



Benchmark sur le traitement du calcaire dans le monde

Rapport Final – Volet 1

Septembre 2018

*Le Syndicat des Eaux d'Ile-de-France – Direction Générale des Services
Techniques*

Mentions légales

La présente étude a été réalisée par Deloitte Conseil et IRH à partir de données produites par le SEDIF, d'études publiques et d'observations et d'entretiens des experts dont la liste figure en annexe. De fait, les données utilisées ne sont pas auditées, ni vérifiées. Notre mission ne couvre pas de travaux de vérification de ces données, par conséquent, nous ne sommes pas en mesure de garantir l'exactitude et l'exhaustivité des informations qui nous sont fournies.

Les procédures que Deloitte Conseil met en œuvre en exécution de la présente mission sont uniquement réalisées à la demande du SEDIF dans le cadre d'un contrat avec le SEDIF ; *Marché n°2017-79: Etude calcaire*. A ce titre, Deloitte Conseil n'accepte aucune responsabilité dans le cas où la présente étude devait être remise à des tiers ou si des éléments étaient extraits et utilisés en tout ou partie ou pour tout autre motif que ceux expressément et préalablement acceptés par Deloitte Conseil. Nos travaux ne sont pas destinés à remplacer les diligences qu'il appartient, le cas échéant, aux tiers ayant eu communication de cette étude de mettre en œuvre au regard de leurs propres besoins.

Citation du rapport

SEDIF (Anne-Laure COLON) ; Deloitte Développement Durable (Sébastien SOLEILLE, Mary Ann KONG, Mariane PLANCHON, Alima KOITE) ; IRH Ingénieur Conseil (Thierry PICHARD), 2018. *Benchmark sur le traitement du calcaire dans le monde*. 54 pages.

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Préambule

Le présent rapport s'inscrit dans le cadre de l'étude *Etat des lieux du traitement du calcaire dans le monde*, mené par Deloitte Développement Durable (DDD) en partenariat avec IRH Ingénieur Conseil (IRH) pour Le Syndicat des Eaux d'Ile-de-France (SEDIF).

Le rapport est le livrable du volet 1, « Etude sur le benchmark sur le traitement du calcaire dans le monde ». Le rapport présente notamment :

- Les pays dans lesquels des normes ou des recommandations sur le calcaire existent pour la distribution d'eau potable et les arguments ayant conduit à la mise en place de ces normes et recommandations ;
- Un état des lieux du traitement du calcaire en Europe et dans le monde ; et
- Les informations collectées et l'analyse sur la décarbonatation en termes de satisfaction des consommateurs, d'impacts économiques et environnementaux et de santé publique.

Table des matières

1.	Contexte et objectifs	5
1.1	Contexte	5
1.2	Objectifs	5
1.3	Champ de l'étude	6
2.	Méthodologie	7
2.1	Collecte de données	7
2.2	Consolidation des informations	8
3.	Benchmark sur le traitement du calcaire dans le monde	11
3.2	Normes et initiatives sur le calcaire dans l'eau potable	11
3.3	Les traitements de décarbonatation	15
3.4	Les impacts du calcaire dans l'eau potable	22
4.	Annexe	34
5.	Références	50

Liste des figures

Figure 1 : Panorama mondial des initiatives sur le calcaire dans l'eau potable	15
Figure 2 : Répartition géographique des usines identifiées	16
Figure 3 : Synthèse d'impacts recensés lors de l'utilisation d'une eau trop calcaire	23

Liste des tableaux

Tableau 1 : Réglementations en lien avec le calcaire dans l'eau potable	14
Tableau 2 : Principaux procédés de décarbonatation	17
Tableau 3 : Paramètres techniques et opérationnels de quatre usines SEDIF étudiées...	18
Tableau 4 : Paramètres techniques et opérationnels d'une sélection de dix usines	18

Liste des annexes

Annexe 1 : Benchmark des usines fichier reporting des sources	35
Annexe 2 : Bilan de la consultation des experts	36
Annexe 3 : Fiches détaillés des initiatives sur le calcaire	37
Annexe 4 : Fiches détaillés des usines	46

Contexte et méthodologie

1. Contexte et objectifs

1.1 Contexte

Afin de répondre à l'évolution des attentes de ses abonnés et de la société civile (en matière de qualité organoleptique de l'eau distribuée (chlore et calcaire) et d'économies (dépenses publiques, facture de l'utilisateur), mais aussi de maîtrise des risques sanitaires (pesticides et micropolluants émergents) et d'impact environnemental (contribution à la transition écologique), le SEDIF a engagé depuis 2015 une réflexion prospective sur l'évolution de ses filières de production d'eau potable.

L'eau distribuée par les usines du SEDIF est de bonne qualité et respecte les exigences réglementaires. Cependant, sa teneur en calcaire diffère en fonction de la ressource. La dureté d'une eau ou titre hydrotimétrique correspond à la concentration en calcium et en magnésium dans l'eau. Le titre hydrométrique de l'eau produite dans les usines du SEDIF est sujet à de fortes fluctuations et peut dépasser les 30 °f (par ex. Choisy-le-Roi, Neuilly-sur-Marne et Arvigny). L'optimisation de la dureté de l'eau est donc l'un des volets clés du projet du SEDIF, avec la réduction des teneurs en chlore et l'élimination des micropolluants. Pour répondre à ces 3 objectifs, le SEDIF a fait le choix d'un traitement membranaire par osmose inverse basse pression sur ses filières de traitement. La présente étude se focalise sur le volet décarbonatation du projet. Le SEDIF travaille aujourd'hui sur les objectifs qu'il souhaite se fixer en matière de dureté de l'eau produite.

1.2 Objectifs

La présente étude vise à dresser un état des lieux au niveau mondial du traitement du calcaire ; notamment concernant la décarbonatation collective. Pour répondre à cet objectif global, les deux cibles spécifiques de cette étude sont de :

- Disposer d'une base de comparaison du projet du SEDIF de décarbonatation collective avec d'autres initiatives similaires, permettant de :
 - Mieux connaître les technologies utilisées en pratique, leur dimensionnement, les investissements requis, leurs performances au regard de la qualité de l'eau en entrée ;
 - Mieux comprendre les motivations sous-jacentes à la construction de ces projets, les arbitrages nécessaires et le retour d'expérience sur leur mise en œuvre ; et
 - S'assurer d'être à jour sur les éventuelles évolutions normatives et législatives en matière de dureté de l'eau, dans l'Union européenne, en France et à l'international.
- Disposer d'un panorama des impacts économiques et environnementaux recensés concernant la dureté de l'eau, susceptibles d'alimenter de nouvelles attentes des consommateurs.

Enfin, à noter que les résultats pertinents issus de cette étude ont été également utilisés pour nourrir l'évaluation menée dans le cadre de la deuxième étude du projet : l'analyse des impacts de la décarbonatation relative au projet SEDIF (volet 2).

1.3 Champ de l'étude

Les périmètres de l'analyse menée pour le benchmark incluent les aspects suivants :

- Périmètre géographique : International, européen, français
- Périmètre temporel : Les études récentes (postérieures aux années 2000) sont privilégiées. Cependant, en cas de manque de donnée, la plage temporelle pourra être élargie aux années 1990.
- Périmètre thématique pour la collecte des données :
 - Normes, réglementations et initiatives sur le calcaire dans l'eau potable ;
 - Informations techniques concernant les usines de production d'eau potable procédant à une décarbonatation de l'eau ;
 - Impacts environnementaux, sanitaires et économiques potentiels sur les usagers, liés à une eau dure et de la décarbonatation.

A noter que les impacts de la décarbonatation sur l'économie globale (par ex. l'impact sur le marché des adoucisseurs ou de l'eau embouteillée) ne fait pas partie du périmètre de l'étude. On néglige ainsi les effets rebonds de la baisse de consommation des équipements ou la réduction de la consommation de l'eau en bouteille sur l'activité des entreprises qui les produisent

2. Méthodologie

La méthodologie déployée pour le benchmark sur le traitement du calcaire dans le monde consistait à la collecte et l'analyse des informations pertinentes pour un état de lieux robuste et à date. L'ensemble des informations collectées sont regroupés dans plusieurs fichiers (un fichier reporting Excel, un benchmark des usines de décarbonatation notables et des fiches détaillées sur les normes et les réglementaires).

2.1 Collecte de données

La stratégie de collecte de données pour le recensement des normes, des projets ou usines de décarbonatation ainsi que des impacts environnementaux, sanitaires et socio-économiques du calcaire est axée sur deux piliers : une étude bibliographique à partir de sources Internet et les entretiens avec les experts. Ce processus a été mis en œuvre de manière itérative en se nourrissant des informations identifiées au fur et à mesure pour élargir le champ des recherches.

La collecte de données cherchait notamment à comprendre les éléments suivants :

- Les normes, recommandations et réglementation sur le traitement calcaire dans l'eau potable :
 - Détails sur les valeurs relatives à la présence du calcaire dans l'eau potable par ex. les seuils, des limites ou des valeurs guides
 - Le raisonnement et / ou la justification pour la réglementation en question
 - Existence des contrôles et des sanctions
 - Les retours de consommateurs avant/après la mise en place
- Les pratiques de décarbonatation collective :
 - Une description de la filière de potabilisation, les caractéristiques de la décarbonatation, le processus de reminéralisation le cas échéant, les caractéristiques de l'eau en entrée usine et de l'eau distribuée, le devenir des rejets, le dimensionnement de l'installation
 - Les objectifs visés par le traitement du calcaire et le raisonnement derrière le projet de décarbonatation collective (par ex. enjeux sanitaires, enjeux environnementaux, insatisfaction consommateurs, coûts)
 - Coûts et bénéfices engendrés dus à la mise en œuvre de la décarbonatation collective
 - Retour d'expérience des maîtres d'ouvrage et des consommateurs
- Les impacts potentiels de la décarbonatation collective :
 - Les principaux postes de consommation d'eau et les acteurs (usagers) concernés par la présence de calcaire
 - Les conséquences matérielles (par ex. qualité organoleptique, confort d'usage, dégradation des équipements, défauts esthétiques)
 - Les impacts sanitaires, environnementaux et économiques, par ex. concernant la satisfaction des consommateurs, l'impact financier pour l'utilisateur et le maître d'ouvrage, les impacts sur la santé publique et sur l'environnement
 - Informations quantitatives

2.1.1 Revue bibliographique

La revue de littérature s'est déroulée en plusieurs étapes : identification, sélection et documentation des sources recensées. Pour réussir une collecte d'informations pertinente, des combinaisons appropriées de mots clés ont été utilisées pour cibler la recherche. La prise en compte des informations relevées dans les documents collectés a été fonction de plusieurs critères tels que :

- Les informations présentées sont objectives et impartiales, par exemple non biaisées dans le but de défendre une opinion ou groupe de parties prenantes ;
- Les résultats sont démontrés, le détail des calculs, des données et des paramètres, ainsi que la méthodologie sont fournis ;

Les références identifiées et analysées (fichier de reporting) se trouvent dans Annexe 1.

2.1.2 Consultation des experts

Une quarantaine d'experts a été identifiée et contactée afin d'obtenir des informations complémentaires pour nuancer et compléter la revue bibliographique : identification des incertitudes et regard critique sur certains résultats. La liste des experts à contacter a été établie afin de refléter l'ensemble des acteurs concernés par les thématiques de l'étude. Par exemple, les représentants d'associations professionnelles des secteurs de l'eau, les pouvoirs publics, les institutions de recherche, les associations des consommateurs, etc. Les aspects abordés avec les experts lors de la consultation variaient en fonction de leur profil. Par exemple, les questions posées à une autorité publique concernaient les aspects tels que la mise en œuvre et le suivi des normes de qualité de l'eau, tandis que les acteurs du secteur de l'eau potable ont été invités à fournir les informations sur les coûts et les bénéfices liés aux processus techniques de décarbonatation collective.

Parmi les experts contactés, six ont participé à la consultation en fournissant les informations via un entretien téléphonique ou un questionnaire¹. Ces échanges ont permis d'identifier des règles empiriques et de bonnes pratiques ainsi que des impacts sanitaires et socio-économiques du calcaire dans l'eau. Certains experts ont également envoyé une liste d'usines pratiquant la décarbonatation. Le bilan complet de la consultation des experts se trouve dans l'Annexe 2. Les comptes rendus ont été rédigés par l'équipe et mis à disposition du SEDIF.

2.2 Consolidation des informations

L'ensemble des informations pertinentes collectées via la revue bibliographique et la consultation des acteurs a été regroupé dans une base de données qui inclut :

- Le fichier de reporting : Les principales sources identifiées sont organisées dans le fichier de reporting par thématique (normes, usines et impacts). Les informations telles que l'auteur/institution, date de publication, type d'information disponible, etc. sont également indiquées. En outre, la fiabilité de la source ou de l'information recueillie est aussi caractérisée. La fiabilité de la source a été déterminée selon la nature du document (par ex. caractère scientifique ou commercial) et de sa pertinence. Les articles et revues scientifiques ont été critiqués sur leur rigueur ainsi que sur leur cohérence et précision méthodologique (hypothèses et calculs employés, degré d'incertitude dans les résultats présentés, etc). Le fichier de reporting est disponible dans l'Annexe 1 (en pièce-jointe).

¹ Laurent Brunet (FP2E/Suez), Xavier Guivarch (Suez), Alban Robin (DGS), Bertrand Guillemot (Dalkia), Bernard Legube (Univ. Poitiers), Erik Linquièr (SMGSEVESC)

- Le benchmark des usines : L'objectif de la recherche sur les usines de décarbonatation était d'obtenir un panorama global des pratiques existant, y compris les paramètres techniques et opérationnels des procédés de décarbonatation, la volonté publique, la satisfaction d'usager, etc. Le benchmark des usines est intégré dans le fichier de reporting mentionné ci-dessus.
- Les fiches usines : Pour compléter le benchmark des usines, trois fiches détaillées ont été élaborées pour les usines de Dinxperlo, Leiduin, et Rodenmors aux Pays-Bas en raison de leur pertinence vis-à-vis le projet de décarbonatation du SEDIF. Les fiches résument les caractéristiques techniques, le traitement de décarbonatation employé, le nombre de consommateurs, le périmètre de distribution, etc. Les fiches détaillées des usines sont disponibles dans l'Annexe 4.
- Les fiches pays : La recherche bibliographique a permis d'identifier plusieurs recommandations, réglementations et normes relatives au calcaire dans l'eau dans différents pays (France, Pays-Bas, Suisse, Belgique, Canada, Japon, Etats-Unis...) et au niveau international et institutionnel (Organisation Mondiale de la Santé (OMS), Union Européenne (UE)). Suite à cette recherche, des fiches individuelles de normes/recommandations ont été rédigées. Ces fiches récapitulent les objectifs et le contexte de l'initiative, les valeurs guides de dureté, s'ils existent et les raisons de la mise en œuvre de l'initiative. Les fiches sont disponibles en Annexe 3.

Benchmark sur le traitement du calcaire dans le monde

3. Benchmark sur le traitement du calcaire dans le monde

Le benchmark sur le traitement du calcaire dans l'eau potable récapitule les résultats clés, issus de l'analyse documentaire, sur les éléments suivants :

- Les normes, réglementations et recommandations existantes relatives au calcaire dans l'eau potable au niveau européen et à l'international ;
- Un panorama des usines de production d'eau potable procédant à une décarbonatation de l'eau mise en distribution ;
- Les impacts environnementaux, sanitaires et socio-économiques liés au calcaire dans l'eau et à la décarbonatation.

