètre sanitaire d'émergence. Note technique n° 6, 13 p.

MINEFI - DNEMT (1997) - Les méthodes géophysiques utilisées en recherche d'eau minérale. Note technique n° 9, 25 p.

MINEFI - DNEMT (1997) - Abandon et fermeture des forages. Note technique n° 11, 12 p.

MINEFI - DNEMT (1999) - Les géothermomètres chimiques. Note technique n° 13, 14 p.

Pfannkuch H.O. (1969) - Elsevier's dictionary of hydrogeology, Elsevier, 168 p.

Pomerol Ch. et Ricour J. (1992) - Terroir et Thermalisme de France. Éditions BRGM, 2^e édition, 298 p.

Ricour J. (1999) - Qu'est-ce qu'une eau minérale ? Géochronique, n° 72, p. 9-10.

Risler J. (1999) - Les sources carbo-gazeuses. Géochronique, n° 72, p. 23-24.

Troisième partie : caractéristiques physico-chimiques, stabilité et pureté des eaux minérales naturelles

Agence française de sécurité sanitaire des aliments (Afssa) (2001) - Avis du 20 décembre 2001 relatif au rapport du groupe de travail mis en place par la Direction générale de la santé sur la qualité radiologique des eaux livrées à la consommation.

Agence française de sécurité sanitaire des aliments (Afssa) (2003) - Avis du 2 décembre 2003 relatif à la fixation de critères de qualité des eaux minérales naturelles et des eaux de source embouteillées permettant une consommation sans risque sanitaire pour les nourrissons et les enfants en bas âge.

Articles L. 1322-1, R. 1322-2, R. 1344-9 et suivants du code de la santé publique.

Arrêté du 5 mars 2007 relatif à la constitution du dossier de demande d'autorisation d'exploiter une source d'eau minérale naturelle pour le conditionnement, l'utilisation à des fins thérapeutiques dans un établissement thermal ou la distribution en buvette publique.

Arrêté du 14 mars 2007 relatif aux critères de qualité des eaux conditionnées, aux traitements et mentions d'étiquetage particuliers des eaux minérales naturelles et de source conditionnées ainsi que de l'eau minérale naturelle distribuée en buvette publique.

Belot Y., Roy M., Metivier H. (1996) - Le tritium de l'environnement à l'Homme. Éditions de physique, Paris, 191 p.

BRGM (2000) - Étude des conditions de stabilisation des eaux minérales gazeuses, rapport R 40683, 55 p.

BRGM (1998) - Critères d'évaluation de la stabilité des eaux minérales, rapport R 40136, 118 p.

Dolques J., Direction générale de l'énergie et des matières premières - Division nationale des eaux minérales et thermales - DNEMT (2003) - Note sur la stabilité de l'eau minérale naturelle et les fluctuations admissibles, 5 p.

Organisation mondiale de la santé . (1994) - Directives de qualité pour l'eau de boisson, 2^e édition, 202 p.

World health organization (2004) - Guidelines for drinking-water, third edition, 515 p.

World health organization (2006) - Guidelines for drinking-water, first addendum to third edition, 68 p.

Directive 80/777/CEE du 15 juillet 1980 du Conseil relative au rapprochement des législations des États membres concernant l'exploitation et la mise dans le commerce des eaux minérales naturelles modifiée, article 7 et annexe III.

Hartemann Ph. et MOLL M. (1992) - Les eaux conditionnées, Tech. & Doc., Collection STAA, Lavoisier, 175 p.

MINEFI – DNEMT. (2000) - Eau minérale et radioactivité. Note technique n° 15, 31 p.

Norme AFNOR NF EN ISO CEI 17025 (Mai 2000) - Prescriptions générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais, 4 p.

Norme AFNOR XP T 90-220 (Août 2003) - Qualité de l'eau. Protocole d'estimation de l'incertitude de mesure associée à un résultat d'analyse pour les méthodes physico-chimiques, 74 p.

Norme AFNOR NF X 07-001 (Décembre 1994) - Normes fondamentales - Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie, 66 p.

Norme CODEX pour les eaux minérales naturelles CODEX STAN 108 - 1981, Rév. 1 – 1997, amendée en 2001, 7 p.

Ohayon-Courtes C. (1992) - L'évolution des espèces réduites du soufre dans les eaux minérales. Cas des eaux sulfurées sodiques. Thèse Sciences pharmaceutiques, Université de Bordeaux II, n° 1, 319 p.

Queneau P. et coll. (2000) - Médecine thermique. Faits et preuves, Masson, chapitre I, 1 - Les eaux minérales naturelles et leurs dérivés, 280 p.

Popoff G., Honegger J.L. (1990) - Les eaux minérales et les matériaux en contact. Hydrogéologie, 4, p. 233-240.

Popoff G. (1992) - Les bonnes pratiques d'exploitation des eaux minérales dans un établissement thermal. Press. Therm. Clim, 129, n° 3, p. 192-201.

Remy M.L., Lemaitre N. (1990) - Eaux minérales et radioactivité. Hydrogéologie n° 4, p.267-278.

Tisserand E. (1998) - Étude des composés soufrés. Application aux eaux minérales d'Enghien-les-Bains. Press. Therm. Clim, 135, 4, p. 215-256.

Scientific Panel on food additives flavourings, processing aids and materials in contact with food. (2006) - Opinion on a request related to the safety in use of the activated alumina treatment for the removal of fluoride from natural mineral waters, Question N° EFSA-Q-2005-069, 8 p.

Quatrième partie : traitements et adjonction

Agence française de sécurité sanitaire des aliments (Afssa) (2001) - Avis du 29 novembre 2001 relatif à une demande d'approbation du procédé de traitement du système IMECA pour les eaux de source et les eaux minérales naturelles déposée par la société DELLA TOFFOLA France.

Agence française de sécurité sanitaire des aliments (Afssa) (2005) - Avis du 17 mars 2005 relatif à l'innocuité et à l'efficacité de nouveaux procédés de traitement des eaux minérales naturelles et des eaux de source conditionnées .

Agence française de sécurité sanitaire des aliments (Afssa) (2005) - Avis du 25 avril 2005 relatif à l'évaluation des risques liés à l'utilisation des supports de filtration recouverts d'oxydes métalliques utilisés comme adsorbants sélectifs pour le traitement des eaux destinées à la consommation humaine.

Agence française de sécurité sanitaire des aliments (Afssa) (2006) - Report of the ad hoc working group on the technological assessment of natural mineral water treatments on the evaluation of treatment by aluminium oxide for the removal of fluoride from natural mineral waters and spring waters, 30 march 2006, 54 p.

Directive 96/70/CE du Parlement Européen et du Conseil du 28 octobre 1996 modifiant la directive 80/777/CEE du Conseil relative au rapprochement des législations des États membres concernant l'exploitation et la mise dans le commerce des eaux minérales naturelles.

Directive 2003/40/CE de la Commission du 16 mai 2003 fixant la liste, les limites de concentration et les mentions d'étiquetage pour les constituants des eaux minérales naturelles, ainsi que les conditions d'utilisation de l'air enrichi en ozone pour le traitement des eaux minérales naturelles et des eaux de source.

Article R. 1322-32 du code de la santé publique.

Arrêté du 14 mars 2007 relatif aux critères de qualité des eaux conditionnées, aux traitements et mentions d'étiquetage particuliers des eaux minérales naturelles et de source conditionnées ainsi que de l'eau minérale naturelle distribuée en buvette publique.

Popoff G., Montiel A. (2006) - Les traitements applicables aux eaux minérales naturelles : avantages et inconvénients. Cahiers de l'association scientifique européenne pour l'eau et la santé, volume 11 – n° 1, 10 p.

MINEFI - DNEMT (1997) - Les eaux minérales et le gaz carbonique. Note technique n° 10, 23 p.

Cinquième partie : conditions d'exploitation des eaux minérales naturelles

Agence française de sécurité sanitaire des aliments (Afssa) (2006) - Avis du 6 février 2006 relatif aux projets de décret modifiant le code de la santé publique relatifs à la sécurité sanitaire des eaux destinées à la consommation humaine, y compris les eaux minérales naturelles et aux arrêtés d'application.

Agence française de sécurité sanitaire des aliments (Afssa) (2006) - Avis du 27 novembre 2006 relatif à l'évaluation des risques sanitaires liés à l'emploi de matériaux en poly(éthylène téréphtalate) (PET) destinés ou mis au contact des denrées alimentaires et des eaux de boisson.

Annexe 1

Abdelgader A., Achour F. et Mudry J. (1996 a) - Validation des écoulements par l'analyse discriminante. *Revue des sciences de l'eau* (Québec - Paris) n° 2, p. 219-230, 4 fig., 2 tabl. - Lavoisier, Paris.