3.2 Normes et initiatives sur le calcaire dans l'eau potable

La revue bibliographique a permis d'identifier un certain nombre de recommandations et de normes relatives à la dureté ou à la présence du calcaire dans l'eau potable au niveau international dans différents pays (France, Pays-Bas, Singapour, Canada, Japon et Belgique) et au niveau institutionnel (l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), l'Union européenne (UE)). Les résultats détaillés pour chaque initiative pertinente sont également résumés sous forme de fiches (Annexe 3). Les initiatives identifiées relatives à la dureté de l'eau potable peuvent se décliner en trois catégories en termes de l'existence des valeurs ou des paramètres concernant le calcaire ou d'autres propriétés physiques et chimiques de l'eau :

- **Des valeurs « limites »** : les valeurs limites sont ceux qui fixent et précisent une valeur de dureté de l'eau à atteindre ou à ne pas dépasser.
- **Des valeurs « guides »** : les valeurs guides préconisent des valeurs limites ou une fourchette souhaitées de dureté à atteindre mais non obligatoires.
- **Des paramètres physico-chimiques** : les paramètres physico-chimiques ne précisent pas de valeur de dureté à atteindre, mais donnent les valeurs sur les propriétés chimiques, microbiologiques, et organoleptiques (odeur, couleur, goût, ...) de l'eau à respecter afin d'être acceptable en termes de santé publique et satisfaction d'utilisateur. Ces paramètres ont une conséquence sur la dureté de l'eau car ils conditionnent indirectement la concentration en calcium et en magnésium.

3.2.1 Les valeurs « limites »

Parmi les pays et les institutions où les initiatives ont été identifiées sur la dureté ou la présence du calcaire dans l'eau potable, seul le Japon bénéficie d'une réglementation contraignante favorisant la décarbonatation.

En vertu de la loi sur les installations hydrauliques (Waterworks Law) de 1957 (révisée en 1992 et en 2003), le ministère japonais de la santé, du travail et de la protection sociale a établi des normes de qualité relatives à l'eau potable. Les normes ont été établies et modifiées au cours des dernières années pour répondre aux préoccupations croissantes du public concernant la sécurité des systèmes d'approvisionnement en eau en raison de la contamination de la source. Les normes japonaises relatives à l'eau potable couvrent 50 paramètres, notamment une valeur fixant la dureté de l'eau potable à 300 mg de CaCO_3

/L (30 °F - teneur en calcium et en magnésium) à ne pas dépasser (Ministère Japan Ministry of Health, Labour and Welfare, 2015,). Cette valeur sur la dureté de l'eau a été établie en réponse à la méfiance et à l'insatisfaction de la population concernant la qualité et le goût de l'eau potable².

Enfin, il est intéressant de noter également que la réglementation en Japon exige que la chloration soit utilisée pour le traitement de l'eau potable dans un intérêt de santé public ; et afin d'éviter les maladies d'origine hydrique (ce qui était un problème de santé publique important au Japon avant la mise en œuvre des systèmes modernes de distribution d'eau). Dans la ville de Tokyo par exemple, le Bureau des eaux de Tokyo (l'agence responsable pour la distribution de l'eau) procède à la chloration de l'eau traitée avec l'objectif d'une concentration résiduelle en chlore d'au moins 0,1 mg/L. Environ 130 analyseurs automatiques sont déployés dans la ville pour vérifier la qualité de l'eau dans son ensemble et de s'assurer que la quantité de chlore résiduel est maintenue à un niveau approprié.

3.2.2 Les valeurs « guides »

Les initiatives et les recommandations existantes au Canada, aux Pays-Bas et au sein de l'OMS sur l'eau potable ne fixent pas de seuil de dureté mais fournissent une valeur guide. Selon la dernière édition du guide de l'OMS sur les recommandations pour la qualité de l'eau potable, les deux principales préoccupations doivent être d'assurer la santé du consommateur en lui garantissant la sécurité des approvisionnements en eau potable³ et de rendre l'eau acceptable (odeur, aspect, goût). Ceci se traduit par la définition de valeurs guides pour les constituants chimiques, microbiologiques de l'eau et pour les caractéristiques physico-chimiques. Ainsi, l'OMS préconise une eau ayant une dureté qui varie entre 10 °f et 20 °f. En dessous de 10 °f, il y a un risque de corrosion des canalisations et au-dessus de 20 °f, le dépôt de calcaire est plus fréquent. Enfin, pour les aspects d'acceptabilité, surtout en ce qui concerne le goût, la valeur guide est comprise entre 100 et 300 mg CaCO₃/L donc entre 10 et 30 °f.

Le Canada conseille une dureté comprise entre 80 et 100 mg CaCO₃/L (8 °f à 10 °f) pour éviter à la fois la corrosion et l'incrustation de calcaire dans les canalisations. Une dureté supérieure à 200 mg CaCO₃/L (20 °f) est tolérée par les consommateurs mais non recommandée alors qu'une dureté supérieure à 500 mg CaCO₃/L (50 °f) est non acceptable pour les usages domestiques selon le Conseil canadien des ministres de l'environnement⁴.

Aux Pays-Bas, la recommandation préconise une dureté de l'eau entre 12 °f et 15 °f. Cette valeur a été fixée car les tuyaux en plomb étaient très courants dans les réseaux et les habitations aux Pays-Bas. Or le plomb se dissout plus facilement dans des eaux dures. Cependant, les eaux très douces peuvent être corrosives d'où la fourchette proposée par le gouvernement (Hofman et al. 2006)⁵.

3.2.3 Les paramètres physico-chimiques

La France, la Belgique, Singapour^{6,7} et l'Union Européenne ne fournissent pas de valeurs réglementées qui fixent explicitement une valeur juridique à la dureté de l'eau mais ces pays précisent clairement que l'eau de distribution doit satisfaire plusieurs paramètres de qualité : les paramètres microbiologiques, chimiques, physiques et radiologiques selon les recommandations de l'OMS.

² Wakayama, 2005, « Révision des normes de qualité de l'eau potable au Japon »

³ OMS, 2011. « La Dureté dans l'eau potable »

⁴ Conseil canadien des ministres de l'environnement, 2008. Recommandations pour la qualité des eaux.

⁵ Entretien avec Laurent Brunet et Pierre Pierronne - Directeurs techniques, SUEZ, 16 février 2018

⁶ Agence nationale de l'eau de Singapour, 2008. « Code de pratique sur l'eau potable ».

⁷ Agence nationale de l'eau de Singapour, 2017. « Recommandations pour la qualité de l'eau potable ».

En France, le chapitre « référence de qualité » de l'arrêté du 11 janvier 2007 modifié relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du Code de la santé publique , précise que « les eaux ne doivent pas être agressives, ni corrosives », et que l'eau doit présenter une minéralisation comprise dans un intervalle défini au moyen de la conductivité à 25 °C entre 200 et 1 200 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, par ex. indirectement avec un titre hydrotimétrique (TH) et un titre alcalimétrique complet (TAC)⁸ minimal et maximal en fonction des autres paramètres de l'équation de neutralité électrique (notamment sodium, chlorures, sulfates), et être à l'équilibre calco-carbonique ou légèrement entartrantes. Ainsi, ces limites, conditionnant la minéralisation de l'eau, permettent de fixer indirectement la concentration en calcium, un des éléments fondamentaux de la minéralisation pour les eaux naturelles.

Par ailleurs, dans la région de Wallonie, en Belgique^{9,10}, comme en France, l'eau de distribution doit satisfaire à 48 paramètres microbiologiques, physico-chimiques et radiologiques classés par catégories (limites et références de qualité) et transposés de la directive européenne 98/83/CE. Tout comme le Pays-Bas, le Canada et l'OMS, ces pays et institutions désirent garantir une eau saine aux consommateurs et éviter la corrosion des installations de distribution de l'eau potable.

⁸ Entretien avec monsieur Laurent Brunet, monsieur Pierre Pierronne et monsieur Alban Robin le 16 & 23 Février 2018

⁹ Direction des eaux souterraines de Wallonie, 2018, *Qualité Des Eaux Distribuées par le Réseau Public en Wallonie*

¹⁰ La Société Wallonne des Eaux, 2017, *Règlement général de distribution d'eau en région wallonne*

Synthèse des résultats clés sur les initiatives relatives à la présence du calcaire dans l'eau :

Malgré les différences observées concernant les valeurs relatives à la dureté de l'eau et leurs conditions d'un pays à un autre, les raisons qui sont à la source de ces propositions sont les mêmes : protection de la santé publique, garantie d'une bonne qualité d'eau pour le confort et l'acceptabilité des consommateurs (odeur, aspect, et goût) et protection des tuyauteries de la corrosion (et de la dissolution du plomb, du fer, du zinc, du nickel ou du cuivre dans l'eau distribuée).

En outre, la recherche bibliographique et la consultation des experts ont montré que très peu de normes ou réglementations existent sur la dureté de l'eau. Ceci s'explique par le fait que la dureté de l'eau dépend de plusieurs facteurs dont la composition minérale de l'eau. La dureté varie en fonction des zones géographiques, de l'origine et de la nature de l'eau (eau de surface, eau souterraine) ainsi que des traitements éventuels de potabilisation mis en œuvre avant distribution. De plus, les conditions locales (par ex. la nature de canalisation utilisée, la typologie des usines, la méthode de traitement de l'eau employé, etc.) et les attentes et exigences de la population locale au regard de l'acceptabilité de l'eau (goût, odeur et apparence) ne sont pas les mêmes d'une région à une autre. Ceci rend donc la tâche de formalisation d'une réglementation pour fixer une valeur unique de dureté de l'eau difficile à mettre en place.

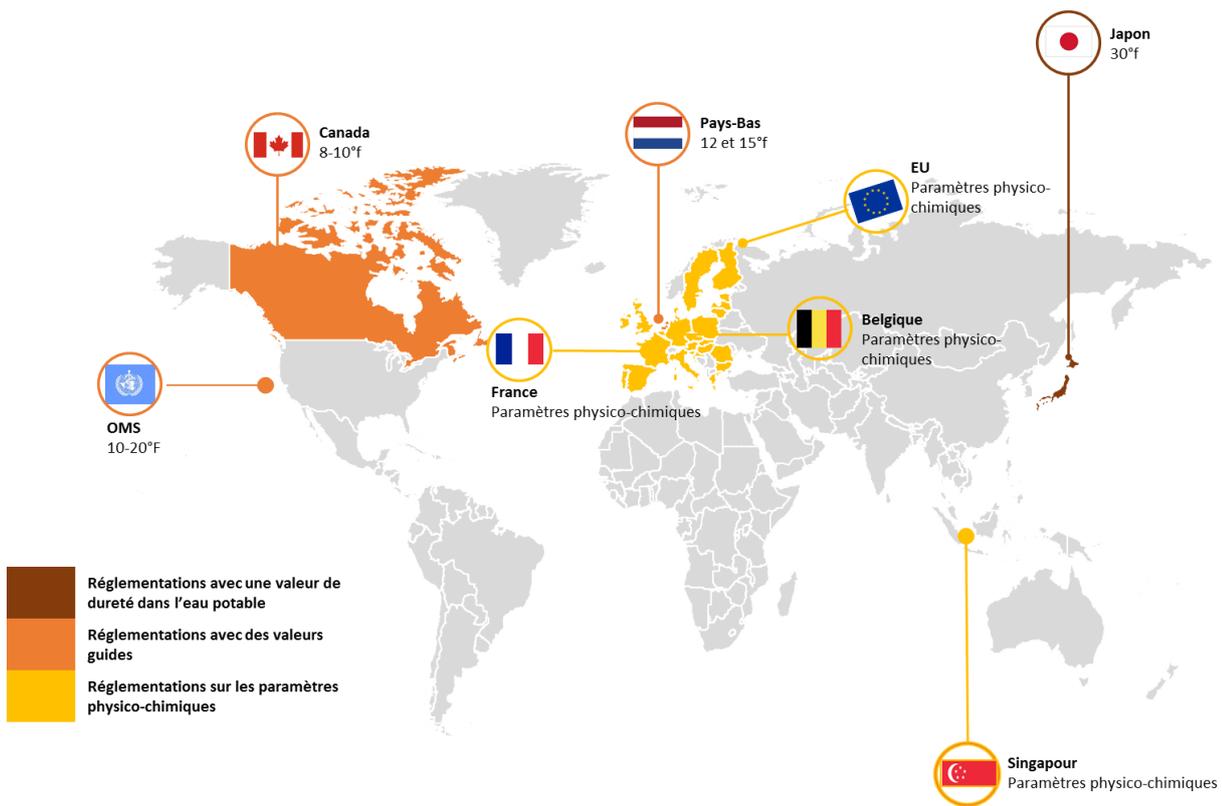
Enfin, bien que certaines études montrent que le magnésium a un impact positif sur le taux de mortalité lié aux maladies cardiovasculaires et vu le caractère non-dangereux du calcaire qui ne nécessite pas une attention particulière, les données sont insuffisantes pour suggérer des concentrations minimales ou maximales de concentration de minéraux dans l'eau et donc de dureté.

Le Tableau 1 et la Figure 1 récapitulent les informations recueillies sur les valeurs liées à la présence du calcaire dans l'eau potable.

Tableau 1 : Réglementations en lien avec le calcaire dans l'eau potable

Pays / institution	Type de valeur / norme	Valeur
Japon	Valeur maximum de dureté	30 °f
Canada	Valeur guide de dureté	8 °f à 10 °f
OMS	Valeur guide de dureté	10 °f et 20 °f
Pays-Bas	Valeur guide de dureté	12 °f et 15 °f
France	Paramètres physico-chimiques	Paramètres microbiologiques, chimiques, physiques et radiologiques fixés selon les recommandations de l'OMS
Belgique	Paramètres physico-chimiques	
Union européenne	Paramètres physico-chimiques	
Singapour	Paramètres physico-chimiques	

Figure 1 : Panorama mondial des initiatives sur le calcaire dans l'eau potable



3.3 Les traitements de décarbonatation

Cette section présente un état des lieux à l'échelle internationale des usines de production d'eau potable bénéficiant d'un traitement de décarbonatation, précisant les caractéristiques de la filière et les objectifs visés par le traitement du calcaire, afin d'apporter au SEDIF un retour d'expérience pertinent sur les résultats de ces projets.

La recherche bibliographique a permis de distinguer cinq principaux procédés de décarbonatation (Tableau 2) et un panorama global couvrant quatre-vingts usines pratiquant la décarbonatation, réparties dans neuf pays – France, Etats-Unis, Pays-Bas, Canada, Italie, Irlande, Taiwan, Allemagne (Figure 2).

Figure 2 : Répartition géographique des usines identifiées

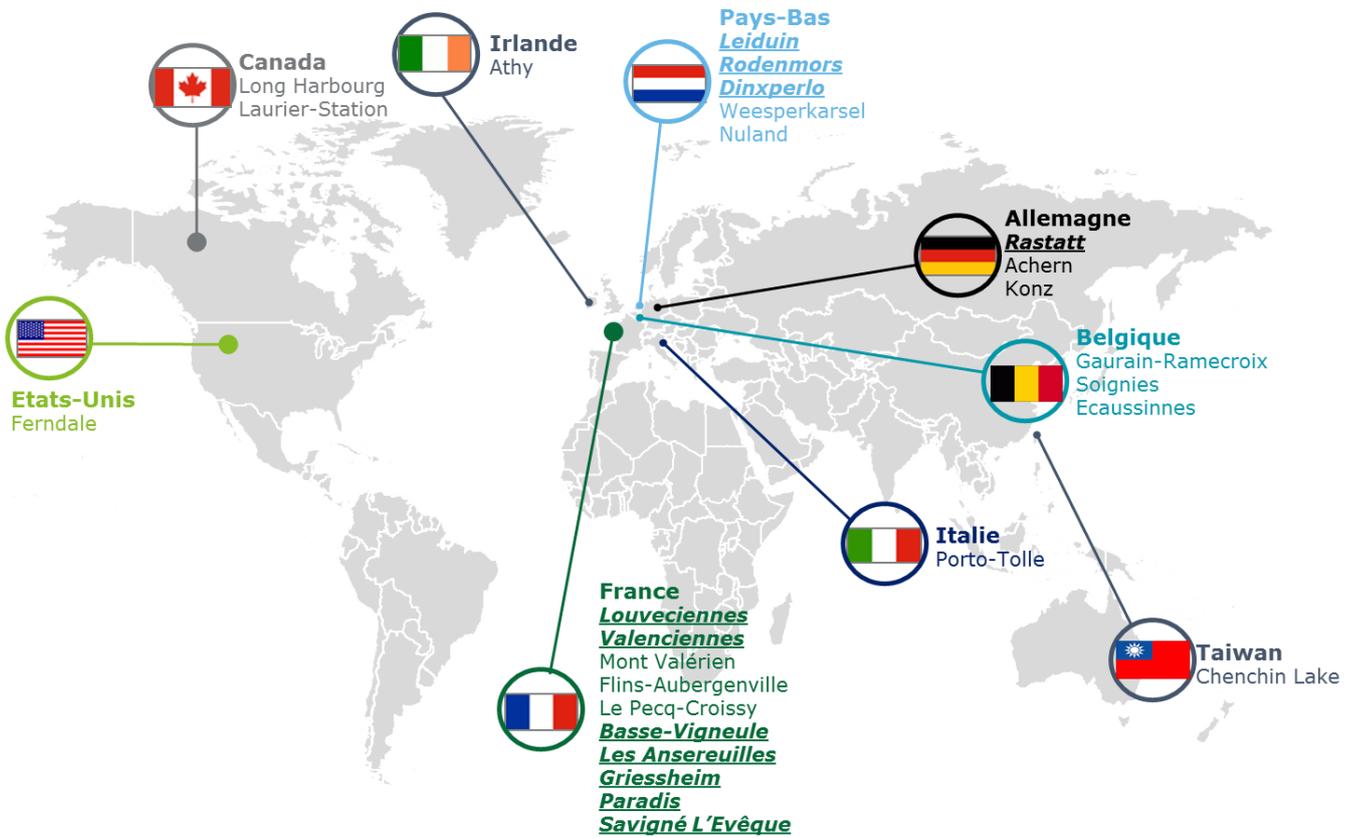


Tableau 2 : Principaux procédés de décarbonatation

Procédé	Description	Performance	Avantages
Décarbonatation électrolytique	Cette décarbonatation est de type physique et consiste à électrolyser l'eau à traiter, ce qui permet de précipiter le carbonate de calcium contenu dans l'eau. Le courant électrique provoque une germination instantanée, puis la cristallisation du calcaire d'une grande pureté (95 %) extrait automatiquement ¹¹ .	Adapté aux usines de petite taille, débit de 50 à 400 m³/h	La décarbonatation électrolytique fonctionne sans utilisation de réactif chimique. Les arrêts et les variations de débit sont relativement simples à gérer sans entraîner de perturbations du procédé.
	Exemples : Savigné l'Evêque (72) : 4 500 abonnés, La Vauvage (30) : 4 500 abonnés, Allerey sur Saône (71) : 4 600 abonnés		
Décarbonatation catalytique à la chaux ou à la soude	Cette décarbonatation consiste en un procédé chimique. Un réactif alcalin (chaux ou soude) est ajouté à l'eau à traiter, permettant de précipiter le carbonate de calcium sous forme de billes autour des germes de silice introduits dans un réacteur fonctionnant en lit fluidisé à courant ascendant ¹² .	Adapté aux installations dont le débit est supérieur à 100 m³/h	Le produit calcaire est sous forme de bille « égouttée », sans besoin de déshydratation, et d'une grande pureté. Il est assez facilement valorisable (amendement agricole ou remblais routier).
	Exemples : Leiduin (Pays-Bas), Ansereuilles (59), Rastatt (Allemagne), Flins-Aubergenville (78)		
Décarbonatation à recirculation de boues	Cette décarbonatation consiste en un procédé chimique. Un réactif alcalin (chaux ou soude) est ajouté à l'eau à traiter, permettant de précipiter le carbonate de calcium dans un décanteur à recirculation où les boues sont séparées de l'eau clarifiée. Elles sont ensuite recyclées vers une zone de réaction et de mélange pour accélérer la précipitation de carbonate de calcium ¹³ .	Adapté aux volumes importants (débit supérieur à 100 m³/h)	Ce procédé est simple d'utilisation et s'applique aussi bien aux eaux de surface que souterraines. En fonction du réactif retenu, il peut traiter simultanément d'autres problématiques liées à la qualité de l'eau brute. Les boues sont faciles à déshydrater et très facilement valorisables en tant qu'amendement agricole.
	Exemples : Louveciennes (78), Griessheim/Lampertheim (67), Porto Tolle (Italie), Athy (Irlande), Laurier-Station (Canada) Soignies (Belgique)		
Décarbonatation sur résine échangeuses d'ions	C'est un procédé physico-chimique. Elle s'apparente à l'adoucissement ménager avec des réactifs de régénération différents (acide au lieu de chlorure de sodium). Elle consiste à fixer sur une résine carboxylique chargée en ions hydrogène les ions calcium et magnésium. Lorsque la résine est saturée en calcium, il faut la régénérer avec un acide fort ¹⁴ .	Plutôt réservé aux petites et moyennes installations (< 300 m³/h)	Ce procédé est peu coûteux et compact et généralement utilisé en eau de process industriel.
	Exemples : Varennes (77), Belleville-sur-Bar (08). NB : Il y a peu de référence, le procédé est plutôt utilisé par les industriels.		
Nanofiltration et Osmose inverse	La décarbonatation est assurée par l'utilisation de membranes de nanofiltration ou d'osmose inverse basse pression. Ces membranes retiennent les solides de taille supérieure au nanomètre, les bactéries et virus ainsi que les ions divalents préférentiellement (calcium, magnésium, sulfates) ¹⁴ .	Peut s'appliquer aux petites comme aux grosses installations.	A la différence des autres procédés de décarbonatation, le procédé permet de corriger plusieurs paramètres spécifiques (dureté, pesticides, sulfates, micropolluants). Les systèmes de filtration membranaires sont entièrement automatisés.
	Exemples : Rodenmors (Pays-Bas) Dinxperlo (Pays-Bas), Soiron (57), Valenciennes (59), Ferndale (Etats-Unis)		

¹¹ SUEZ, « Tous à l'eau douce », in *Eau Service, Spécial Décarbonatation*, disponible sur www.degremont.fr/document

¹² SUEZ, « Softazur C, décarbonatation catalytique à lit fluidisé », disponible sur www.degremont.fr/document

¹³ SUEZ, « Softazur D, décarbonatation à recirculation de terres calcaïques », disponible sur www.degremont.fr/document

¹⁴ SUEZ, « Softazur R, décarbonatation/adoucissement par échange d'ions », disponible sur www.degremont.fr/document

3.3.1 Principaux tendances, paramètres techniques et opérationnels des procédés de décarbonatation

D'après nos recherches, il a été constaté qu'en général, la décarbonatation concerne principalement les petites usines, c'est-à-dire les installations nécessitant un débit peu important. Par exemple, la moitié des usines reportées a un débit de traitement de moins de 400 m³/h. Le procédé de décarbonatation le plus fréquemment pratiqué est celui convenant le mieux aux petites installations – la décarbonatation électrolytique – recensée en place dans plus d'un tiers des usines étudiées (27 usines). Ceci dit, il n'y a pas de relation systématique entre le fait que les usines soient de petite capacité et la mise en œuvre d'une décarbonatation électrolytique. Le procédé de décarbonatation mis en œuvre dépend de plusieurs facteurs, tels que l'abattement de dureté à obtenir, la qualité de l'eau brute ou alors la qualité de l'eau distribuée. Les informations techniques et opérationnelles (notamment la nature et la capacité de traitement (m³/jour)) des usines ont été regroupées dans un fichier de benchmarking dédié (le fichier de reporting dans l'annexe 1).

Parmi les 80 usines recensées, 10 (dont une en projet de construction) ont été sélectionnées en vue d'une analyse plus approfondie pour leur pertinence vis-à-vis du projet de décarbonatation du SEDIF (par ex. en termes de type de traitement, avec ou sans chloration, la dureté de l'eau en entrée/sortie de traitement, le nombre d'utilisateurs desservis, etc.). Le Tableau 3 récapitule les différents paramètres des quatre usines du territoire SEDIF qui ont été pris en compte pour la sélection des usines. Le

Tableau 4 résume les différentes caractéristiques techniques des dix usines sélectionnées.

Tableau 3 : Paramètres techniques et opérationnels de quatre usines SEDIF étudiées

Paramètres	Usine			
	Choisy-le-Roi	Neuilly-sur-Marne	Méry-Sur-Oise	Arvigny
Usagers desservi	1,87 million	1,67 million	0,85 million	N/A
Source de l'eau	Eau de surface	Eau de surface	Eau de surface	Eau de nappe
Capacité maximale (m ³ /j)	600 000 m ³ /j	600 000 m ³ /j	340 000 m ³ /j	50 000 m ³ /j
Capacité maximale (m ³ /h)	25 000 m ³ /h	25 000 m ³ /h	14 150 m ³ /h	2 000 m ³ /h
Dureté de sortie (maximum)	TH = 30 °f	TH = 32 °f	TH = 22 °f	TH = 34 °f
Dureté cible	Entre TH = 8 et TH = 10 °f			
Autres paramètres	Suppression des micropolluants, réduction ou suppression de la chloration			
Procédé à utiliser	Décarbonatation via osmose inverse basse pression / nanofiltration			

Tableau 4 : Paramètres techniques et opérationnels d'une sélection de dix usines

Usine, pays, année ¹⁵	Usagers desservis	Procédé de décarbonatation	Dureté ¹⁶	Volume d'eau ¹⁷	Chloration
Leiduin, NL, 1987	1 million	Catalytique	TH _i =15 °f	190 000 m ³ /j (7 900 m ³ /h)	Non

¹⁵ Année de mise en service du traitement de décarbonatation

¹⁶ Les indices i et f se réfèrent respectivement à l'état avant (initial) et après (final) l'adoucissement de l'eau

¹⁷ Les chiffres sont approximatifs. Calculs réalisés à partir des chiffres (volume horaire ou annuel distribué) selon les données trouvées parmi les sources indiquées pour le volume de l'eau traité maximum des usines

Usine, pays, année ¹⁵	Usagers desservis	Procédé de décarbonatation	Dureté ¹⁶	Volume d'eau ¹⁷	Chloration
Louveciennes, FR, 2017	450 000	Recirculation de boue	TH _i =31-35 °f TH _f =20 °f	100 000 m ³ /j ¹⁸ (4 150 m ³ /h)	Limitée ¹⁹
Dinxperlo, NL, 2007	N/A ²⁰	Nanofiltration/ Osmose inverse	TH _f =10-15 °f	5 500 m ³ /j (230 m ³ /h)	Non
Ansereuilles, FR, 2007	300 000	Catalytique	TH _i =45 °f TH _f =30 °f	54 800 m ³ /j (2 300 m ³ /h)	Limitée ²¹
Griessheim, DE, 2014	54 000	Recirculation de boue	TH _i =40 °f TH _f =18 °f	24 000 m ³ /j (1 000 m ³ /h)	Non
Bouchain-Thiant et Vick (projet), FR, d'ici 2020	Une partie de 230 000 habitants	Nanofiltration/ Osmose Inverse	TH _i =45-50 °f TH _f =17-25 °f	8 400 m ³ /j (350 m ³ /h)	N/A
Rastatt, DE, 2011	N/A ²²	Catalytique	TH _f =15-25 °f	6 500 m ³ /j (270 m ³ /h)	N/A
Paradis, FR, 1995	30 000	Nanofiltration	N/A	3 000 m ³ /j (125 m ³ /h)	N/A
Rodenmors, NL	N/A ²³	Nanofiltration	TH _i =28 °f TH _f =10-15 °f	1 400 m ³ /j (58 m ³ /h)	Non
Savigné, FR, 2016	<10 000	Electrolytique	TH _i =35°f TH _f =20°f	1 300 m ³ /j (54 m ³ /h)	N/A

Pour un **volume d'eau à distribuer par jour comparable** aux quatre usines du SEDIF, lorsque l'objectif de traitement ne concerne que la dureté de l'eau, les usines choisissent principalement le procédé de **décarbonatation à recirculation de boue, ainsi que la décarbonatation catalytique**. En effet, ces deux techniques sont reconnues pour leur performance et leur coût avantageux. Par ailleurs, ces deux procédés permettent une meilleure valorisation des effluents. Les produits résultants de ces types de décarbonatation sont compacts et n'ont pas ou ont peu besoin d'être déshydratés : ils peuvent être directement valorisés en tant qu'amendement agricole ou remblai routier. Le Syndicat des Eaux de Versailles-Saint Cloud est en réflexion pour faire homologuer les boues résultant de la décarbonatation à Louveciennes²⁴. La décarbonatation catalytique présente un avantage supplémentaire en termes de l'élimination de certains métaux (plomb, fer, nickel)²⁵.

Les usines connaissant la problématique de la **présence de pesticides et de micropolluants** dans leurs eaux brutes, se tournent plutôt vers le procédé de **nanofiltration / osmose inverse**. C'est le cas par exemple pour l'usine de Dinxperlo aux Pays-Bas, qui emploie la technologie « Optiflux », développée par Logisticon, et qui permet une économie d'énergie de 15 à 20 % par rapport aux autres installations membranaires²⁶. Une meilleure élimination des micropolluants est également la raison pour laquelle les

¹⁸ Dont la moitié est traitée via la décarbonatation (60 000 m³/jour)

¹⁹ A Louveciennes, l'eau est chlorée, avec un objectif de réduction de son utilisation, par une meilleure répartition sur le réseau

²⁰ Population de la région : 391 000

²¹ A Ansereuilles, l'eau est chlorée, avec un objectif de réduction de son utilisation

²² Population de la région : 47 500

²³ Population de la région : 33 000

²⁴ Entretien avec Erik Linquier, président du SMGSEVESCO, (9 mars 2018)

²⁵ Hofman, et al, nd, « Twenty years of experience with central softening in The Netherlands : Water Quality – Environmental benefits – Costs »

²⁶ Voir fiche usine Dinxperlo dans l'Annexe 4

usines de Paradis (FR), Rodenmors (NL), et Bouchain-Thiant et Vick (FR) ont choisis le procédé de nanofiltration/osmose inverse. A contrario, l'usine du Mont-Valérien (FR), alimentée en eau de Seine, traite la dureté de l'eau par décarbonatation à lit de boues et les pesticides et les micropolluants sur une combinaison de traitements associant les charbons en poudre (CAP) et le charbon actif en grains (CAG).

Comme mentionné précédemment, les usines de petites dimensions semblent plutôt faire le choix de la **décarbonatation électrolytique**. L'eau de Savigné l'Évêque par exemple présente les paramètres de dureté de base similaires à certaines usines du SEDIF, mais le nombre de personnes desservis est beaucoup moins élevé. A noter également que les habitants de Savigné l'Évêque ont été consultés pour choisir le procédé. La décarbonatation électrolytique, ne nécessitant pas de réactif chimique, a été choisie car elle peut s'avérer particulièrement adaptée aux petites installations et à un abaissement limité de la dureté à 10 °f environ, et est considérée comme moins coûteuse dans le temps et plus respectueuse de l'environnement²⁷.

Au sens large, la décarbonatation consiste en une réduction partielle de la dureté, uniquement celle liée aux hydrogénocarbonates et s'accompagne d'une diminution de la minéralisation de l'eau. La technique d'adoucissement par résine échangeuse d'ions utilisée par les particuliers chez eux consiste à réduire la dureté totale en échangeant les ions calcium et magnésium par des ions sodium, sans diminution de la minéralisation de l'eau. La technique d'adoucissement par résines échangeuses d'ions n'est pas utilisée en eau potable car elle s'accompagne d'une très forte augmentation de la concentration en ions sodium dans l'eau. Toutefois, certaines activités industrielles requièrent un niveau de dureté de l'eau très faible, voire nul, notamment pour les réseaux de chaleur et de boucle de vapeur (chaudières)²⁸.

Les caractéristiques de l'eau brute, la capacité de traitement et les objectifs de la qualité de l'eau traitée doivent donc être analysés avec soin avant la mise en place d'un traitement de la dureté.

3.3.2 Volonté publique et satisfaction des usagers

Pour certaines usines, une consultation auprès des habitants a été effectuée afin de recueillir leur avis sur la qualité de l'eau avant et à la suite de la décarbonatation collective. C'est le cas à Yutz et à Griessheim, où plus de 90 % des habitants avait plébiscité la décarbonatation de l'eau dans le projet de modernisation du traitement de l'eau pour cette usine²⁹. C'est aussi le cas à Savigné l'Évêque, où une enquête avait révélé que le principal défaut ressenti par les consommateurs résidait dans sa teneur importante en minéraux, dont le calcaire²⁷.

Semblable à la situation au Japon, aux Pays-Bas, la décarbonatation a été mise en place à l'échelle nationale depuis plus de trente ans. Il peut être affirmé que toute l'eau néerlandaise est douce, soit naturellement, soit après décarbonatation. La raison de cette volonté de décarbonatation à grande échelle est principalement la protection des canalisations en plomb. A l'heure actuelle, le plomb ne constitue plus un problème majeur car la majorité des canalisations en plomb a été remplacée. Par ailleurs, l'ensemble des usines de traitement d'eau des Pays-Bas ne chlore pas l'eau traitée ; contrairement au Japon, où la réglementation nécessite un procédé de chloration. Au Pays-Bas, les installations utilisent des techniques alternatives pour traiter l'eau, telles que la

²⁷ Mairie de Savigné l'Évêque, « Usine de décarbonatation », accessible sur <http://www.savigneleveque.fr/usine-de-decarbonatation/>

²⁸ Entretien avec Bertrand GUILLEMOT, directeur des programmes innovation chez Dalkia (3 mars 2018)

²⁹ SDEA, « La station de pompage et de traitement de Griessheim-sur-Souffel », accessible sur : <http://www.hydreos.fr/route-eau/sitesfr/station-de-traitement-de-griessheim-sur-souffel/>

sédimentation (décantation), la micro- ou nanofiltration, la désinfection par UV ou encore l'oxydation par ozone ou peroxyde³⁰.

A Louveciennes, une série d'enquêtes a été réalisée avant janvier 2017 et après la mise en place de la décarbonatation collective, en juin 2017. Le taux de satisfaction des consommateurs a augmenté de 18 %. Les consommateurs ont trouvé un goût (80 %) et une odeur (42 %) plus agréables à l'eau distribuée³¹. La mise en place de la décarbonatation a également eu un impact positif sur l'image et la notoriété du syndicat³².

De façon générale, il est à noter que les résultats attendus et réels des usines sur la dureté de l'eau traitée ne sont pas inférieurs à 15 °f, ce qui reste supérieur à l'objectif du SEDIF. En effet, dans la plupart des cas, l'objectif de traitement est uniquement la dureté et non le traitement simultané de la dureté, des micropolluants et de la matière organique pour aller vers une eau sans chlore. De plus, d'après l'OMS, une eau idéale est à 15 °f³³.

3.3.3 Pratiques innovantes de décarbonatation

Les informations issues de la revue bibliographique et la consultation des experts ont soulignées certaines techniques de décarbonatation innovantes en termes d'optimisation de procédés et de valorisation des effluents.

Optimisation de procédés de décarbonatation : l'usine du Syndicat de la Vaunage a appliqué la décarbonatation par électrolyse via la technologie ERCA « Electro-Réduction CARbonate de Calcium » comme une solution innovante en matière de décarbonatation³⁴. Inaugurée en 2013, l'usine dessert les quatre communes du syndicat intercommunal des eaux de La Vaunage et les cinq communes de Nîmes Métropole, et est dotée d'un traitement sans aucun ajout de produits chimiques. Sa capacité de production d'eau potable s'élève à 400 m³/h (ou 9 600 m³/j), alimentant près de 20 000 habitants.

La technologie innovante ERCA fonctionne grâce au courant électrique basse tension qui provoque la cristallisation du calcaire qui devient solide et insoluble et peut être extrait par le fond du réacteur. Un procédé d'injection d'air permet à l'extraction de s'effectuer automatiquement et de façon plus économe. Grâce à la mise en service de l'usine, le TH est passé de 30°F à 20°F. L'utilisation d'adoucisseurs n'est plus nécessaire, réduisant ainsi considérablement leur budget alloué. Enfin cette technologie offre également un gain d'énergie de 15 à 20 %³⁵. Selon le Syndicat des Eaux de La Vaunage et le Lyonnaise des Eaux, ce type de traitement est de plus en plus utilisé pour la décarbonatation des eaux potables notamment lorsque le traitement est spécifique et que les contraintes environnementales sont importantes³⁴.

Dans d'autres domaines au-delà de la production de l'eau potable, certains industriels ont recours à des techniques combinées afin d'adoucir l'eau et de la rendre compatible avec leur procédé industriel. Par exemple, Tata Steel applique l'adoucissement à la chaux à froid comme première étape de sa production d'eau déminéralisée afin d'optimiser le procédé de décarbonatation. Deux clarificateurs d'écoulement enlèvent une grande partie du calcium et réduisent ainsi la charge sur les échangeurs d'anions et de cations connectés

³⁰ Smeets et al, 2009. « The Dutch Secret: comment fournir de l'eau potable sans chlore aux Pays-Bas »

³¹ Actualités du SUEZ, publié le 30 mars 2017, www.toutsurmesservices.fr/inauguration-usine-decarbonatation-collective-Louveciennes

³² Entretien avec Erik Linquier, président du SMGSEVES (9 mars 2018).

³³ OMS, 2011. « La Dureté dans l'eau potable ».

³⁴ La Revue l'Eau, l'Industrie, les Nuisances, 30 mai 2013, « L'électrolyse : une solution innovante en matière de décarbonatation », N°362

³⁵ Actualités du SUEZ, publié le 27 août 2015, www.toutsurmesservices.fr/L-usine-de-decarbonatation-de-la-Vaunage-high-tech-et-bio.

dans le reste du processus de production de l'eau déminéralisée (filtration sur sable, échange d'ions et lit mélangé de polissage)³⁶.

Valorisation des effluents : Des techniques innovantes ont également été identifiées en termes d'optimisation de la gestion des sous-produits de traitement de décarbonatation. C'est le cas des réacteurs catalytiques de Brabant Water aux Pays-Bas. La compagnie d'eau potable de Brabant vend les « billes » issues de la décarbonatation catalytique aux industries de la moquette et du verre, et souhaite optimiser davantage le procédé en remplaçant le sable d'ensemencement par de la calcite fine. A l'avenir, la compagnie souhaite également fabriquer la calcite en broyant ses propres billes de chaux. Ce processus aboutirait à une pastille de calcite uniforme, qui pourrait être encore mieux commercialisée en tant que produit résiduel à haute valeur ajoutée³⁶.

A l'usine de Louveciennes, en région parisienne, 4 000 tonnes de calcaire sont extraites puis valorisées dans le milieu agricole. Chaque jour, entre 26 et 29 tonnes de calcaire est récupérés et tractés aux champs environnants dans lesquels le produit est épandu comme engrais naturel³⁷.

3.4 Les impacts du calcaire dans l'eau potable

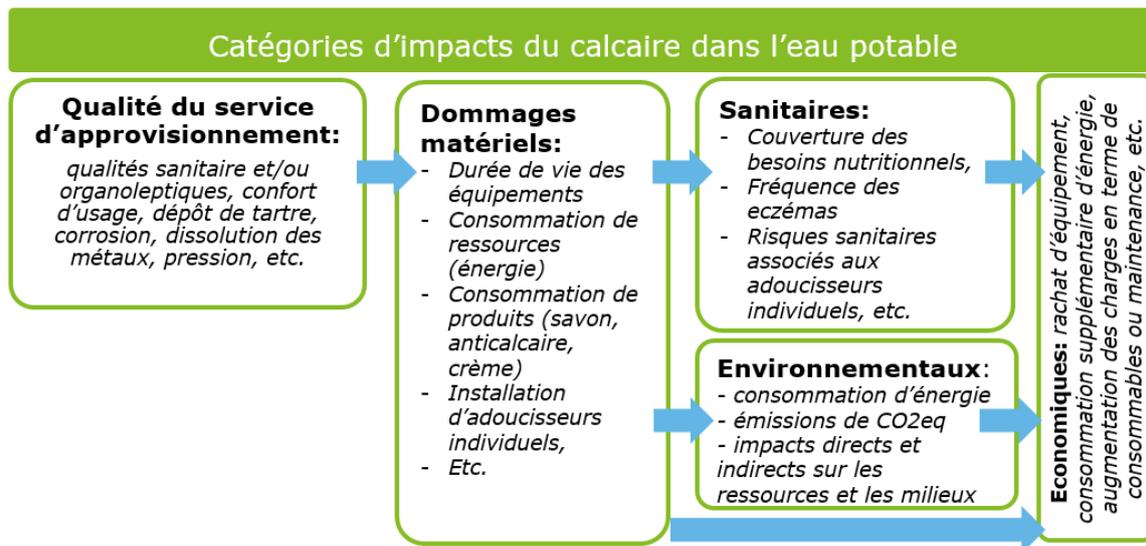
Cette section présente les résultats de l'analyse des études existantes sur les impacts socio-économiques, environnementaux et sanitaires du calcaire dans l'eau potable. A noter que les résultats de cette analyse ont notamment alimenté la deuxième étude de ce projet sur les impacts potentiels du projet de décarbonatation du SEDIF (rapport du volet 2).

Les impacts sanitaires, environnementaux et socio-économiques d'une eau dure (riche en calcium et en magnésium) identifiés dans les études, publications et contributions des experts couvrent les aspects tels que la qualité organoleptique médiocre et un confort d'usage réduit, les dépôts de tartre inesthétiques chez les abonnés et la dégradation des équipements électroménagers. Ces impacts matériels se traduisent directement par des impacts environnementaux et sanitaires, avec des conséquences économiques qui peuvent se révéler significatives. La Figure 3 ci-dessous résume les principaux impacts liés à une eau trop calcaire.

³⁶ Oesterhoelt, F. 2017. « Comparaison des techniques d'adoucissement de l'eau industrielle et potable ».

³⁷ Site web de Tratel, Dossier sur le décarbonatation, www.tratel.fr/decarbonatation, consulté le 30 mai 2018.

Figure 3 : Synthèse d'impacts recensés lors de l'utilisation d'une eau trop calcaire



3.4.1 Impacts environnementaux

Les impacts environnementaux relatifs à une eau trop dure concernent surtout la performance des appareils électroménagers, la consommation de produits d'entretien et la production des déchets.

3.4.1.1 La performance des équipements domestiques

La dureté de l'eau pourrait impacter **la durée de vie des électroménagers** car si l'eau est trop dure, le calcaire se dépose sur les parois des canalisations et des équipements, notamment si l'eau est chauffée. La température augmente le point de précipitation du carbonate de calcium. De sérieux inconvénients (entartrage) peuvent être causés sur le réseau et l'usage domestique pour l'alimentation des chaudières et pour l'eau chaude sanitaire : encrassement des circulateurs, formation de magnétite (grippage de vannes, de têtes thermostatiques), embouage des installations (perte de rendement des radiateurs, et de la chaudière) ou encore réduction du diamètre des canalisations.

Les équipements tels que les bouilloires, les lave-vaisselle ou les machines à laver sont particulièrement concernés par la dureté de l'eau car l'eau est nécessaire pour leur fonctionnement de base. Ces équipements se dégradent donc plus rapidement (colmatage, entartrage...) comparés aux autres appareils n'ayant pas besoin d'eau pour leur fonctionnement. La décarbonatation permet donc de réduire les impacts environnementaux liés au cycle de vie de ces produits en allongeant leur durée de vie d'un point de vue opérationnel.

En plus de la durée de vie des certains équipements, une eau trop dure peut également **réduire l'efficacité énergétique de ces derniers**. Lorsque l'eau circulant dans les tuyaux et la robinetterie est dure, le calcaire se dépose beaucoup plus rapidement sur la résistance des appareils (chaudière, cumulus, etc.). Plusieurs facteurs interviennent dans le dépôt du calcaire sur les appareils électroménagers dont l'élévation de la température de l'eau et la dureté. Si les résistances chauffantes des appareils sont entartrées, la consommation énergétique s'élève, parfois très fortement selon la dureté de l'eau. Une dureté de l'eau très élevée conduira à une plus grande consommation d'énergie (résultant

d'une réduction de l'efficacité du transfert de chaleur) et par conséquent des coûts énergétiques plus élevés³⁸.

En outre, le calcaire est un isolant thermique et agit comme barrière thermique sur les échangeurs. Le calcaire a une conductivité thermique très faible – de l'ordre de 0,6 à 1,2 W.K⁻¹.m⁻¹ (18 W.K⁻¹.m⁻¹ pour l'acier). Une eau dure nécessite donc plus d'énergie pour la faire chauffer qu'une eau douce. Par exemple, 1 mm de calcaire déposé sur une résistance peut entraîner un gaspillage allant jusqu'à 16 % d'énergie (0,1 mm de calcaire équivaut en moyenne à une perte d'environ 5 % de l'efficacité de l'échange thermique). La décarbonatation réduit l'entartrage des réseaux et appareils, générant moins de pertes énergétiques et donc d'émissions carbone. Elle permet une diminution de la consommation énergétique des équipements de production d'eau chaude.

D'après un document SUEZ sur l'impact de l'adoucissement de l'eau pour les consommateurs et l'environnement, un adoucissement à TH = 15 °f aura des impacts positifs en termes des économies sur la durée de vie de l'électroménager (15 à 35%), les produits d'entretien et la lessive (10%), le chauffage de l'eau (5 à 10%) et la consommation d'eau embouteillée³⁹. En outre, le document précise que la décarbonatation permettra une réduction évaluée à 13 % des émissions de gaz à effet de serre (GES) totales. Comparé à une eau dans la maison sans adoucissement, la réduction de GES par étape du cycle de vie (éq.kg CO₂/habitant/an) dû à un adoucissement de 10 °f est de 15%.

Pour les gestionnaires des immeubles, tels que les HLM (Habitations à Loyer Modéré) l'impact se fait sur la consommation d'énergie et le stockage de l'eau pour le chauffage : des économies sont réalisées si l'eau est plus douce. Des économies sont aussi notables pour les laveries, l'hôtellerie et tous les établissements recevant du public.

Pour le secteur de production et distribution de l'eau, par contre, la mise en place d'un procédé de décarbonatation augmentera la consommation d'énergie, de sable (décarbonatation catalytique) et de substances chimiques pour traiter les eaux. Au niveau du traitement de l'eau, 10 kg de CO₂ sont émis par an et par habitant. Si on rajoute la décarbonatation, il passe à 16 kg de CO₂. Cependant, il ne faut pas se limiter à la production seule de l'eau adoucie mais aussi de regarder les bénéfices potentiels sur l'ensemble des impacts environnementaux, sanitaires et socio-économiques. La décarbonatation permet de réduire les impacts environnementaux et l'utilisation des ressources à la maison et dans les industries et notamment de réduire la consommation énergétique (réduction des émissions de CO₂).

3.4.1.2 Production des déchets

La présence du calcaire et donc du tartre dans l'eau n'inspire pas confiance à certains consommateurs qui préfèrent boire de l'eau en bouteille plutôt que l'eau du robinet. La décarbonatation permettrait donc **la réduction de la consommation d'eau embouteillée** pour certains usagers. Une réduction globale de la consommation d'eau en bouteille entraînerait plusieurs impacts environnementaux positifs liés à la fabrication des emballages en plastique et à leur gestion en fin de vie, notamment en termes de réduction des déchets de bouteilles en plastique. De plus, cela pourrait contribuer à protéger le public de la présence de microplastiques dans de l'eau, provenant de bouteilles en plastique, dont les effets sur la santé sont encore incertains.

Avec la mise en œuvre de décarbonatation électrolytique, catalytique ou à lit de boues, les **déchets produits par la décarbonatation peuvent être valorisés**. Le calcaire issu de la décarbonatation est une matière solide. Elle peut être utilisée à des fins agricoles en tant

³⁸ WQRF, 2009. « Étude des avantages de l'eau adoucie: Économies d'énergie et économie de détergent

³⁹ SUEZ, Syndicat des eaux de la presqu'île de Gennevilliers, 2017, plaquette d'information : Impact de l'adoucissement de l'eau pour les consommateurs et l'environnement.

qu'amendement ou dans d'autres secteurs d'activités comme le bâtiment et les travaux publics. Par ailleurs, pour certains procédés comme les résines échangeuses d'ions (décarbonatation sur résines), l'osmose inverse basse pression (OIBP) et la nanofiltration (NF), les éluats de régénération (résines) et/ou les concentrats (OIBP/NF) nécessitent la mise en œuvre de filières de traitement adaptées avant leur rejet éventuel au milieu naturel.

3.4.1.1 Réduction des émissions de certaines substances

Au sens écologique du terme, il n'y a pas d'impacts environnementaux de l'eau décarbonatée, mais plutôt des impacts indirects sur le **réchauffement climatique, l'acidification des sols ou alors la contamination de l'eau par les produits chimiques** liés aux traitements de décarbonatation.

Dissolution des métaux : Si l'eau est trop dure ou trop douce, les métaux lourds comme le plomb ou le cuivre vont avoir tendance à se dissoudre dans l'eau. L'eau chargée de ces ions se retrouve dans les systèmes d'assainissement et est rejetée dans les eaux et les sols si les procédés de traitements ne sont pas efficaces pour ces substances. Ces ions sont très toxiques pour les organismes aquatiques. La décarbonatation permet de limiter cette pollution. Par exemple, les techniques de décarbonatation utilisées aux Pays-Bas ont permis une **réduction des émissions de cuivre et de plomb** dans l'environnement (environ 30 % pour le cuivre)⁴⁰. Toutefois, le respect de la limite de qualité de 10 µg/L dans les eaux destinées à la consommation humaine pour le plomb ne peut être obtenu que si l'eau est à l'équilibre calco-carbonique et non corrosive (condition nécessaire mais non suffisante) et que les branchements (et les canalisations intérieures également) en plomb ont été remplacés.

Emissions de détergents : Le calcaire réagit en présence de substances alcalines comme le savon et précipite lorsque l'eau est portée à ébullition ou s'évapore. L'eau dure réduit le pouvoir moussant et nettoyant des savons et des détergents en les faisant précipiter. L'efficacité des produits de lessive et d'entretien diminue au fur et à mesure que croît la dureté de l'eau. Il est conseillé d'augmenter la dose de produits si l'eau est dure (cf. étiquettes des produits d'entretien). La mise en place de la décarbonatation collective permettrait potentiellement une **baisse des consommations de détergents et donc une réduction de la pollution des eaux**. Le fait de mettre moins de lessives, dont celles contenant du phosphate, réduit le rejet de substances chimiques et de phosphate dans les eaux⁴⁰.

Par ailleurs, le détachage est plus efficace si l'eau est douce plutôt que si la dose de détergent ou la température de lavage sont augmentées. La diminution de la dureté montre une efficacité 100 fois plus efficace au détachage que l'augmentation de la dose de détergent ou de la température de l'eau. L'eau douce combinée avec la plus faible dose de détergent et la plus basse température montre le plus haut degré de blanchiment comparé à l'augmentation de la dureté avec le plus haut niveau de détergent et la plus haute température qui est le plus faible degré de blanchiment trouvé. Quand l'eau dure est adoucie avant son utilisation en machine, la dose de détergent utilisée peut être réduite de 50 % et le lavage peut être porté à 15,5 °C au lieu de 37,7 °C tout en gardant toujours la même efficacité de lavage et de détachage pour les vêtements blancs, voire même une meilleure efficacité. Cette conclusion est valable pour toutes les taches et tous les détergents testés⁴¹. Une économie de 70 % du produit-vaisselle est estimée lorsque le lavage est effectué avec de l'eau douce et le lavage est plus efficace et permet d'enlever

⁴⁰ HOFMAN, J. et al., 2006. « Vingt ans d'expérience avec l'adoucissement central aux Pays-Bas ».

⁴¹ WQRF, 2011. " Évaluation des effets relatifs de la dureté, sur l'efficacité d'élimination des taches ".

correctement les biofilms sur la vaisselle⁴². Quasiment tous les lave-vaisselles sont aujourd'hui équipés d'adoucisseurs d'eau intégrés.

Les adoucisseurs individuels utilisent une technique d'adoucissement sur résines échangeuses d'ions et qui nécessite l'utilisation de **sels de régénération**. La résine doit être régénérée avec du chlorure de sodium. En décarbonatant l'eau de manière collective, l'utilisation des adoucisseurs individuels pourrait être inutile et contribuer à réduire le rejet de sels dans l'environnement, même si le chlorure de sodium n'est pas nocif pour l'environnement.

Synthèse des résultats clés sur les impacts environnementaux :

Une eau trop dure peut réduire la durée de vie opérationnelle d'un équipement, augmenter leur consommation énergétique et induire une augmentation importante de l'utilisation de produits chimiques et de produits d'entretien par ex. pour enlever le calcaire, les détergents, les savons, etc. La décarbonatation collective engendrerait donc des impacts positifs sur l'environnement en termes de la performance et l'efficacité énergétique des équipements, la réduction de la consommation des produits ménagers d'entretien et l'efficacité optimale de ces derniers. Par ailleurs, les déchets liés aux procédés de décarbonatation peuvent être valorisés et la réduction de la consommation d'eau embouteillée réduit les déchets en bouteille plastique.

3.4.2 Impacts socio-économiques

Les impacts socio-économiques relatifs à une eau trop dure dépendent du type d'acteur concerné, couvrant les aspects tels que la satisfaction des consommateurs et les économies liées à l'achat des produits par ex. les produits d'entretien et l'eau en bouteille.

3.4.2.1 Impacts économiques par type d'usager

Le type et le degré des impacts socio-économiques liés à la dureté de l'eau varient selon le groupe d'utilisateurs concerné. Dans le cadre de cette étude, les principaux acteurs concernés sont les particuliers (et les ménages), les collectivités et les acteurs des certains secteurs industriels :

- **Pour les particuliers**, une eau dure peut entraîner des coûts supplémentaires (facture d'électricité) liés à la consommation énergétique de certains équipements électroménagers, qui est plus important que leur consommation d'énergie quand l'eau est plus douce. L'achat d'un nouveau produit pour remplacer un équipement défectueux à cause de la dureté de l'eau représente également un coût supplémentaire.

Par ailleurs, la consommation est donc l'achat des produits d'entretien par ex. savon, lessive, etc. sont augmentées avec une eau dure. L'utilisation des produits d'entretien peut représenter une dépense entre 100 et 150 € par an et par foyer. Ces deux postes de dépenses seraient réduites pour les consommateurs si l'eau était décarbonatée⁴³. Enfin, grâce à la décarbonatation collective, les consommateurs n'auront plus à investir dans un adoucisseur individuel pour leur confort. Une des sources analysées constate qu'environ 350 € pourrait être réalisé en arrêtant l'achat des adoucisseurs individuels⁴⁴. Certains consommateurs pourraient être emmenés également à arrêter l'achat et la

⁴² WQRF, 2011. " Évaluation des effets relatifs de la dureté, sur l'efficacité d'élimination des taches ".

⁴³ Entretien Xavier Guivarch, Directeur technique eau potable SUEZ, chargé de la mise en place des projets de décarbonatation (Mars, 2018).

⁴⁴ Présentation M. Pieronne / SUEZ, 2017, « Bénéfices de la décarbonatation pour les consommateurs, l'environnement et les collectivités. »

consommation de l'eau embouteillé si par exemple leur préférence pour l'eau de boisson est liée à la présence de calcaire ou le goût.

Selon les estimations sur les différents coûts identifiées dans la littérature et la consultation des experts, les économies réalisées par les particuliers grâce à la décarbonatation et donc une eau moins dure sont entre **150 à 200 € par foyer et par an**. Pour une famille de 4 personnes, on compte environ un coût de 60 € lié à l'achat de produits anticalcaires, un coût de 30 € lié à l'électroménager, un coût de 30 € lié à la consommation énergétique et un coût de 40 € pour l'entretien⁴⁵. A noter que ces estimations représentent les résultats moyens et que chaque source d'information s'appuie sur les hypothèses et des paramètres variés.

- **Pour les opérateurs responsables pour la production de l'eau potable**, une eau trop dure pourrait engendrer des impacts sur le réseau de distribution. L'entartrage et le colmatage progressif des canalisations entraînent des pertes de charge et un grand nombre de réclamations des abonnés. Les gestionnaires de parc immobilier sont également très sensibilisés aux nuisances dues au calcaire qui les obligent à des investissements coûteux (remplacement fréquent des équipements (robinet, canalisation, pommeau de douche, chaudière), augmentation du coût de maintenance des installations).
- L'impact de la dureté de l'eau sur les **activités industrielles dépend du secteur d'activité**. Les industriels des secteurs de la pharmacie, agronomie et de l'électronique sont les plus impactés avec les entreprises de gestion de l'eau où la qualité de l'eau est un paramètre important dans la production de leurs produits. Certains acteurs industriels possèdent en effet leurs propres systèmes de décarbonatation donc si l'eau est plus douce, ils réaliseront des économies. Par exemple, l'entreprise Dalkia, filiale du groupe EDF, a constaté une augmentation de la fréquence de changement de ses chaudières et autres équipements lorsque l'eau est très dure⁴⁶.

3.4.2.2 Satisfaction des usagers et image des sociétés d'eau

Une eau dure entraîne de nombreux inconvénients pour les consommateurs. Le calcaire induit la **formation de tartre** qui peut endommager les canalisations et réduire le débit d'eau. Des dépôts blancs se forment également sur les plans de travail, la vaisselle, le verre, les douches, les WC. Plus l'eau est chauffée, plus le calcaire va précipiter et plus les dépôts seront importants. Ces **défauts esthétiques** sont aussi une **source d'inconfort** pour les consommateurs. Les consommateurs doivent nettoyer plus régulièrement le calcaire dans leurs équipements et pièces d'eau. De plus, une eau dure diminue l'efficacité des produits d'entretien et des savons. Une eau dure abîme le linge domestique. Des dépôts de calcaire vont se déposer sur les fibres du textile. Le tissu va paraître plus rigide. Le carbonate de calcium peut également altérer la couleur des tissus et l'augmentation de l'utilisation des produits de lavage ne fait qu'augmenter ce phénomène.

La concentration en minéraux dans l'eau a un impact majeur sur le **goût de l'eau**. Selon une enquête de consommateur, le mauvais goût et la dureté (22 %) demeurent les deux freins principaux à la consommation d'eau du robinet⁴⁷. L'augmentation de la satisfaction des consommateurs est ce qui a conduit de nombreux syndicats à mettre en place un procédé de décarbonatation collective.

Pour avoir mis en place un procédé de décarbonatation collective sur son territoire, le SMGSEVESC a reçu le Prix territorial 2017. Le taux de satisfaction des consommateurs a augmenté de 18 %. Les consommateurs lui ont trouvé un goût (80 %) et une odeur (42 %) plus agréables⁴⁸. L'effet induit est en partie psychologique. La chloration a un impact

⁴⁵ SEOP, 2017. *Une eau moins calcaire à partir de 2017*.

⁴⁶ Entretien de M. Bertrand Guillemot, Directeur des programmes innovations, Dalkia (Mars, 2018).

⁴⁷ IFOP, 2014. *Ressources en eau: perception et consommation des français*.

⁴⁸ Entretien de M. Erik LINQUIER et de Mme. Laurence BREUS (SMGSEVESC). Mars, 2018.

beaucoup plus important sur le goût que la décarbonatation. La mise en place de la décarbonatation a également eu un **impact positif sur l'image et la notoriété du syndicat**. Environ 86 % des personnes interrogées estiment qu'il agit pour la qualité de vie des citoyens et 83 % pensent que la collectivité s'engage en faveur de l'environnement⁴⁹.

Enfin, une enquête de Suez sur le retour des consommateurs suite au passage à l'eau décarbonatée en Ile-de-France (eau passant de 30-35 °f à 20 °f) montre un résultat très positif : la satisfaction des consommateurs sur la qualité de l'eau est passée de 70 à 90 %, tandis que sur la présence de calcaire, la satisfaction a évolué de 15 % à 45 %⁵⁰.

Synthèse des résultats clés sur les impacts socio-économiques :

Les impacts sociaux et économiques liés à une eau dure dépendent beaucoup de la catégorie d'utilisateur et de leur poste de consommation. Globalement, la mise en place de la décarbonatation collective permet aux usagers de réaliser des économies considérables. La décarbonatation pourrait contribuer à limiter la dégradation des équipements et réduire les dépenses liées à leur consommation d'énergie (via la facture de l'électricité), l'achat des produits d'entretien concernés et des bouteilles d'eau.

La majorité des études analysées montre que la satisfaction des consommateurs sur le goût de l'eau est en lien direct avec la présence de calcaire – moins l'eau est dure, plus la satisfaction des consommateurs est élevée. Notons tout de même que ces études ne prennent pas toujours en compte le comportement des individus : il n'est pas aisé de savoir si les usagers ajustent réellement leur comportement vis-à-vis la quantité de produits d'entretien utilisée ou si l'utilisateur tirera réellement profit du prolongement de la durée de vie ou la réduction de la consommation d'énergie de ses équipements en fonction de la dureté de l'eau.

3.4.3 Impacts sanitaires

Plusieurs impacts sanitaires potentiels liés à une eau trop dure ont été identifiés lors de la revue bibliographique, notamment les impacts de la minéralisation, la dissolution des métaux lourds via la corrosion des canalisations ou alors le dépôt de tartre et développement de microorganismes.

3.4.3.1 Minéralisation de l'eau potable

Le calcium et le magnésium ne sont **pas dangereux pour la santé**, au contraire. Ces minéraux participent à l'apport minéral quotidien nécessaire au bon fonctionnement de l'organisme et ont un **rôle bénéfique** pour la santé.

Le **Calcium (Ca)** est un élément nécessaire à l'édification et au renouvellement du squelette. Il est surtout présent dans les os et les dents. Il joue également un rôle dans l'excitabilité neuromusculaire, la contraction du myocarde, la contraction des muscles, la transmission des informations intracellulaires et la coagulation du sang. Une déficience en calcium peut induire le développement de certaines maladies comme l'ostéoporose et l'ostéomalacie. L'ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de

⁴⁹ SMGSEVES, 2017. *Une eau moins calcaire depuis un an : Versailles Grand Parc*.

⁵⁰ Entretien de M. Laurent BRUNET, (FP2E). Mars, 2018.

l'environnement et du travail) recommande un Apport Nutritionnel Conseillé (ANC) entre 700 et 1 200 mg Ca/jour selon le profil de l'individu (enfant, femme enceinte...)⁵¹.

Le **Magnésium (Mg)**, quant à lui, joue un rôle de cofacteur et d'activateur de réactions enzymatiques : métabolisme de l'ATP (Adénosine triphosphate), transport d'éléments comme le sodium (Na), le potassium (K) et le calcium (Ca) à travers les membranes cellulaires, synthèse de protéines et d'acide nucléiques. C'est un antagoniste naturel du calcium. Les personnes présentant une déficience en magnésium peuvent être atteintes de vasoconstriction, hypertension, arythmie cardiaque, athérosclérose ou d'infarctus du myocarde. La teneur en magnésium recommandée par jour est de 300 à 400 mg selon le profil de l'individu^{52,53}.

L'eau a longtemps été considérée comme une source majeure d'apport en calcium pour l'homme. Aujourd'hui, cette source est moins importante car l'alimentation s'est diversifiée et la consommation en produits laitiers s'est considérablement accrue. Toutefois, il est toujours conseillé aux personnes présentant un déficit en calcium de consommer des eaux minérales chargeurs en minéraux. Certaines en contiennent d'ailleurs plusieurs centaines de mg/L (Vittel : 240mg/L de Ca²⁺, Contrex : 468 mg/L etc.). Une eau dure (riche en calcium et en magnésium) couvre environ un tiers **des besoins en calcium et magnésium de l'homme**² et contribue à un quart des apports journaliers en calcium. Des experts affirment que l'apport en calcium journalier de l'eau est de 10 % à 20 % et de 7 % à 15 %⁵⁴. Selon une étude de Galan et al. (2002), les personnes buvant de l'eau minérale riche en minéraux ont un apport en calcium supérieur à celles buvant une eau minérale à faible teneur en minéraux.

Une eau minéralisée est aussi plus agréable à boire. L'eau avec un meilleur goût a été évaluée à un TDS (Total Dissolved Solid) entre 190 et 350 mg/L et une concentration en calcium entre 42 et 117 mg Ca/L⁵⁵.

Selon certaines études, consommer de l'eau dure assurerait une **protection contre les maladies cardiovasculaires**. Des études épidémiologiques montrent une corrélation inversée entre la dureté de l'eau et la mortalité due aux maladies cardiovasculaires⁵⁶. La plupart de ces études épidémiologiques sont relativement anciennes (1990-2000). Une étude réalisée par Perez Granados et al. (2010)⁵⁷ montre un impact positif de l'eau minérale sur le risque cardiovasculaire mais la corrélation est faible et peu fiable (N=18). Par ailleurs, aucun lien de causalité évident n'a été prouvé entre la dureté de l'eau et la mortalité par maladie coronarienne du cœur⁵⁸. Actuellement, même si certaines études épidémiologiques montrent une corrélation entre la dureté de l'eau et la protection contre les maladies cardiovasculaires, il n'y a aucune preuve scientifique d'un lien direct ou d'un mécanisme entre les deux.

⁵¹ ANSES, 2018, Le calcium, présentation, sources alimentaires et besoins nutritionnels, <https://www.anses.fr/fr/content/le-calcium>.

⁵² OPECST (Office Parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques), 2002-2003, La qualité de l'eau et l'assainissement en France, <https://www.senat.fr/rap/I02-215-2/I02-215-265.html>.

⁵³ INSERM, 1999, Besoins, carences et suppléments en vitamines et minéraux, <http://www.ipubli.inserm.fr/bitstream/handle/10608/190/?sequence=9>.

⁵⁴ Entretien de M. Laurent Brunet, Président du Comité Scientifique et Technique de la FP2E (Mars, 2018).

⁵⁵ Vingerhoeds, M. et al., 2016. « Qualité sensorielle de l'eau potable produite par filtration membranaire par osmose inverse suivie d'une reminéralisation ».

⁵⁶ Lee, I. et al., 2006. « Informations utiles provenant de grandes quantités de données sur l'environnement et la santé afin de réduire les incertitudes liées à la formulation de politiques environnementales ».

⁵⁷ Perez Granados et al., 2010. « Réduction du risque cardiovasculaire par l'eau minérale bicarbonatée en sodium chez les jeunes adultes modérément hypercholestérolémies ».

⁵⁸ Miyake, Y. et al., 2004b. « Absence d'association entre la dureté de l'eau et la mortalité par maladie coronarienne au Japon ».

Certaines revues affirment que la présence d'ions calcium dans l'eau aurait tendance à diminuer le risque de formation de **calculs rénaux**. Cependant à ce jour, aucune étude scientifique fiable n'a permis de vérifier cette hypothèse.

3.4.3.2 Le calcaire et les problèmes cutanés

En 2018, une étude de Danby et al. (2018)⁵⁹, a montré que l'exposition cutanée au SLS (Sodium Lauryl Sulfate), un détergent et tensioactif ionique fort, est augmentée lorsque la peau est lavée avec de l'eau dure plutôt qu'avec de l'eau déionisée. Les ions calcium vont faire précipiter le savon et induire le dépôt de SLS sur la peau. En réduisant la dureté de l'eau à moins de 25 mg/L CaCO₃ (TH < 2,5 °f), les résidus de SLS sont considérablement réduits.

Des études épidémiologiques réalisées au Japon montrent que la dureté de l'eau pourrait potentiellement **augmenter le risque de dermatite atopique** chez les enfants notamment⁶⁰. De plus, l'exposition à une eau dure dans le cadre de la natation augmenterait également la prévalence **d'eczéma** chez les enfants⁶¹. Un taux de calcaire élevé dans l'eau peut être la cause de problèmes de **sécheresse cutanée**. Les dépôts de savon qui ont tendance à précipiter plus facilement avec une eau dure restent sur la peau et vont l'irriter. Ces irritations cutanées pourraient également être causées par un **affaiblissement de la barrière naturelle de la peau** par les produits d'entretien et les sels présents dans l'eau dure ou par les oxydants à base de chlore. Cependant, aucun lien n'a été démontré entre **l'eczéma et la dureté de l'eau** ou la durée du bain chez les jeunes enfants⁶².

3.4.3.3 Corrosion des canalisations et la dissolution des métaux lourds

L'équilibre calco-carbonique est important à considérer car la dureté de l'eau pourrait entraîner indirectement la corrosion des canalisations et la dissolution des métaux lourds (plomb, cuivre, etc.). Il convient donc dans ces conditions de décarbonater l'eau afin d'obtenir une eau à l'équilibre calco-carbonique avec un pH d'équilibre supérieur à 7,5. Cependant, une eau carbonatée génère également un dépôt de tartre sur les parois des canalisations. A faible dose, ce dépôt assure une **protection** contre les risques de corrosion des métaux lourds (fer, zinc, cuivre ou plomb).

En France, la norme 8044 : 2015⁶³ définit les termes relatifs à la corrosion des métaux qui sont employés dans les sciences et techniques. Les canalisations en plomb, longtemps utilisées pour leur étanchéité et leur souplesse, ont été interdites d'installation par la Commission européenne en 1995. Ces canalisations ont progressivement été remplacées par des canalisations en cuivre ou en laiton. L'objectif était de remplacer toutes les canalisations en plomb restantes d'ici le 25 décembre 2013. Toutefois, dans certaines habitations, d'anciennes canalisations en plomb peuvent subsister.

Adoucir l'eau diminue la vitesse de dissolution du plomb et du cuivre. La solubilité du plomb décroît avec la teneur en ions hydrogénocarbonate. Plus la dureté/TAC est basse, plus le pH d'équilibre de dissolution du plomb est élevé. La Directive européenne 98/83/CE fixe la limite de qualité du plomb dans l'eau potable à 10 µg/L depuis le 26 décembre 2013, mais

⁵⁹ Danby, S. et al., 2018. « Effet de la dureté de l'eau sur les dépôts de surfactant et irritation cutanée ».

⁶⁰ Miyake, Y. et al., 2004a. « Dureté de l'eau et la prévalence de la dermatite atopique infantile ».

⁶¹ Chaumont et al., 2012. « La dureté de l'eau et l'atopie dans le développement de l'eczéma infantile ».

⁶² Font-Ribera et al., 2015. Dureté de l'eau et eczéma à l'âge de 4 et 1 ans

⁶³ ISO (Organisme International de Normalisation), 2015, Norme 8044 : 2015 relative à la corrosion des métaux et alliages, [iso.org/fr/standard/66233.html](https://www.iso.org/fr/standard/66233.html).

cette valeur pourrait bientôt être abaissée à 5 µg/L⁶⁴. Toutefois, le respect de la limite de qualité de 10 µg/L dans les eaux destinées à la consommation humaine pour le plomb ne peut être obtenu que si l'eau est à l'équilibre calco-carbonique et non corrosive (condition nécessaire mais non suffisante) et que les branchements et les canalisations intérieures également en plomb ont été remplacés⁶⁵.

L'étude de Hofman et al. (2006)⁶⁶ a montré que la mise en place de la décarbonatation collective avait permis de réduire les concentrations de cuivre en dessous des seuils fixés par la réglementation. Les solubilités du plomb et du cuivre ont été réduites de 30 % environ. Cependant, une eau douce ou très douce, si elle n'est pas à l'équilibre calcocarbonique, est généralement **agressive** et également **corrosive**. Les eaux douces dissolvent alors le fer, le plomb, le zinc et le cuivre des tuyaux. Les eaux ainsi contaminées présentent alors des risques pour la santé. Plus l'eau est dure et l'alcalinité est forte, moins d'ion ferreux sont libérés dans les canalisations. Le calcaire tend à limiter la corrosion des canalisations en fer.

Afin de limiter la corrosion et protéger les équipements contre la précipitation du calcaire tout en maintenant une bonne qualité de l'eau lors de sa distribution, l'eau ne doit être ni trop dure ni trop douce, à l'équilibre calco-carbonique ou légèrement incrustante et non corrosive. L'eau ne doit pas être trop dure pour éviter l'encrassement des canalisations mais elle doit être suffisamment dure pour permettre la formation d'une couche protectrice de carbonate de calcium isolant les canalisations de l'eau transportée.

D'après les Pays-Bas, la dureté idéale est située entre 12 et 15 °f. La règle dite des 3 x 8 (pH ≥ 8, un TAC (Alcalinité totale de l'eau) ≥ 8°f et un THCa (titre hydrométrique calcique) ≥ 8°f) est le moyen mnémotechnique utilisé lors de la neutralisation et/ou la reminéralisation des eaux trop douces et agressives. Cela constitue un objectif minimal mais pour certaines eaux très douces, il est parfois nécessaire de viser des TH et TAC de 11 à 12 °C pour obtenir la conductivité minimale pour l'eau destinée à la consommation humaine (EDCH)⁶⁷. Cette règle n'est pas valable pour l'adoucissement d'une eau dure.

3.4.3.4 Dépôt de tartre et développement de microorganismes

Désormais, la plupart des réseaux et installations de professionnels ne sont plus en plomb mais en cuivre ou en matériaux plastiques. Il y a donc peu de risque de dissolution du plomb dans l'eau. Il s'agit surtout du **risque de développement de microorganismes pathogènes** induit par l'accumulation de tartre.

Il a été démontré que la dureté de l'eau affecte la **faune fongique** des lave vaisselles. La **diversité des espèces** trouvées dans les dépôts de tartre et les biofilms des lave vaisselles utilisant de l'eau dure ou moyennement dure est plus importante qu'avec de l'eau douce où la biomasse est dominée par les ascomycètes⁶⁸. L'existence et la morphologie de certains champignons dépend de la présence de certains cations comme le calcium (Ca²⁺). De plus, la composition fongique peut être influencée par l'adaptation des microorganismes aux détergents. D'autres ions comme les ions chlorures (Cl⁻) générés par la chloration de l'eau n'affectent pas le développement de certains champignons. Cependant, comme cela a été noté précédemment, une eau trop douce est généralement une eau corrosive qui va attaquer les parois des canalisations et favoriser la formation de

⁶⁴ Commission européenne, 1998, Directive 98/83/CE du Conseil du 3 novembre 1998 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine, *Journal officiel n° L 330 du 05/12/1998 p. 0032 - 0054*, <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:31998L0083>.

⁶⁵ Conseil supérieur d'hygiène publique de France, séance du 9 novembre 2004

⁶⁶ Hofman, J. et al., 2006. « Vingt ans d'expérience avec l'adoucissement central aux Pays-Bas ».

⁶⁷ Entretien avec M. Thierry Pichard, IRH. Juin 2018.

⁶⁸ Raghupathi et al., 2017. "Diversité microbienne et pathogènes opportunistes putatifs dans les communautés de biofilms de lave-vaisselle"

dépôts. Des bactéries vont alors pouvoir se développer au niveau de ces points de dépôts et de corrosion et contaminer l'eau.

3.4.3.5 Les procédés de décarbonatation

Dans certaines régions où l'eau est très dure, certains particuliers utilisent un **adoucisseur individuel** pour améliorer leur confort. Si l'adoucisseur n'est pas bien entretenu, cela peut entraîner la prolifération de microorganismes. De même, s'il est mal réglé, l'eau peut être adoucie de façon excessive. Il est rappelé qu'un adoucisseur doit toujours être muni d'une dérivation permettant de régler la qualité de l'eau adoucie distribuée. Le Code de la santé publique autorise les traitements complémentaires de la qualité de l'eau dans les installations collectives, sous réserve que le consommateur final dispose également d'une eau froide non soumise à ce traitement. La décarbonatation collective permet d'éviter aux particuliers l'installation d'adoucisseurs individuels qui peuvent altérer la qualité de l'eau potable.

En utilisant la décarbonatation collective par **osmose inverse basse pression ou par nanofiltration**, le SEDIF devra s'assurer d'avoir des membranes disposant d'une attestation de conformité sanitaire (ACS). Ces attestations délivrées pour le compte du Ministère de la santé par des laboratoires agréés, permettent de s'assurer de l'innocuité de la membrane utilisée. Les membranes sont des produits organiques. Tout en enlevant le calcaire, la nanofiltration ou l'osmose inverse basse pression permettent également d'éliminer en même temps d'autres substances comme des perturbateurs endocriniens, des pesticides, des molécules organiques ou d'autres minéraux (nitrates, sulfates, par exemple).

Le sodium est un autre point d'attention sanitaire. Il est possible de retrouver du sodium à la place du calcium avec certaines méthodes de décarbonatation, notamment lors de la mise en œuvre d'une décarbonatation à la soude ou lors de l'adoucissement avec des résines échangeuses d'ions. Plus l'eau à traiter est dure et plus l'abaissement de dureté est important, plus la concentration en sodium est élevée dans l'eau adoucie. Cependant, cet **apport reste négligeable** pour la plupart des individus (équivalent à la quantité de sel présent dans une baguette de pain), sauf pour les personnes ayant un régime strict en sel, les personnes souffrant d'hypertension, les personnes cardiaques ou les femmes enceintes. Il n'y a aucun risque sanitaire mais les médecins doivent être prévenus pour pouvoir répondre à certaines questions. Le procédé d'osmose inverse basse pression ou de nanofiltration n'induit pas l'ajout de sodium⁶⁹.

Synthèse des résultats clés sur les impacts sanitaires :

La présence du calcium dans l'eau potable ne constitue pas un enjeu de santé publique, actuel ni à venir. L'équilibre calco-carbonique et la corrosivité des eaux distribuées doivent être maîtrisés depuis la sortie de l'usine de production d'eau potable jusqu'au robinet du consommateur pour limiter au maximum les interactions eau matériaux, potentiellement sources de risques sanitaires (dissolution du plomb, du cuivre ou du nickel notamment).

⁶⁹ Entretien de M. Laurent Brunet, Président du Comité Scientifique et Technique de la FP2E (Mars, 2018).

Annexe

4. Annexe

Les annexes contiennent les informations suivantes :

- Annexe 1 – Le fichier reporting et benchmark des usines (en pièce jointe)
- Annexe 2 – Bilan de la consultation des experts et compte-rendus des entretiens (en pièce jointe)
- Annexe 3 – Fiches détaillés des initiatives sur le calcaire dans l'eau potable
- Annexe 4 – Fiches détaillés de trois usines

Annexe 1 : Benchmark des usines fichier reporting des sources

Le fichier de reporting complet de la recherche bibliographique et le benchmark des usines avec les informations sur les traitements de décarbonatation sont disponibles en pièce jointe.

Annexe 2 : Bilan de la consultation des experts

Les experts qui ont contribué à l'étude sont indiqués en italique et surlignés dans le tableau ci-dessous. Les comptes-rendus des échanges sont disponible en pièce jointe.

Nom	Organisation/Expertise
<i>Alban ROBIN</i>	DGS – Responsable du bureau qualité des eaux
Alexandra PROVADGI	Euroheat
<i>Bernard LEGUBE</i>	Professeur émérite, l'Université de Poitiers, chimie et matériaux
<i>Bertrand GUILLEMOT</i>	Dalkia - Responsable Département Expertise Techniques
Carl JASPER	European Water Treatment Association (EWTA)
Charles-André GELE	Directeur R&D, Saur
Christophe MECHOUK	Chef de Division service de l'eau de Lausanne
Damien CHICAUD	Groupement Fabricants d'Appareils et d'électroménagers (GIFAM)
Denis MINOT	Syndicat des eaux de la Charente-Maritime
Élisabeth CHESNAIS	UFC Que choisir
<i>Erik LINQUIER</i>	Syndicat Mixte la Gestion du Service des Eaux de Versailles et Saint-Cloud
Evelyne FLAHAUT	Must (spécialisée en maintenance des systèmes de chauffage)
Frederik LOOTEN	De Watergroep
Guillaume DE LARMINAT	Syndicat national des entreprises du traitement de l'eau
Sylvie HOMER	Agence Régionale de Santé (ARS) Normandie
Hubert SCHREIBER	Hessenwasser GmbH
Jan Peter VAN DER HOEK	Waternet
Jean Phillippe MACHON	Mairie de Saintes
Julien COQUELET	IDEX énergies
<i>Laurent BRUNET</i>	FP2E -Fédération Professionnelle des Entreprises de l'Eau
Laurent ORTALDA	Centre de Recherche pour l'Etude et l'Observation des Conditions de Vie
Mariam SISSOKO	FFA (Fédération Française de l'Assurance)
Matthieu KIRCHHOFFER	Engie-Cofely
Megan KROHN	Conseil Canadien des ministres de l'environnement
Olivier CORREC	CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment)
Olivier RISSE	Fédération Française des Pressings et Blanchisseries
Patrick WEITEN	Conseil départemental de Moselle, vice-président de la Région Grand Est
Pauli UNDESSER	Water Quality Research Foundation (WQRF)
Philippe QUENEL	Professeur EHESP, laboratoire de recherche en environnement et santé
Ralf ZORN	Verbandsgemeindewerke Konz (VGW Konz)
René SEUX	Professeur émérite EHESP, membre AAF
Sylvie BOURDIN	Union des Métiers et des Industries de l'Hôtellerie (UIMH)
<i>Xavier GUIVARCH</i>	SUEZ - Directeur Technique Eau Potable
Yves LEVI	Université Paris-Sud AgroParisTech

Annexe 3 : Fiches détaillées des initiatives sur le calcaire

PAYS	BELGIQUE - WALLONNE
Nom du texte de loi/recommandation	Norme 1 : Le Code de l'Eau - articles D.180 à D.193 et articles R.252 à R.270 Norme 2 : l'arrêté royal du 14 janvier 2002
Nature du texte	Réglementation (code et arrêté)
Entrée en vigueur	Norme 1 : 27 mai 2004 et l'arrêté : 14 janvier 2002
Zone géographique	Région Wallonie (population : 3,6 millions)
Organisme porteur	Gouvernement wallon
Objectifs	1. Obliger le distributeur à garantir une eau répondant aux normes de potabilité jusqu'au robinet 2. Protéger et garantir la santé des personnes
Contexte	1. Garantir une eau propre aux consommateurs 2. Eviter la corrosion des installations de distribution de l'eau potable
Type de valeur	Pas de valeur guide, uniquement des indications sur les propriétés physico-chimiques de l'eau potable à respecter
Valeurs	<p>En Belgique, la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine est une compétence régionale. Dans la région de Wallonie en Belgique, il n'y a pas de valeur absolue fixée sur la dureté de l'eau potable. Par contre, la directive européenne a été transposée en droit wallon dans le Code de l'Eau dans sa partie décrétable aux articles D.180 à D.193, et dans sa partie réglementaire aux articles R.252 à R.270 donc l'eau de distribution doit répondre aux exigences de qualité imposées par la législation européenne 98/83/CE. Ainsi, l'eau ne doit contenir aucun micro-organisme, parasite ni substance constituant un danger potentiel pour la santé des personnes ; elle doit également être conforme vis-à-vis d'un ensemble de normes de potabilité. L'eau de distribution doit satisfaire à 48 paramètres de qualité classés en trois catégories :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les paramètres microbiologiques • Les paramètres physico-chimiques • Les paramètres indicateurs (indicateurs fixés à des fins de contrôle de qualité organoleptique (couleur, odeur, saveur)) <p>Ceux-ci sont fixés par l'Union européenne, le plus souvent sur la base des recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Cependant, aucune mention n'est faite sur la dureté de l'eau.</p> <p>De plus, la composition chimique et physicochimique des eaux de source est fixée par l'arrêté royal du 14 janvier 2002 relatif</p>

PAYS	BELGIQUE - WALLONNE
	à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine qui sont conditionnées ou qui sont utilisées dans les établissements alimentaires pour la fabrication et/ou la mise dans le commerce de denrées alimentaires.
Sources	<ul style="list-style-type: none"> • Direction de la Coordination des données, Gouvernement Wallonne, Janvier 2018, <i>Qualité des Eaux Distribués par les réseaux publics en Wallonie</i> • La Société Wallonne des Eaux, 2017, <i>Règlement général de distribution d'eau en région wallonne</i>

PAYS	CANADA
Nom du texte de loi/recommandation	Canadian Water Quality Guidelines
Nature du texte	Recommandation
Entrée en vigueur	1987
Zone géographique	Canada (population : 36 million)
Organisme porteur	Conseil Canadien des Ministères de l'Environnement (CCREM)
Objectifs	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fournir des lignes directrices sur la qualité de l'eau pour les principales utilisations de l'eau au Canada. Ces lignes directrices expliquent également les effets de l'eau dure et formulent des recommandations appropriées sur le niveau acceptable de dureté de l'eau potable 2. Homogénéiser la définition d'acceptabilité de l'eau potable pour des utilisations spécifiques 3. Fournir des données scientifiques fiables et de références aux autorités et au public et recommander des valeurs limites en termes de concentrations maximales acceptables pour les caractéristiques physiques, chimiques et microbiologiques de l'eau 4. Informer le public sur les conséquences d'utilisation d'une eau de mauvaise qualité sur la santé et les équipements utilisés dans les systèmes de distribution
Contexte	<ol style="list-style-type: none"> 1. Difficulté de trouver une définition et une référence commune en termes de niveau acceptable d'eau potable 2. Effet néfaste de l'eau dure sur la santé et les équipements utilisés
Type de valeur	Valeur guide (recommandée)

PAYS	CANADA
Valeurs	<p>La réglementation ne fixe pas de seuil pour la dureté de l'eau car le niveau de tolérance peut varier d'une population à l'autre. En revanche, une dureté de 80 à 100 mg de CaCO₃/L (8 à 10 °f) est recommandée pour éviter à la fois la corrosion et l'incrustation de calcaire dans les canalisations.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dureté > 200 mg CaCO₃/L (20 °f) : toléré par les consommateurs mais non recommandé • Dureté > 500 mg CaCO₃/L (50°f) : non acceptable pour les usages domestiques
Sources	Task Force on Water Quality Guidelines - Canadian Council of Ministers of the Environment, 2008, <i>Canadian Water Quality Guidelines</i>

PAYS	ETATS-UNIS
Nom du texte de loi/recommandation	Secondary Drinking Water Standards: Guidance for Nuisance Chemicals
Nature du texte	Recommandation
Entrée en vigueur	1979
Zone géographique	Etats-Unis (population : 325 millions)
Organisme porteur	Agence américaine pour la protection de l'environnement (EPA)
Objectifs	<ol style="list-style-type: none"> 1. Protéger le public contre la consommation de contaminants présents dans de l'eau potable et qui présentent un risque pour la santé humaine. 2. Etre une référence en termes de niveau de concentration des contaminants secondaires acceptable. Ces contaminants ne sont pas considérés comme présentant un risque pour la santé humaine 3. Etablir des niveaux de propriété physique de l'eau d'un point de vue : <ul style="list-style-type: none"> • Esthétique (goût, odeur et couleur indésirables) • Cosmétique (effets qui ne nuisent pas à la santé humaine mais restent indésirables) • Technique (destruction des équipements de distribution et de traitement de l'eau)
Contexte	Qualité de l'eau potable
Type de valeur	Pas de valeur limite précise
Sources	Environmental Protection Agency (EPA), 2017 <i>Secondary Drinking Water Standards: Guidance for Nuisance Chemicals</i>

PAYS	FRANCE
Nom du texte de loi/recommandation	Transposition de la directive européenne dans le droit français et arrêté du 11 janvier 2007 modifié
Nature du texte	Arrêté
Entrée en vigueur	20 décembre 2001 pour la première transposition de la directive 98/83/CE et
Zone géographique	France (population : 66,9 millions)
Organisme porteur	Ministère de la santé et des solidarités
Objectifs	Définir la qualité des eaux destinées à la consommation humaine
Contexte	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pour des raisons sanitaires et de lutte contre le développement de microorganismes 2. Pour des raisons d'entretien des canalisations de distribution de l'eau
Type de valeur	Aucune valeur limite
Valeurs	<p>La transposition de la réglementation en droit français dans le Code de la santé publique, et l'arrêté du 11 janvier 2007 modifié ne mentionnent aucune valeur guide pour la dureté de l'eau et ne fixent aucune valeur minimale ou maximale à respecter. Toutefois, dans le chapitre « référence de qualité » de l'arrêté, il est précisé que « les eaux ne doivent pas être corrosives » en note pour certains paramètres (chlorures, sulfates, sodium, conductivité) et que « les eaux doivent être à l'équilibre calco-carbonique ou légèrement incrustantes ». De plus, une référence de qualité existe pour la conductivité : $200 \leq \text{conductivité} \leq 1\,100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ à 25 °C. Ces limites hautes et basses, fixent l'intervalle de minéralisation de l'eau destinée à la consommation humaine et conditionnent indirectement la concentration en calcium, élément fondamental pour les eaux naturelles.</p>
Sources	<ul style="list-style-type: none"> • Entretien mené avec Laurent Brunet et Pierre Pierronne - Directeurs techniques Eau France chez SUEZ, Février 2018 • Entretien mené avec Alban Robin, chef du bureau qualité des eaux au ministère des Solidarités et de la Santé, Février 2018 • Commune Seine & Oise, <i>Une eau potable plus douce grâce à la nouvelle usine de Flins/Aubergenville</i>, Février 2018, https://gpseo.fr/La-communaute-urbaine/Les-competences/eau-et-assainissement/une-eau-potable-plus-douce-grace-la • Thierry PICHARD, IRH Ingénieur Conseil

PAYS	JAPON
Nom du texte de loi/recommandation	The Waterworks Act
Nature du texte	Règlementation sur la qualité de l'eau potable
Entrée en vigueur	Etablie en 1957, révisé en 1992 et 2003
Zone géographique	Japon (population : 127 millions habitants)
Organisme porteur	Ministère de la Santé, du travail et de la Protection Sociale
Objectifs	<ul style="list-style-type: none"> Assurer une eau potable de haute qualité. Garantir que les systèmes d'approvisionnement en eau puissent toujours fournir de l'eau potable. Interdire toute substance nuisible à la santé de la personne. Encourager les fournisseurs d'eau potable à surveiller la qualité de l'eau.
Contexte	La volonté de prendre en compte les lignes directrices de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) sur la qualité de l'eau potable et de répondre aux attentes de la population en termes du gout et d'odorat de l'eau.
Type de valeur	Valeur limite sur la dureté de l'eau potable.
Valeurs	300 mg CaCO ₃ /L (30 °f)
Sources	<ul style="list-style-type: none"> Mayuko HATTORI - Division of Water Supply, Health Service Bureau, Ministry of Health, Labour and Welfare, <i>Overview on Drinking Water Quality Management in Japan</i> Japan Water Works Association, 2016, <i>Water Supply in Japan</i> Japan Ministry of Health, Labour and Welfare, 2015, <i>Drinking Water Quality Standards in Japan</i>

PAYS	PAYS-BAS
Nom du texte de loi/recommandation	Recommandation et préconisation concernant la dureté de l'eau
Nature du texte	Recommandation
Entrée en vigueur	Depuis les années 1990s
Zone géographique	Pays-Bas (population : 17 millions)

PAYS	PAYS-BAS
Organisme porteur	Gouvernement néerlandais
Objectifs	Protection sanitaire et lutte contre la pollution de l'eau potable par le plomb
Contexte	Objectif sanitaire car les tuyaux en plomb étaient très courants dans les réseaux et les habitations or le plomb se dissout plus facilement dans des eaux dures. Cependant, les eaux très douces favorisent également la dissolution du plomb d'où la fourchette proposée par le gouvernement. Objectifs environnementaux
Type de valeur	Valeur guide
Valeurs	Il n'y a pas de valeur juridique à respecter sur la dureté de l'eau, mais l'état Néerlandais recommande et préconise une dureté de l'eau entre 12 et 15 °f.
Sources	<ul style="list-style-type: none"> Entretien mené avec Laurent Brunet et Pierre Pierronne - Directeurs techniques Eau France chez SUEZ, Février 2018 Jan Hofman, 2006, Twenty years of experience with central softening in The Netherlands: Water quality – Environmental benefits – Costs

PAYS	SINGAPOUR
Nom du texte de loi/recommandation	Environmental Public Health (EPH) (Quality of Piped Drinking Water) Regulation 2008
Nature du texte	Règlementation
Entrée en vigueur	2008, révisé en 2010
Zone géographique	Singapour (population : 5,6 millions habitants)
Organisme(s) porteur(s)	Agence Nationale de l'Environnement
Objectifs	<ol style="list-style-type: none"> Protéger la santé publique. Garantir une bonne qualité d'eau pour le confort des consommateurs
Contexte	<ol style="list-style-type: none"> Pour prévenir la contamination microbienne de l'eau potable ou réduire cette contamination à des niveaux non nuisibles à la santé Pour éviter la contamination chimique de l'eau Pour les aspects d'acceptabilité : odeur, apparence et goût Pour protéger la santé publique

PAYS	SINGAPOUR
Type de valeur	Pas de valeur guide sur la dureté de l'eau potable.
Valeurs	<p>La réglementation ne fixe pas explicitement de valeur juridique sur la dureté de l'eau mais elle précise clairement, dans l'annexe 1, que l'eau de distribution doit satisfaire plusieurs paramètres de qualité classés en quatre catégories : les paramètres microbiologiques, chimiques, physiques et radiologiques fixés sur la base des recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) pour la qualité de l'eau potable. Les valeurs guides existent pour d'autres paramètres tels que :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Valeurs guides pour le goût : 100 à 300 mg CaCO₃/L (10 à 30 °f) ; • Valeurs guides pour la protection des canalisations : 100 à 200 mg CaCO₃/L (10 à 20 °f) - corrosion en dessous de 10 °f et dépôts de calcaire à partir de 20 °f.
Sources	<ul style="list-style-type: none"> • Singapore's National Water Agency, 2017, <i>Drinking Water Quality Guidelines</i> • World Health Safety (WHS), 2011, <i>Guidelines for Drinking-water Quality</i> • Research Office Legislative Council Secretariat, 2016, <i>Regulation of drinking water safety in Singapore</i> • National Environment Agency of Singapore, 2008, <i>Code of Practice on piped drinking water</i>

INSTITUTION	UNION-EUROPÉENNE
Nom du texte de loi/recommandation	Directive européenne 98/83/CE (directive sur l'eau potable)
Nature du texte	Réglementation (Directive)
Entrée en vigueur	3 novembre 1998
Zone géographique	Les Etats-Membres de l'Union européenne
Organisme porteur	Conseil de l'Union européenne

INSTITUTION	UNION-EUROPEENNE
Objectifs	<p>Cette directive constitue le cadre réglementaire européen en matière d'eau potable, en vigueur à la date de rédaction du document. Elle s'applique à l'ensemble des eaux destinées à la consommation humaine, à l'exception des eaux minérales naturelles et des eaux médicinales. Elle concerne notamment les eaux fournies par un réseau de distribution public ou privé, les eaux conditionnées et les eaux utilisées dans les entreprises alimentaires. Ainsi, l'eau potable, aux robinets des consommateurs, doit respecter dans chaque Etat membre de l'Union européenne au minimum les exigences de qualité fixées par la directive précitée.</p> <p>L'objectif de la directive est :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. De protéger la santé des personnes des effets néfastes de la contamination des eaux destinées à la consommation humaine en garantissant la salubrité et la propreté de celles-ci. 2. De fixer les paramètres et les valeurs paramétriques applicables à l'eau destinée à la consommation humaine.
Contexte	<p>Au début de 2014, la première initiative citoyenne européenne (ICE), à la suite de la campagne Right2Water, a lancé un appel pour que la législation européenne garantisse le droit à l'eau et à l'assainissement.</p>
Type de valeur	Valeur guide
Valeurs	<p>Cette directive ne mentionne aucune valeur guide pour la dureté de l'eau et ne fixe aucune valeur minimale ou maximale à respecter. Toutefois, elle précise que « les eaux ne doivent pas être agressives ».</p>
Sources	<ul style="list-style-type: none"> • INERIS, Directive n° 98/83/CE du 03/11/98 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine, Février 2018, https://aida.ineris.fr/consultation_document/1017 • WECF, 2012, Module 7 Drinking Water Quality 2012 • EU, EU Law and publications, Février 2018, http://eur-lex.europa.eu/Legal-content/FR/TXT/?uri=celex%3A31998L0083 • EU, Eau potable: normes de qualité essentielles, Février 2018, https://eur-lex.europa.eu/Legal-content/FR/TXT/?uri=LEGISSUM%3AI28079

INSTITUTION	L'ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE (OMS)
Nom du texte de loi/recommandation	Guidelines for Drinking-water Quality
Nature du texte	Recommandation
Entrée en vigueur	1993, révisé en 2011

INSTITUTION	L'ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE (OMS)
Zone géographique	Internationale
Organisme porteur	Organisation mondiale de la Santé
Objectifs	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aider les pouvoirs publics dans la prise de décision et le développement de nouvelles réglementations pour la surveillance et l'analyse de la qualité de l'eau potable 2. Protéger la santé publique. 3. Rendre l'eau acceptable aux yeux du consommateur (odeur, aspect, et goût) 4. Homogénéiser la perception de la dureté car elle varie en fonction des populations et des zones géographiques. 5. Garantir une bonne qualité d'eau pour le confort des consommateurs car vu la non-dangerosité du calcaire, aucune valeur de référence n'a été défini au préalable et la dureté était un paramètre non-règlementé.
Contexte	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pour prévenir la contamination microbienne de l'eau potable ou réduire cette contamination à des niveaux non nuisibles à la santé 2. Pour éviter la contamination chimique de l'eau 3. Pour les aspects d'acceptabilité : odeur, apparence et goût 4. Pour les problèmes de corrosion et de présence de plomb dans les systèmes de distribution d'eau potable et dans les canalisations
Type de valeur	Valeur guide
Valeurs	<ul style="list-style-type: none"> • Valeurs guides pour le goût: 100–300 mg CaCO₃/L (10 à 30 °f) • Valeurs guides pour la protection des canalisations: 100 à 200 mg CaCO₃/L (10 à 20 °f) - corrosion en dessous de 10 °f et dépôts de calcaire à partir de 20 °f
Sources	World Health Safety (WHS), 2011, <i>Guidelines for Drinking-water Quality</i>

Annexe 4 : Fiches détaillées des usines

USINE DE RODENMORS	
Localisation	Denekamp et Dinkelland, Overijssel, Pays-Bas
Contact dans l'usine	Ron Jong, spécialiste Technologie de process chez Vitens ron.jong@vitens.fr
Exploitant	Vitens
Année de construction	2002
Nombre d'consommateurs	33 000 habitants (population des villes de Denekamp et Dinkelland)
Périmètre de distribution	Overijssel
LE TRAITEMENT	
Type de traitement	Décarbonatation / Nanofiltration
Chloration	Non. L'ensemble des usines de traitement d'eau des Pays-Bas ne chlore pas l'eau traitée, et utilisent des techniques alternatives telles que la sédimentation (décantation), la micro- ou nanofiltration, la désinfection par UV ou encore l'oxydation par ozone ou peroxyde.
Autres polluants traités	Sulfate, matières organiques. Avec la filtration rapide sur sable, le fer et l'ammoniac
Dureté de l'eau à l'entrée/sortie	Entrée : 28 °f Sortie : 10 à 15 °f
Capacité de traitement	1 800 m ³ /jour (650 000 m ³ /an) ⁷⁰
Sources	<ul style="list-style-type: none"> • Hofman, « Twenty years of experience with central softening in The Netherlands : Water Quality – Environmental benefits – Costs » • Suez, « Softazur M, décarbonatation par filtration membranaire » • Smeets et al (2009) « The Dutch Secret : how to provide safe drinking water without chlorine in the Netherlands », in Drinking Water Engineering and Science

⁷⁰ Les chiffres sont approximatifs. Calculs réalisés à partir des chiffres (volume horaire ou annuel distribué) du fichier de reporting, selon les données trouvées parmi les sources indiquées.

USINE DE DINXPERLO	
Localisation	Aalten, Gelderland, Pays-Bas
Contact dans l'usine	Ron Jong, spécialiste Technologie de process chez Vitens, ron.jong@vitens.fr
Exploitant	Vitens
Année de construction	2007
Nombre d'consommateurs	391 046 (population de la région d'Achterhoek)
Périmètre de distribution	Dinxperlo est l'une des usines desservant la région d'Achterhoek : Aalten, Berkelland, Bronckhorst, Doesburg, Doetinchem, Lochem, Montferland, Oost Gelre, Oude IJsselstreek, Winterswijk, Zutphen
LE TRAITEMENT	
Type de traitement	Décarbonatation par osmose inverse
Chloration	Non
Autres polluants traités	Sulfates, micropolluants organiques
Dureté de l'eau à l'entrée/sortie	Entrée : entre 25 et 36 °f Sortie : 10 à 15 °f
Capacité de traitement	2 millions m ³ /an
Sources	<ul style="list-style-type: none"> • Jong, Ron, « PT ontwerp Dinxperlo - membraanfiltratie 2005 » • Hofman, « Twenty years of experience with central softening in The Netherlands : Water Quality – Environmental benefits – Costs » • Smeets et al (2009) « The Dutch Secret : how to provide safe drinking water without chlorine in the Netherlands », in <i>Drinking Water Engineering and Science</i> • Lenntech, "Osmose Inverse", https://www.lenntech.fr/bibliotheque/osmose-inverse/osmose-inverse-definition.htm#ixzz5BhstVC6m

USINE DE LEIDUIN	
Localisation	Leiduin, Hollande Septentrionale, Pays-Bas
Contact dans l'usine	Jan Peter van der Hoek, Chef du centre stratégique de Waternet, Professeur en ingénierie du traitement de l'eau à l'université de Delft jan.peter.van.der.hoek@waternet.nl ou j.p.vanderhoek@tudelft.nl
Exploitant	Waternet
Année de construction	1987 : année de la mise en place de la décarbonatation collective
Nombre d'consommateurs	Plus d'un million d'habitant (population d'Amsterdam et périphérie)
Périmètre de distribution	Amsterdam (70% du volume d'eau traité), Diemen, Amstelveen, Ouder-amstel, Haarlemmerliede en Spaamwoude, Schiphol, Heemstede (30% du volume d'eau traité)
LE TRAITEMENT	
Source d'eau	Eau de surface : le Rhin et l'eau d'infiltration de Bethune Polder
Type de traitement	Décarbonatation catalytique à la soude
Spécificité du traitement	Avant d'être traitée à l'usine de Leiduin, l'eau est « prétraitée » de façon naturelle à travers le sable des dunes qui agit en tant que « filtre naturel ». Ce processus dure trois mois.
Chloration	Non
Autres polluants traités	Métaux (plomb, fer, cuivre)
Dureté de l'eau à l'entrée/sortie	Entrée : 23°f Sortie : 15°f
Capacité de traitement	180,000 - 240,000 m ³ /j (70 000 000 m ³ /an)
Sources	<ul style="list-style-type: none"> • Hofman, et al, « Twenty years of experience with central softening in The Netherlands : Water Quality – Environmental benefits – Costs » • Suez, « Tous à l'eau douce », in Magazine EauService • Smeets et al (2009) « The Dutch Secret : how to provide safe drinking water without chlorine in the Netherlands », in Drinking Water Engineering and Science

Références

5. Références

Agence nationale de l'eau de Singapour, 2008. « Code de pratique sur l'eau potable ». [Notre traduction]. Disponible à l'adresse : [https://www.nea.gov.sg/docs/default-source/our-services/code-of-practice-on-piped-drinking-water-sampling-and-safety-plans-\(120-kb\).pdf](https://www.nea.gov.sg/docs/default-source/our-services/code-of-practice-on-piped-drinking-water-sampling-and-safety-plans-(120-kb).pdf)

Agence nationale de l'eau de Singapour, 2017. « Recommandations pour la qualité de l'eau potable ». [Notre traduction]. Disponible à l'adresse : [https://www.nea.gov.sg/docs/default-source/our-services/environmental-public-health-\(quality-of-piped-drinking-water\)-regulations-\(210-kb\).pdf](https://www.nea.gov.sg/docs/default-source/our-services/environmental-public-health-(quality-of-piped-drinking-water)-regulations-(210-kb).pdf)

CHAUMONT, A. et al., 2012. « Interactions entre la dureté de l'eau domestique, la nage infantile et l'atopie dans le développement de l'eczéma infantile ». *Environmental Research* 116, p. 52-57. [Notre traduction]. Disponible à l'adresse : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22591883>

Commissariat général au développement durable et l'IFOP (Institut Français d'opinion publique), 2014. Ressources en eau: perception et consommation des français (résultats d'enquête).

Conseil canadien des ministres de l'environnement, 2008. Recommandations pour la qualité des eaux. Disponible à l'adresse : https://www.ccme.ca/files/Resources/fr_ceqg/ssd/rqec_pn_1041.pdf

DANBY, S. et al., 2018. « Effet de la dureté de l'eau sur les dépôts de surfactant après lavage et irritation cutanée subséquente chez les patients atteints de dermatite atopique et de sujets sains. » [Notre traduction]. *Journal of Investigative Dermatology* 138, p. 68-77. Disponible à l'adresse : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28927888>

Direction des eaux souterraines de Wallonie, 2018, Qualité Des Eaux Distribuées par le Réseau Public en Wallonie. Disponible à l'adresse : http://environnement.wallonie.be/de/eso/eau_distribution/

ENGBRETSSEN, K. et al., 2017. « Prévalence de la dermatite atopique chez les nourrissons selon la dureté de l'eau domestique et la saison de naissance ». [Notre traduction]. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 139, p. 1568-1574. Disponible à l'adresse : [https://www.jacionline.org/article/S0091-6749\(16\)32464-2/fulltext](https://www.jacionline.org/article/S0091-6749(16)32464-2/fulltext)

FONT-RIBERA, L. et al., 2015. « Dureté de l'eau et eczéma à l'âge de 4 et 1 ans ». [Notre traduction]. *Environmental Research* 142, 579-585. Disponible à l'adresse : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26298601>

GALAN, P. et al. 2002. « Contribution des eaux minérales à l'apport alimentaire en calcium et en magnésium chez une population adulte française ». [Notre traduction]. *Environmental Journal of the American Dietetic Association* 102, p. 1658-1662. Disponible à l'adresse : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12449291>

HOFMAN, J. et al., 2006. « Vingt ans d'expérience avec l'adoucissement central aux Pays-Bas ». [Notre traduction]. Disponible à l'adresse : <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3Ae43683de-0270-46c4-b736-c3ddfe9973e6>

La Revue l'Eau, l'Industrie, les Nuisances, 30 mai 2013, « L'électrolyse : une solution innovante en matière de décarbonatation », N°362, Disponible à l'adresse : www.revue-ein.com/actualite/lelectrolyse--une-solution-innovante-en-matiere-de-decarbonatation.

La Société Wallonne des Eaux, 2017, Règlement général de distribution d'eau en région wallonne. Disponible à l'adresse : https://www.swde.be/download/108115/reglement_general_de_distribution_deau_en_region_wallonne_-_version_swde.pdf

LEE, I., Chang, W., Hong, Y., and Liao, S., 2006. « Informations utiles provenant de grandes quantités de données sur l'environnement et la santé afin de réduire les incertitudes liées à la formulation de politiques environnementales. » [Notre traduction]. *Journal of Environmental Management* 81, p. 434-440.

MIYAKE, Y. et al., 2004a. « Association écologique de la dureté de l'eau avec la prévalence de la dermatite atopique infantile dans une zone urbaine japonaise ». [Notre traduction]. *Environmental Research* 94, p. 33-37. Disponible à l'adresse : https://www.researchgate.net/publication/8987472_Ecological_Association_of_Water_Hardness_with_Prevalence_of_Childhood_Atopic_Dermatitis_in_a_Japanese_Urban_Area

MIYAKE, Y. et al., 2004b. « Absence d'association entre la dureté de l'eau et la mortalité par maladie coronarienne au Japon ». [Notre traduction]. *International Journal of Cardiology* 96, p. 25-28. Disponible à l'adresse : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15203257>

OESTERHOELT, F. 2017. « Comparaison des techniques d'adoucissement de l'eau industrielle et potable ». [Notre traduction]. Disponible à l'adresse : www.kwrwater.nl/en/actueel/industrial-and-drinking-water-softening-techniques-compared/

OMS, 2011. « La Dureté dans l'eau potable ». [Notre traduction]. Disponible à l'adresse : http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/hardness.pdf

PÉREZ-GRANADOS, A., Navas-Carretero, S., Schoppen, S., and Vaquero, M., 2010. « Reduction in cardiovascular risk by sodium-bicarbonated mineral water in moderately hypercholesterolemic young adults. » [Notre traduction]. *The Journal of Nutritional Biochemistry* 21, p. 948-953. Disponible à l'adresse : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19954956>

Perkin, M. et al., 2016. « Association entre la dureté de l'eau domestique, le risque de chlore et la dermatite atopique au début de la vie: une étude transversale basée sur la population. » [Notre traduction]. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 138, p. 509-516. Disponible à l'adresse : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27241890>

RAGHUPATHI, P. et al., 2018. « Diversité microbienne et pathogènes opportunistes putatifs dans les communautés de biofilms de lave-vaisselle » [Notre traduction]. *Applied And Environmental Microbiology* 84, e02755-17. Disponible à l'adresse : <https://aem.asm.org/content/84/5/e02755-17>

SMEETS, P. et al, 2009. « The Dutch Secret: comment fournir de l'eau potable sans chlore aux Pays-Bas ». [Notre traduction] *Drinking Water Engineering and Science*. Disponible à l'adresse : <https://www.drink-water-eng-sci.net/2/1/2009/dwes-2-1-2009.pdf?q=eng-vs-sa>

Société des Eaux de l'Ouest Parisien (SEOP), 2017. Une eau moins calcaire à partir de 2017. Disponible à l'adresse : www.seop.fr/eau-dans-ma-commune/VERSAILLES-78646/133630/la-decarbonatation

VINGERHOEDS, M. et al., 2016. « Qualité sensorielle de l'eau potable produite par filtration membranaire par osmose inverse suivie d'une reminéralisation ». [Notre traduction]. Water Research 94, p. 42-51. Disponible à l'adresse : https://www.researchgate.net/publication/295396755_Sensory_quality_of_drinking_water_produced_by_reverse_osmosis_membrane_filtration_followed_by_remineralisation

WAKAYAMA, H., 2005. « Révision des normes de qualité de l'eau potable au Japon ». [Notre traduction]. Disponible à l'adresse : <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryounn/tnn0264pdf/ks0264011.pdf>

Water Quality Research Foundation (WQRF), 2009. « Étude des avantages de l'eau adoucie: Économies d'énergie et économie de détergent ». [Notre traduction]. Filtration & Separation 46, p. 37-39. Disponible à l'adresse : https://www.wqa.org/Portals/0/WQRF/ResearchStudy_BenefitsOfSoftenedWater_ExecSummary.pdf

WQRF, 2011. « Évaluation des effets relatifs de la dureté, de la dose de détergent et de la température pour évaluer l'efficacité d'élimination des taches et / ou l'utilisation de moins de détergent à lessive à des températures d'eau plus basses ». [Notre traduction]. Disponible à l'adresse : https://www.wqa.org/Portals/0/Technical/Undesser_WCP_0311SoftenedWaterBenefitsStudy.pdf