Abdelgader A., Achour F., Mudry J., Chauve P. et Mania J. (1996 b) - Rôle respectif des facteurs systémiques (lithologie, structure, captivité) et externes (épisodes pluvieux) dans la minéralisation des eaux du karst. Exemple du plateau de Besançon (Jura externe). *Bulletin d'hydrogéologie*, Neuchâtel, Suisse. 15, p. 5-18, 7 fig., 6 tabl. Peter Lang, Bern.

Abdelgader A. et Mudry J. (1995) - Influence des événements hydroclimatologiques et du caractère lithologique sur la minéralisation des eaux karstiques. Exemple du plateau de Besançon (Jura externe, France) - *Comptes rendus de l'Académie des sciences* - t. 321, série Ila, p. 129-135, 3 fig., 2 tabl.

Bakalowicz M. (1979) - Contribution de la géochimie des eaux à la connaissance de l'aquifère karstique et à la karstification. *Thèse de doctorat d'État*, Université de Paris VI, 269 p.

Bangoy L.M. (1992) - Hydrodynamique d'un site expérimental en aquifère du socle fissuré - Nouvelle méthode d'interprétation des essais hydrauliques. *Thèse de doctorat*, Université des sciences et techniques du Languedoc, 121 p.

Blavoux B. (1998) - La formation des gisements d'eau minérale. *Annales des Mines*, 1998, p. 8-12.

Blavoux B. et Mudry J. (1983) - Séparation des composantes de l'écoulement d'un exutoire karstique à l'aide des méthodes physico-chimiques. *Hydrogéologie - Géologie de l'ingénieur*, 4, p. 269-278, 8 fig., 1 tabl.

Blavoux B. et Mudry J. (1986) - Utilisation de l'analyse en composantes principales pour l'étude du fonctionnement hydrocinématique de trois aquifères karstiques de la France. *Hydrogéologie*, 1-1986, p. 53-59.

Caous J.Y. (1994) - Essai de zonation des ressources renouvelables potentielles en eau souterraine du Bassin - SDAGE du Bassin Artois-Picardie. Note BRGM 94 SGR-NPC 005, 10 p.

Castany G. et Margat J. (1977) - Dictionnaire français d'hydrogéologie. Éditions BRGM, 249 p.

Chadourne D. (2002) - La directive cadre sur l'eau : objectifs généraux et approche française dans le domaine des eaux souterraines. Colloque *Les aquifères français auront leur carte d'identité - Le référentiel hydrogéologique et les masses d'eau souterraines de la France* - 9^e Journée technique du Comité national français des hydrogéologues, Bordeaux 29-30 novembre 2002, p. 47-52.

Crampon N. (2003) - La pénurie d'eau annoncée : constat, causes, conséquences et recherche de solutions. Colloque *L'eau pour tous*. Conférence donnée à Oran (Algérie) le 23 mars 2003 dans le cadre de la Journée nationale de l'eau sous le patronage du Ministre des ressources en eau, 27 p.

Crampon N., Anouar K., Bracq P., Carlier E., Dzikowski M., Hanich L., Porel G. et Wang H.Q. (1994) - Transport in groundwater flow - Researches on characterization of solute transport in relation with aquifer structure and flow conditions. In : *Trends in Hydrology*, 1, p. 257-266, edited. by S.G. PANDALAI, research trends, Council of scientific information, Trivandrum (India).

Crampon N. et Caous J.Y. (2006) - 2. Nappe de la craie in chapitre IV « Flandres-Artois-Ardennes », p. 337-364. Ouvrage collectif du Comité français d'hydrogéologie de l'A.I.H : *Aquifères et eaux souterraines en France*, Éditions BRGM, 944 p.

Detay M. (1997) - La gestion active des aquifères. Éditions Masson, 416 p.

Droz B. (1985) - Influence de la structure et de la nature des terrains du Valenciennais sur la qualité de la nappe de la craie (Nord de la France). *Thèse de doctorat de 3^e Cycle*, Université des sciences et techniques de Lille, 205 p.

Duffy C.J. et Gelhar L.W. (1985) - A frequency domain approach to water quality modelling in groundwater : Theory. *Water resources research*, 21 (8), p. 1175-1184.

Dzikowski M. (1992) - L'analyse des systèmes-traçages à débit variable et volume constant. Possibilité d'application en milieu karstique. *Thèse de doctorat*, Université des sciences et technologies de Lille, 182 p.

Gaspar E. (1987) - Modern trends in tracer hydrology. *CRC Press*, Boca Raton, 2 vol., 282 p.

Goldscheider N. et Popescu I.C. (2004) - The European approach in ZWAHLEN F. (editor) – 2003 - *Vulnerability*

and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers. COST Action 620, final report p. 17-21. (CE, Bruxelles, Luxembourg).

Gringarten A.C. (1982) - Flow test evaluation of fractured reservoirs. Recent trends in hydrogeology, Geology society of America, *special paper 189*, Narasimhan T.N. ed., p. 237-263.

Lacroix M. (1991) - Impact de l'irrigation sur un aquifère alluvial. Dynamique du système Basse Durance : nitrates et isotopes (cartographie) – piézométrie (modélisation mathématique). *Thèse de doctorat*, Université de Franche-Comté. 162 p., 5 annexes.

Lallahem S. (2002) - Structure et modélisation hydrodynamique des eaux souterraines - Application à l'aquifère crayeux de la bordure nord du Bassin de Paris. *Thèse de doctorat*, Université des sciences et technologies de Lille, 220 p.

Louche B., Crampon N., Colbeaux J.P. et Bracq P. (1994) - Interprétation des pompages d'essai en milieu fracturé - Application au site de Moranrieux (Avesnois, Nord de la France). *Ann. Soc. Géol. Nord*, 3 (2^e série), Novembre 1994, p.109-118.

Mangin A. (1984) - Pour une meilleure connaissance des systèmes hydrologiques à partir des analyses corrélatoires et spectrales. *Journal of hydrology*, 67, 1984, p. 25-43.

Maqsoud A. (1996) - Approche hydrogéologique et hydrochimique du caractère karstique éventuel d'hydrosystèmes souterrains de la craie du Bassin de Paris. *Thèse de doctorat*, Université des sciences et technologies de Lille, 324 p.

Maqsoud A., Bakalowicz M., Crampon N. et Bussiere B. (2003) - Comparison of the functioning of two chalk aquifers. "Applied simulation and modelling" International association of science and technology for development conference, Marbella, Spain, 3-5 september 2003, Proceeding n° 410-129, p. 650-653.

Margat J. (1996) - Les ressources en eau. Collection *Manuels & Méthodes* n°28 - Éditions BRGM, 148 p.

Marsily G. de (1986) - Quantitative hydrogeology - Groundwater hydrology for engineers. Academic Press ed., 440 p.

Mero F. (1978) - The MMO8 hydrometeorological simulation system. Basic concepts and operators guide. *Rep. Tahal Cons. Eng. Israël*, 18 p.

Michard G. (1979) - Les géothermomètres chimiques. *Bulletin BRGM*, section III, n° 2, 1979, p.183-189.

Mudry J. (1987) - Apport du traçage physico-chimique naturel à la connaissance hydrocinématique des aquifères carbonatés. Thèse de doctorat d'État, Université de Besançon, *Annales scientifiques de l'université de Besançon, Géologie* - Mémoire hors-série n° 4, 1987, 381 p., 244 fig., 65 tabl.

Mudry J. (1991) - L'analyse discriminante, un puissant moyen de validation des hypothèses hydrogéologiques. *Revue des sciences de l'eau* (Québec - Paris). 4, p. 19-37, 11 fig., 3 tabl. - Lavoisier, Paris.

Pfannkuch H.O. (1969) - Elsevier's dictionary of hydrogeology. Éditions Elsevier, 168 p.

Pomerol Ch. et Ricour J. (1992) - Terroir et thermalisme : les eaux minérales françaises. Éditions BRGM, 298 p.

Pouchan P. (1994) - L'émergence thermominérale. Colloque *Société hydrotechnique de France*, Paris 16-17 nov. 1994, p. 25-32.

Sinreich M., Kozel R. et Mudry J. (2004) - Principles of specific vulnerability assessment / Conceptual model for specific vulnerability assessment / Specific vulnerability method. In ZWAHLEN F. (editor) – 2003 - *Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers*. COST Action 620, final report p. 25-29, 64-67, 67-82. (CE, Bruxelles, Luxembourg).

Vrba J. et Zaporozec A. (eds) (1994) - Guidebook on mapping groundwater vulnerability. International contributions to hydrogeology (International association of hydrogeologists), 16: 131 p.- Heise Verlag, Hannover.

Création et mise en page : Parimage
Impression : Bialec, Nancy (France)
ISBN :
2 500 exemplaires

Photo de couverture : Fotolia, PhotoAlto

27-31, avenue du Général Leclerc
94701 MAISONS-ALFORT Cedex
www.afssa.fr

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE